Н. И. ЗЕЛЕНИН, И. М. ОЗЕРОВ

СПРАВОЧНИК ПО ГОРЮЧИМ СЛАНЦАМ

НЕДРА

Н. И. ЗЕЛЕНИН, И. М. ОЗЕРОВ

СПРАВОЧНИК ПО ГОРЮЧИМ СЛАНЦАМ

ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1983

УДК 662.67

Зеленин Н. И., Озеров И. М. Справочник по горючим сланцам. — Л.: Недра, 1983. — 248 с.

В книге обобщены данные по геологии, химии, составу и свойствам горючих сланцев мира как комплексного органо-минерального горючего полезного ископаемого, а также сведения о методах технологии переработки. Рассмотрены палеогеографические условия накопления и стадийность преобразования органического вещества сланцев, основные сланценосные формации, их распространение и значение в перспективной оценке отдельных регионов. Обобщены данные о встречающихся формах и размерах залежей горючих сланцев. Выделены геотектонические, петрографические и генетические типы месторождений. Подробно освещены вопросы проявления сланценосности и размещения месторождений горючих сланцев в странах мира.

В книге изложены основные принципы оценки горючих сланцев и показаны их роль и значение в топливно-энергетическом балансе. Приведена схема промышленной классификации горючих сланцев на основе их генетических и химических признаков. Определены основные направления комплексного безотходного промышленного использования различных типов горючих сланцев. Освещены методы технологии переработки сланцев и свойства сланцевых смол.

Книга рассчитана на геологов, химиков, технологов, экономистов, научных и инженерно-технических работников сланцевой, топливной, химической промышленности и геологических организаций. Она может служить вспомогательным пособием для преподавателей и студентов высших и среднетехнических специализированных учебных заведений.

Табл. 98, ил. 45, список лит. 102 назв.

Рецензент — чл.-кор. АПН СССР *В. А. Проскуряков* (Лен. технологич. ин-т им. Ленсовета).

1904020000—321
З———— 194—83
043(01)—83

© Издательство «Недра», 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Литература по горючим сланцам достаточно обширна. Однако даже известные общепризнанные монографии ограничены узким кругом вопросов. Важность и значение сланцевой проблемы были подчеркнуты в 1968 г., когда Организация Объединенных Наций созвала специальный симпозиум по проблеме горючих сланцев, актуальной для многих, особенно развивающихся, стран. Энергетические проблемы последнего десятилетия вновь с особой остротой поставили вопросы использования горючих сланцев взамен истощающихся запасов нефти и газа. В этом отношении характерно принятое в США решение о выделении 20 млрд. долл. на освоение методов получения жидких топлив из горючих сланцев и битуминозных песков в 80—90-е годы.

В книге обобщены основные данные о добыче и использовании горючих сланцев за последние 100 лет во всех странах мира, приуроченности горючих сланцев к определенным сланцевым формациям. Приводятся сведения о географическом размещении месторождений горючих сланцев на земном шаре (рис. 35), запасах сланцев и назначении их в структуре энергохимического баланса мира. Выделены промышленно-генетические типы и формы проявления сланценосности, определено промышленное значение сланцев как комплексного органо-минерального сырья для развития химической и энергетической промышленности, а также производства широкого ассортимента материалов строительной индустрии.

В книге приведены главнейшие критерии оценки сланцев, изложена единая промышленная классификация их и классификационная диаграмма качественной оценки месторождений на соответствующей стадии их изучения и использования в народном хозяйстве страны.

На примере СССР и других стран доказано, что только комплексная безотходная термохимическая переработка всей массы добытых горючих сланцев дает оптимальный народнохозяйственный эффект. Промышленное осуществление этого мероприятия экономически эффективно даже при неблагоприятной конъюнктуре в случае исполь-

зования горючих сланцев для производства жидкого топлива при конкуренции их с нефтью, так как комплексное использование не зависит от конъюнктуры в энергетической области. Об этом свидетельствует опыт СССР.

В книге рассмотрены следующие вопросы:

— распространение и запасы горючих сланцев на всех континентах;

— качество сланцев как сырья для производства жидких топлив и получения промышленно ценных химических продуктов;

— состав и свойства минеральных компонентов, составляющих сланцы, и их значение в производстве строительных материалов;

— роль и значение комплексной безотходной переработки сланцев в одном агрегате;

— современные методы термохимической переработки горючих сланцев;

— состав и свойства типов сланцевых смол — заменителя нефти;

— сопутствующие химические комплексы и их промышленное значение;

— современное состояние проблемы промышленного использования горючих сланцев и значение их в структуре энергохимического баланса в СССР и других странах мира;

— промышленно-генетическая классификация горючих сланцев.

В книге приведены многочисленные данные по качественной характеристике известных месторождений горючих сланцев мира, которые могут быть использованы как справочный материал.

Авторы выражают благодарность рецензенту чл.-кор. АПН СССР В. А. Проскурякову за активную помощь в подготовке книги.

ВВЕДЕНИЕ

Среди каустобиолитов горючие сланцы занимают особое положение как по условиям образования, петрографическому и химическому составу, так и по свойственной им роли в развитии топливно-химических отраслей промышленности. Месторождения горючих сланцев известны на всех континентах нашей планеты. Прогнозные мировые запасы горючих сланцев и заключенной в них смолы во много раз превышают известные запасы нефти.

Горючие сланцы — это комплексное органо-минеральное полезное ископаемое. Промышленную ценность представляют как органическое вещество (ОВ), так и минеральная масса сланцев. На базе их может быть организовано производство значительного ассортимента топливных, химических продуктов и разнообразных материалов строительной индустрии. Горючие сланцы привлекают внимание и биологов с целью использования керогена для производства белковых препаратов, и медиков — для получения различного рода медицинских препаратов, применяемых в дерматологии. Большой интерес к горючим сланцам проявляют агрономы, поскольку уже некоторые созданные сланцехимические препараты обладают свойствами стимулирования роста растений и гербицидностью, а зольные минеральные вещества в отдельных случаях применяются для удобрения кислых почв и повышения урожайности растений.

По мере познания природы керогена горючих сланцев расширяются границы его промышленного использования. Но многое еще не познано и не до конца раскрыты секреты самого керогена. Поэтому ученые различных специальностей в СССР и за рубежом уделяют большое внимание изучению горючих сланцев как комплексного органо-минерального полезного ископаемого.

Зольные остатки сжигания и термической переработки сланцев являются огромным резервом дешевого сырья для производства разнообразного комплекса строительных материалов, и прежде всего вяжущих веществ. Ценность горючих сланцев заключается еще и в том, что они нередко в значительных количествах содержат некоторые сопутствующие химические элементы — алюминий, фосфор, натрий и др., а в промышленных концентрациях — уран, германий, молибден и др.

Добыча горючих сланцев в большинстве случаев сопровождается извлечением сопутствующих горных пород — вскрыша, межпластовые прослои промпласта и т. д., которые можно использовать в произ-

водстве извести, цемента, минеральной ваты, стекла, легких наполнителей бетона, в качестве облицовочного материала, при изготовлении щебня для строительных работ.

Обогащение горючих сланцев неизбежно влечет за собой образование хвостов — отходов горных пород. Количество таких отходов обогащения может достигать миллионов тонн в год. Полное безотходное использование всех компонентов, входящих в состав горючих сланцев, полупродуктов и отходов производства, представляет большую экономическую выгоду, так как значительно снижает стоимость добычи и переработки основного сырья, а главное, улучшает использование природных минерально-сырьевых ресурсов.

Горючим сланцам как многокомпонентному органо-минеральному полезному ископаемому, с их огромными потенциальными резервами производства энергии и химических продуктов, как бы самой природой предопределена немалая роль в обеспечении человечества прежде всего теплом. На симпозиуме в Таллине было отмечено, что потенциальный резерв энергии в виде горючих сланцев в 80 раз превышает современную мировую потребность в энергии.

Горючие сланцы представляют немалый интерес уже в современных условиях как для стран, не располагающих другими видами энергохимического сырья, так и для стран, имеющих ограниченные резервы нефти и газа. К горючим сланцам проявляют интерес многие развивающиеся страны, которые не имеют других сырьевых источников топлива. Учитывая это, симпозиум рекомендовал усилить разведку и оценку запасов горючих сланцев и применение уже имеющейся технологии переработки в развивающихся странах, а также выработать единую международную терминологию для классификации горючих сланцев, оказать научно-техническую помощь развивающимся странам в деле организации национальной сланцевой промышленности.

В интересах подготовки материалов к последующему мировому симпозиуму и ускорения решения вопросов, связанных с развитием сланцевой промышленности, авторы настоящей книги обобщили обширный литературный материал советских и зарубежных исследователей, а также данные собственных исследований.

В книге приведен материал, характеризующий современное состояние знаний о горючих сланцах как с точки зрения условий их образования, так и химической характеристики и оценки генетических типов месторождений и рациональных способов технологии их переработки.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЛАНЦЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПОНЯТИЕ «ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ»

Наиболее ранние определения понятия горючих сланцев относятся к началу зарождения сланцевой промышленности, когда сама наука о каустобиолитах находилась еще в стадии становления. Отсутствие в то время более совершенных и точных методов и приборов для изучения петрографического, геохимического состава не позволяло с необходимой достоверностью определить состав сланцев.

Первые определения понятия горючих сланцев обычно носили общий характер: «глинистые, песчанистые или известковистые горные породы, обладающие горючими свойствами» или «глинистые горючие смоляные земли»; иногда в определении ограничивались общегеологическим признаком, считая их «мелкозернистой плотной осадочной породой, содержащей органическое вещество». К горючим сланцам рекомендовалось относить «ритмично чередующиеся доломиты и известняки, содержащие тонкослоистые, частично доломитизированные битуминозные мергели» или «горючие сланцы серые, коричневые и черные, очень мелкозернистые и хорошо расслоенные, при нагревании выделяют специфический запах, характерный для битуминозных и сернистых пород». К горючим сланцам относили всякую породу, содержащую ОВ и имеющую зольность 30—80%.

Термин «горючий сланец» сложился давно и применялся к любому содержащему органическое вещество (ОВ) виду сланца, способному гореть и пригодному в качестве топлива или для получения «масла», медицинских препаратов, химических продуктов.

В Германии с давних пор применяли термин Brennschiefer, полностью соответствующий русскому термину — горючий сланец. Во Франции, Испании и некоторых других странах принят термин «битуминозный сланец». В середине XIX в. появился англо-американский термин «масляный сланец» (oil shale), происхождение которого связано со сложившейся тогда переработкой шотландских сланцев на осветительные масла.

Определению термина «горючие сланцы» посвящены работы ученых многих стран. По мере накопления фактического материала, более углубленного изучения условий образования горючих сланцев, их петрографического и химического состава вносились уточнения в определение сланцев. Каждое из многочисленных известных определений понятия «горючие сланцы» соответствовало уровню познания их природы и имело определенную ценность как в научном, так и в практическом значении.

М. Д. Залесский [2] считал сланец-кукерсит чистым сапропелем глубокой древности, говоря, что это типичный сапракон, т. е. сапропелит высокой степени углефикации по классификации Потонье. Позднее ряд исследователей пришли к заключению, что большинство известных в то время месторождений горючих сланцев СССР относятся к типу сапропелевых образований в основном морского происхождения. Под горючими сланцами понималась глинистая или мергелистая порода, обладающая способностью раскалываться на тонкие плитки или листочки, нередко в сухом виде загорающаяся от спички, распространяя характерный запах битумов, способная давать при сухой перегонке нефтеобразные продукты, но не дающая таковых при обработке ее растворителями.

А. Ф. Добрянский [3] убедительно доказал, что генетической основой горючих сланцев является ОВ сапропелевого ха-

мического сырья, определяются наличием самой массы керогена и его составом. Характерной особенностью горючих сланцев является незначительная растворимость ОВ в органических растворителях. Присутствующие в сланцах битуминозные компоненты во всех их генетических типах занимают сугубо подчиненное положение и являются сопутствующим веществом — примесью сланцев.

Состав керогена или, вернее, керогенов горючих сланцев не является чем-то постоянным или хотя бы характеристически определенным подобно компонентам углей (петрографическим), торфов и бурых углей. Горючие сланцы различных месторождений отличаются друг от друга по петрографическому и химическому составу. Это положение приходится учитывать при выборе методов их переработки и промышленной оценке.

С другой стороны, количественный уровень содержания органической массы (керогена) является важнейшей определяющей характеристикой горючих сланцев. Уровень содержания керогена, выраженный в джоулях, определяют технические показатели горючих сланцев как топлива, а выраженный в процентах выхода смолы (масла) — химический (нефтяной) потенциал этих сланцев.

Химико-минералогический состав зольной части может оказать существенное влияние на оценку технических показателей горючих сланцев многих месторождений.

Горючий сланец — это самостоятельный керогеновый генетический тип каустобиолитов с присущими ему природными свойствами, качеством и соответственно с этим пригодностью для промышленного использования. Оценочными критериями горючего сланца являются:

— ОВ сланца сапропелевого или сапропелево-гумусового или гумусово-сапропелевого состава, незначительно растворяющееся в органических растворителях, в зависимости от условий образования и степени сланцификации имеющее различный петрографический состав, преимущественно коллоальгинитовый и талломоальгинитовый, относящееся к горючим полезным ископаемым и при пиролизе образующее смолу и газ;

— минеральная масса, входящая в состав горючего сланца, неоднородная по петрографическому и химическому составу, преимущественно силикатная, алюмосиликатная или карбонатная;

— горючие сланцы, могущие содержать ценные сопутствующие химико-минералогические компоненты в концентрациях, представляющих промышленный интерес.

Горючие сланцы как твердое горючее комплексное органо-минеральное полезное ископаемое могут найти промышленное использование в следующих направлениях:

— сжигание сланца, смолы или газа для энергетических целей;

— производство на основе продуктов термического разложения горючего сланца сланцехимических продуктов;

— изготовление препаратов-стимуляторов роста растений, гербицидов;

— извлечение редких элементов и сопутствующих компонентов (Al, K, Na и др.).

Горючий сланец—комплексное органоминеральное энергохимическое полезное ископаемое керогенового типа каустобиолитов, осадочного образования в морских озерных, дельтовых или речных условиях, твердое, горючее, содержащее кероген сапропелевого, сапропелево-гумусового или гумусово-сапропелевого состава (10—60%), равномерно распределенный в минеральной массе силикатного, алюмосиликатного или карбонатного состава, при термической переработке образует смолу, газ и зольный остаток (полукокс). К промышленной группе относятся горючие сланцы с теплотой сгорания не менее 6280 кДж/кг, обеспечивающие при комплексном безотходном использовании экономический эффект.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЛАНЦЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Горючие сланцы привлекают внимание с давних времен, поскольку основной продукт термической переработки—сланцевая смола — находит применение в качестве жидкого топлива и для получения обширного комплекса химических продуктов и изготовления фармацевтических препаратов. В зависимости от научно-технического прогресса, конъюнктуры на мировом рынке, экономики той или иной страны и других не менее

важных факторов в развитии мировой сланцевой промышленности намечается определенная последовательность:

— использование горючих сланцев в качестве местного твердого топлива (Россия, Австрия и др., XVII—XVIII вв.);

— опыты по термической переработке сланцев с целью получения смолы, светильного газа и жидких дистиллятов (Россия, Франция, Шотландия);

— изготовление фармацевтических препаратов на основе сланцевой смолы (Австрия, Германия, Россия, Швейцария);

— производство сланцевой смолы и использование ее в качестве жидкого топлива и других продуктов: керосина, бензина, серы, аммиака и парафина (Великобритания, Германия, Россия, Франция, Швеция, Китай и др.);

— производство высококалорийного сланцевого газа для бытовых целей. В 1948 г. впервые в мире было организовано получение энергетического газа с ежегодной выработкой свыше 1 млрд. м³ (СССР);

— прямое сжигание горючего сланца под котлами электростанций (СССР);

— производство в крупных масштабах химических продуктов: бензола, толуола, фенолов, дубителей, клеев, шпалопропиточного масла, лаков, пластификаторов, мастики, кокса электродного и др. (СССР);

— производство различных видов строительных материалов на основе минеральной части сланцев (СССР, ФРГ, Швеция и др.);

— извлечение урана, редких и рассеянных и сопутствующих элементов из сланцев и продуктов их переработки (Швеция);

— использование концентрата ОВ горючих сланцев для получения химических продуктов в качестве наполнителя полимерных материалов, стимуляторов роста растений и др. (СССР).

Сведения о добыче и переработке горючих сланцев в некоторых странах мира приведены в табл. 1.

СССР

Наиболее ранние сведения о горючих сланцах относятся к концу XVII в. Еще в 1697 г. стало известно о наличии горючих сланцев в Ухтинском районе. Петром I было дано указание отправить образцы ухтинского сланца в Голландию для испытания. О горючих сланцах Сысольского района Тимано-Печорской области известно с 1771 г., Яренского района — с 1894 г. Первые упоминания о горючих сланцах Прибалтийского бассейна относятся к 1725 г., когда И. А. Гульденштедт обнаружил в Иыхви камень, который горит. В 1789 г. В. А. Энгельгардт, подвергнув «масленный камень» термическому разложению, получил смолу. Г. П. Гельмерсен в 1838—1839 гг. писал, что горючие сланцы-кукерситы могут принести значительную выгоду для местного населения [7]. В 1872—1884 гг. были обнаружены горючие сланцы в районе р. Кендерлык (ныне Казахской ССР), и с этого времени они использовались местным населением в качестве топлива. Сведения о наличии горючих сланцев в Волжском бассейне относятся к 1844—1849 гг., Общесыртского района — с 1870 г. О сланцах Приуральской группы стало известно в 60-е годы XIX в. В 1895 г. появились сведения о наличии горючих сланцев вблизи г. Симбирска (ныне г. Ульяновска). В конце XIX в. обнаружены горючие сланцы в Яренском районе Тимано-Печорского края.

Интенсивное развитие геологоразведочных работ на горючие сланцы получило после Великой Октябрьской социалистической революции. В 20-е годы XX в. сланцы привлекали внимание как местное топливо, особенно в тех районах, где отсутствовали другие виды топлива. Позднее к ним возник интерес как к энергохимическому сырью. Было предусмотрено строительство электростанций и сланцеперерабатывающих заводов.

В СССР месторождения горючих сланцев с географической и экономической точек зрения размещены весьма удачно. На западе расположен Прибалтийский бассейн (Ленинградское и Эстонское месторождения) с запасами сланцев более 20 млрд. т, на востоке европейской части страны находится Волжский бассейн с его многочисленными месторождениями; в пределах Тимано-Печорской нефтегазовой провинции выявлено четыре сланценосных района: Сысольский, Яренский, Ижемский и Нарьян-Марский; на северо-востоке Сибирской платформы открыт крупнейший Оленекский сланценосный бассейн с запасами более 300 млрд. т сланца. В Белоруссии за последние 10 лет выявлен новый бассейн Припятской впадины. На

Таблица 1. **Добыча и переработка горючих сланцев в некоторых странах мира [1, 11—13]**

Страна, континент	Периоды добычи и переработки	Средний выход смолы на сланец, %	Способ добычи	Основное направление производства
Австрия	С 1576 г. периодически по настоящее время	10,0—20,0	Подземный	Медицинские препараты, асфальтовая мастика, нафта, смола, ихтиол
Австралия	С 1824 г. периодически	до 30,0 и выше	»	Бензин, керосин, битум и др.
Англия	С 1848 г. периодически до 1962 г. Временами работало до 120 заводов	до 10,0	»	Смола, газ, сернокислый аммоний, керосин, парафин и др.
Северная Америка	С 1857 г. периодические опыты по переработке	4—10,0	Подземный и открытый	Жидкое топливо, газ
Южная Африка (Трансвааль)	С 1935 г. по настоящее время	13,0—38,0	То же	Топливные продукты
Болгария	С 1953 г. периодические опыты	5,0—10,0	»	Топливные продукты
Заир	С 1959 г. по настоящее время, опытная переработка	6,0—11,0	»	Бензин, керосин, масло и др.
Бразилия	С 1881 г. периодические опытные установки, с 1972 г. работает завод	7,0—8,0	Открытый	Топливные продукты
Испания	С 1922 по 1955 г.	12,0	Подземный	Смазочные масла, парафин, низкосортный бензин и др.
КНР	С 1920 г. по настоящее время	5,5	Открытый	Смазочные масла, парафин, кокс и др.
Новая Зеландия	С 1900 по 1910 г.	20,0—25,0	Подземный	Топливные продукты
Польша	С 1963 г. проводятся опыты по термической переработке и использованию минеральной части сланцев	4,0—5,0	Открытый	Получение легкого наполнителя бетона типа аглопорита на основе менилитовых сланцев
СССР	С 1860 г. по настоящее время. (Волжский бассейн), с 1918 г. по настоящее время (Прибалтийский бассейн)	13,0 22,0	Подземный Подземный и открытый	Топливное масло, газ, мазут, битум, бензин, бензол, толуол, лаки, фенолы, дубители, кокс, мастики

Таблица 2. **Количество действующих горнодобывающих предприятий**

Показатели	Месторождения				
	Эстонское			Ленинградское (шахты)	Кашпирское (шахты)
	Всего	Шахты	Разрезы		
Действующие предприятия	11	7	4	3	2
Годовая добыча товарной продукции на 1978 г., млн. т	36,48	15,30	14,92	5,30	0,968

Таблица 3. **Добыча горючих сланцев в СССР, тыс. т (данные Д. Т. Кузнецова, дополненные И. М. Озеровым)**

Год	СССР	РСФСР			Эстонская ССР	Казахская ССР
		Всего	Ленинградская обл.	Волжские районы		
1940	1683	734	403	307	947	2
1945	1374	512	—	512	860	12
1950	4716	1156	347	809	3543	17
1955	10793	3783	2068	1715	7010	—
1960	14148	4902	3480	1422	9246	—
1065	21259	5425	4145	1280	15834	—
1970	24319	5417	4249	1168	18902	—
1980	37389	6055	5163	892	31334	—

в мире как по добыче, так и по переработке и сжиганию сланцев. Добыча сланцев сосредоточена на Эстонском и Ленинградском месторождениях Прибалтийского бассейна и Кашпирском месторождении Волжского бассейна. Основная масса сланцев добывается подземным способом, но в дальнейшем предусмотрено постепенное увеличение добычи сланцев открытым способом. Общая добыча сланцев в СССР в 1980 г. превысила 37 млн. т (табл. 3).

С 1981 г. планируется постепенное увеличение добычи горючих сланцев СССР, в основном Прибалтийского бассейна. В связи с вводом в эксплуатацию новых газогенераторов мощностью 1000 т/сут (рис. 1) потребуются дополнительные источники сырья. Таким резервом могут оказаться сланцы Тапаского месторождения Эстонии.

В европейской части СССР известен один из крупных бассейнов горючих сланцев страны — Волжский. На промышленно перспективных месторождениях предусмотрено в 1981—1985 гг. провести комплекс научно-исследовательских, проектно-конструкторских и опытных работ по термической переработке волжских горючих сланцев.

На территории Белоруссии выявлен самостоятельный Припятский сланценосный бассейн с прогнозными запасами около 4 млрд. т сланца. Систематически ведутся научно-исследовательские и опытные работы на менилитовых сланцах украинских Карпат, распространенных на обширной территории не только СССР, но и Польши, Румынии. На Северо-Востоке СССР выявлен Оленекский бассейн горючих сланцев с крупными запасами сланца. Кендерлыкский угольно-сланцевый бассейн располагает значительным резервом угольно-энергетического сырья. В Печорском сланценосном бассейне известны многочисленные месторождения горючих сланцев, промышленное освоение некоторых из них может существенно улучшить топливный баланс ресурсов этого района.

Четыре действующих в СССР сланцеперерабатывающих предприятия выпускают свыше 30 сланцехимических продуктов, часть из которых экспортируется за рубеж.

В СССР изучением горючих сланцев, разработкой технологии добычи, термической переработкой, обогащением, технологией производства химических продуктов, строительных материалов, очисткой сточных вод и воздушного пространства занимаются НИИсланцев, Институт химии АН ЭССР, ВНИИнефтехим, Энергетический институт им. Кржижановского, Ленинградский технологический институт им. Ленсовета, Ленинградский горный институт, Гипрошахт, Ленгипронефтехим, Ленинградский инженерно-экономический институт и др.

Западная Европа

В странах Западной Европы начиная с XV в. выявлено довольно значительное количество месторождений горючих сланцев различного геологического возраста — от кембрия до четвертичного периода. Больше всего распространены сланцы юрского возраста. Общая площадь распространения осадочных пород, содержащих горючие сланцы, близка к 4 млн. км^2. Запасы сланцев с учетом выхода смолы не менее 6% составляют 126 931 млн. т.

Некоторые западноевропейские страны начали добычу и переработку сланцев еще в XVI в., но работы в большинстве велись периодически, в зависимости от конъюнктуры рынка. После второй мировой войны почти во всех странах Запада работы по промышленному освоению горючих сланцев были прекращены, так как сланцевая смола и сланцехимические продукты не выдержали конкуренции с нефтью.

В Австрии месторождения горючих сланцев триасового, юрского и третичного периодов распространены преимущественно в районах Тироля и Каринтии. Залегают они в тектонически сильно нарушенном районе Альпийских гор, что значительно снижает их промышленное значение, так как создает большие трудности в разработке. Промышленное значение имеют три залежи: Зеефельд, Бехентал-Сахранг и Херинг [1, с. 50—52; 10].

Содержание ОВ в сланцах 4—35%. Сланцы битуминозные, гумусово-сапропелевые. Смола высокосернистая (4—15%). Благодаря содержанию в смоле тиофеновой серы она использовалась для производства ихтиола и других медицинских препаратов. Добыча тирольских сланцев была начата в 1576 г. с целью получения «масла из камня», т. е. сланцевой смолы. С пуском в 1839 г. асфальтового завода страна на протяжении 40 лет получала асфальтовую мастику, нафту и асфальтовую смолу. Сланцы добывались в небольших количествах (около 600 т/год). В 1966 г. было изготовлено 18,8 т ихтиола и 35,6 т других продуктов. Запасы сланцевой смолы только месторождения Херинг составляют 1 млн. т [94].

В Великобритании первый патент на переработку горючих сланцев

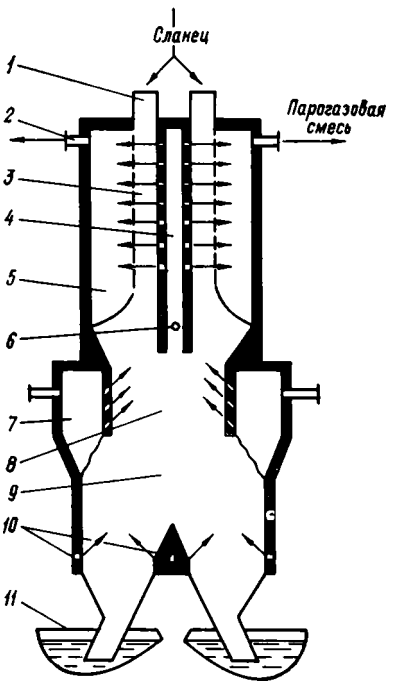


Рис. 1. Схема сланцевого газогенератора мощностью 1000 т/сут — процесс «Кивитер» (по А. Я. Аарна).

1 — камера газификации; *2* — эксгаустер; *3* — сланцевый бункер; *4* — загрузочное устройство; *5* — камера полукоксования; *6* — камера теплообмена; *7* — разгрузочное устройство; *8* — камера для приготовления теплоносителя; *9* — камера для сбора и отвода парогазовых продуктов; *10* — воздушные холодильники; *11* — боковое топочное устройство.

правительство выдало в 1694 г. В стране имеются многие месторождения горючих сланцев девонского, каменноугольного и юрского возраста [1, с. 44—49, с. 53—59, с. 248—260; 11; 12; 94]. Сланцы девонского возраста изучены недостаточно, и их промышленное значение неясно. Месторождения каменноугольного возраста известны в Уэльсе (Флитшир), на западе страны (Стаффордшир), в Северной Ирландии (Атрим) и в Центральной Шотландии (Лотиана). Наиболее крупным является месторождение Лотиана, сланцы которого на протяжении свыше 100 лет непрерывно добывались и перерабатывались. Добыча сланцев производилась открытым и подземным способом и в общей сложности была развита на площади около 200 км^2. Максимальная мощность верхней сланценосной толщи составляет 1800 м. Здесь выделено 8—9 сланценосных горизонтов, содержащих до 5 пластов сланца. Эксплуатации были подвергнуты сланцы многих пластов. В 1913 г. добыча сланцев оказалась максимальной и достигла 3,33 млн. т, но начиная с 20-х годов она постепенно сокращалась, а в 1962 г. все работы по добыче и переработке были прекращены. На ликвидацию сланцедобывающих предприятий оказали влияние следующие факторы: уменьшение процента выхода смолы с 1890 до 1937 г. в среднем с 17 до 10%, а также запрет выпуска некоторых продуктов из сланцев ввиду их канцерогенности и, главное, экономический фактор — нефть и нефтепродукты вытеснили на рынке страны сланцевые продукты.

В течение многих десятилетий из шотландских сланцев получали бензин, керосин, смазочные масла, аммиак, сернистый аммоний, сольвент, моющие вещества, парафин, дизельное топливо и др.

Горючие сланцы юрского возраста (лейас и кимеридж) распространены на значительной территории Англии. В центре страны они образуют крупный бассейн. Наибольший интерес представляют сланцы кимериджа. Мощность пластов сланцев 0,60—0,80 м. В районе Кента и Суссекса сланценосные отложения обнаружены на значительной глубине.

Выход смолы сланцев Йоркшира 2—18%. Сланцы пластов небольшой мощности (0,6—0,8 м) имеют более высокий процент выхода смолы (13—18%) по сравнению с пластами большей мощности (2—9%).

Общие запасы сланцевой смолы юрских сланцев оцениваются в 150 млн. т, а запасы смолы каменноугольных сланцев — 90 млн. т [94].

В Швеции горючие сланцы залегают в основном среди отложений кембрийско-силурийского возраста. Наибольший промышленный интерес к сланцам проявлялся в периоды первой и второй мировых войн, когда страна оказалась изолированной от поставщиков нефти. Особенно интенсивное развитие сланцевой промышленности относится к 40—50-м годам. Выпуск сланцевой смолы в отдельные годы достигал 350 тыс. м^3. Электроэнергии при сжигании топливного масла вырабатывалось до 148,4 млн. кВт/ч. Производство серы составляло 90, аммиака — 24,0, сжиженного газа — 10—12 тыс. т. Из легкой фракции смолы получался бензин с октановым числом 88—93. Кроме того, выпускалась известь до 60 тыс. т в год.

Добыча горючих сланцев производилась главным образом из месторождения Нёрке (г. Кварнторп), где разрабатывались два пласта мощностью 7—8 м. С введением в эксплуатацию в 1942 г. завода в г. Кварнторп общая производительность сланцеперерабатывающих заводов страны составила 3500 т/сут. В 1958 г. Швеция добывала и перерабатывала 1800 тыс. т сланца, но в 1965 г. по экономическим соображениям переработка сланцев была прекращена. Затем вскоре интерес к сланцам возобновился — из них стали извлекать уран.

По трем месторождениям (Остерготланд, Вестерготланд и Нёрке) запасы сланцевой смолы оцениваются в 600 млн. т. Прогнозные запасы сланцев всех месторождений Швеции подсчитаны в количестве 12,7 млрд. т. Теплота сгорания сланцев 7536—9420 кДж/кг. В среднем выход смолы на сланец месторождения Нёрке составляет 5,7%, Сандакра — 3—15%, а в сланцах остальных месторождений находится в пределах 3—4%. Смолы высокосернистые. Сланцы содержат уран, ванадий и другие сопутствующие компоненты [11, 14, 15, 94].

Глинистые сланцы кембрийского возраста месторождения Ранстад разрабатываются с 1965 г. с целью извлечения урана. Урановый завод рассчитан на получение 120 т U_3O_8 в год. Мощность пласта урансодержащих глинистых сланцев кембрия 3,5 м. Содержание урана в среднем 300 г/т. Запасы урана в пере-

счете на U_3O_8 1,0 млн. т. Добытый сланец измельчают, подвергают обогащению в тяжелых средах (смесь тетрабромэтана и керосина), а затем выщелачиванию. Раствор выщелачивания нейтрализуют известняком до pH = 1,8, фильтруют и подают на ионообменные колонны. Уран экстрагируют керосиновым раствором Д2ЭГФК и реэкстрагируют. Уран из реэкстрактора осаждают разбавленным раствором гидроокиси натрия (при 80° С), осадок промывают, сгущают и высушивают. Общий выход урана в конечный концентрат составляет 47% [15]. Проектируется извлечение из сланцев сопутствующих компонентов — алюминия, фосфора, железа, ванадия, молибдена и серы.

В ФРГ. Первая установка по переработке горючих сланцев была сооружена в Швабии (Германии) еще в 1857 г., но в связи с ввозом керосина из США она вскоре прекратила свое существование. В 1885 г. в г. Мессел начала работать новая установка с 24 вертикальными ретортами, которая проработала более 70 лет по переработке посидонских сланцев. В годы первой и второй мировых войн сланцевая промышленность вновь стала развиваться, были созданы вращающиеся и шахтные печи. В 1944 г. в г. Фроммерн начали функционировать 30 реторт Лурги-Швейцера, но через 2 года предприятие было закрыто в связи с увеличением импорта нефти. В этом же году в районе г. Ротвейл была сооружена установка для подземной перегонки сланцев, но она также через 3 года прекратила свое существование. Цемент получают на цементном заводе в г. Доттернхаузен путем совместного помола 70% сланцевого остатка и 30% клинкера [1, с. 369—373, 418—446; 11].

Горючие сланцы на территории ФРГ приурочены к отложениям осадочного комплекса пород пермского, триасового, юрского и третичного возраста. Практический интерес представляют сланцы лейаса месторождений Вюртемберг и Брауншвейг и сланцы третичного возраста месторождения Мессел. Для сланцев того и другого возраста характерно довольно низкое содержание ОВ (6—18%), вследствие чего теплота сгорания сланцев, имеющих выход на дневную поверхность, 3850—7530 кДж/кг, а выход смолы 3—8%. Сланцы более глубоких горизонтов имеют выход смолы 9—10% и сгорания 7530—8370 кДж/кг. Химический состав минеральной части сланцев непостоянен (%): SiO_2 — 12—51, Al_2O_3 — 9—12, CaO — 18—60, Fe_2O_3 — 6. Зольные остатки, получаемые от сжигания сланцев, пригодны для производства гидравлического вяжущего марки 400.

Г. Крепелин [1, с. 369—373] считает, что посидонские сланцы, несмотря на низкое содержание в них ОВ, экономически выгодно разрабатывать с целью получения тепла и превращения минеральной массы в пемзообразное вещество, пригодное в качестве основного компонента цемента. Оценивая их роль в перспективе мировых энергетических источников, он считает, что с технической и экономической точек зрения посидонские сланцы заслуживают внимания, поскольку потенциальное теплосодержание в залежах этих сланцев несколько больше, чем во всех залежах нефти. Имеются данные о запасах сланцевой смолы только для сланцев юрского возраста — 285 млн. т [94]. В современных условиях горючие сланцы перерабатываются на установке Лурги, на которой сланец сжигается в псевдоожиженном слое, в результате чего получают энергию и гидравлический вяжущий материал.

Испания располагает многочисленными месторождениями горючих сланцев пермско-каменноугольного, юрского, мелового и третичного возраста. Однако, кроме сланцев месторождения Пуэртольяно, они недостаточно изучены и перспективы их неясны. Имеются упоминания, что мощность сланцевой залежи месторождения Контабрия 30—50 м, а выход смолы в среднем около 30%. В порядке перспективной оценки запасы горючих сланцев Испании определены в 364 млн. т.

Горючие сланцы месторождения Пуэртольяно пермско-каменноугольного возраста разрабатываются свыше 50 лет и подвергаются термической переработке в печах Броксбурна. Общая производительность пяти реторт завода 250 т/сут. Пласт горючего сланца мощностью 4,6 м залегает между пластами угля, поэтому добывался с ними совместно. Содержание ОВ в сланце 26—28%. Теплота сгорания близка к 12 560 кДж/кг. Выход смолы 13—18%. Смола малосернистая, парафинистая. Застывает она при температуре 27° С. Завод до 1966 г. выпускал моторное топливо, смазочные масла, парафин и прочие продукты. За-

пасы сланцев месторождения Пуэртольяно 120 млн. т [11, 13].

В Швейцарии известны месторождения горючих сланцев триасового и юрского возраста. В небольших количествах сланец добывают на месторождении Мерид триасового возраста. Мощность пластов сланца до 1 м. Выход смолы в среднем 27%. Сланцевая смола используется для приготовления лекарственных препаратов [11].

Сланцевые отложения лейаса встречаются в Юрских горах на границе с Францией. Они залегают в районе, подвергнутом тектоническим проявлениям. Перспективы их неясны.

Во Франции насчитывается свыше 30 месторождений горючих сланцев возрастом от силура до мела. Особенно распространены сланцы лейаса. В юго-восточной части страны они почти непрерывно прослеживаются в виде довольно широкой полосы, на многих участках выходят на дневную поверхность. Мощность залежей лейаса 5,6—9,0 м. Сланцы бедны ОВ, и выход смолы обычно незначителен (1,2—4,2%, Северак-ле-Шате). Запасы сланцев только месторождения Северак-ле-Шате оцениваются в 1000 млн. т, или 40 млн. т смолы [11, 13, 94, 95].

Разработка юрских сланцев осуществлялась с 1838 г. периодически и в большинстве случаев носила экспериментальный характер по выбору рациональной технологии переработки, а также для промышленной оценки.

С промышленной точки зрения в прошлом во Франции привлекали внимание месторождения сланцев пермского возраста, в частности Отён и Сент-Илер. Наиболее интенсивно они разрабатывались в 1838—1865 гг., до массового ввоза в страну американской нефти, и затем после первой мировой войны. В 1937 г. на указанных месторождениях было добыто около 140 тыс. т сланца, в результате переработки которых на заводе Сент-Илер получено 10 тыс. т смолы. На месторождении Отён сланценосная толща представлена тремя пластами сланцев мощностью 1,8—3,0 м. Выход смолы 4—9%. Запасы отёнских сланцев оцениваются различными авторами по-разному — от 60 до 1800 млн. т. Сланценосная толща месторождения Сент-Илер, как и месторождения Отён, залегает на глубине до 230 м, выше угольных пластов. Мощность пластов 0,15—0,70 м. Выход смолы в среднем 114 л/т. Запасы сланцев Сен-Илера оцениваются в 200 млн. т. Сланцы разрабатывались подземным способом.

Общие перспективные запасы горючих сланцев Франции оцениваются в 4000 млн. т, из них достоверные запасы составляют 1409 млн. т. В 1937 г. было добыто около 140 тыс. т сланца с переработкой его на заводе Сент-Илер, а в 1957 г. — 2,7 тыс. т; практически все работы на шахтах и заводах приостановлены. Полученная сланцевая смола использовалась как жидкое топливо.

Сланценосная формация лейаса занимает обширные площади на северо-востоке, в центральной и юго-западной частях Франции. Она с небольшими перерывами прослеживается в виде широкой полосы на сотни километров. Широко распространены сланценосные отложения пермского возраста. Таким образом Франция располагает значительными потенциальными запасами горючих сланцев.

Интересные данные по прогнозной оценке некоторых месторождений сланцев Франции приведены в работе Дж. Бюргера [95] (табл. 4).

В Югославии горючие сланцы известны во многих районах — Алексинаца, Валево, Заечара и Скопье. Они приурочены к отложениям третичного возраста. Наиболее крупное — Алексинац.

Продуктивная песчано-глинистая толща верхнего олигоцена и нижнего миоцена содержит пласты углей и сланцев. Общая ее мощность 800—1000 м. Мощность пластов сланцев различная: мощность верхнего пласта, являющегося кровлей пласта угля, 12—15 м, нижнего, подстилающего пласт угля, 20—26 м.

Содержание ОВ в среднем близко к 20%. Теплота сгорания 7536 кДж/кг. Выход смолы на сланец 9—18%. Смола малосернистая, но высокопарафинистая (до 24%). Запасы сланцевой смолы месторождения Алексинац [94] 30 млн. т (по М. Митрашиновичу [16], 750 млн. т). При переработке алексинацского сланца на пилотной установке были получены бензин, дизельное топливо, смазочные масла, парафин и электродный кокс. Поскольку верхний пласт сланца месторождения Алексинац залегает во вскрыше угольного пласта, то предусматривается одновременная добыча сланца и угля, что значительно может улучшить экономические показатели горнодобывающего предприятия [1, с. 202—209]. Горючие сланцы других месторождений Югославии не изучены.

Таблица 4. **Основные месторождения горючих сланцев Франции [95]**

Месторождение (департамент)	Выход смолы, л/т	Мощность, м	Возраст	Запасы, млн. т	
				сланцев	смолы
Феморо (Вандея)	120—140	1	Каменноугольный	—	—
Отён (Сона — Луара)	75	1—4	Пермь	60	1—10
Сент-Илер (Оманс)	70—75	1—4	»	60	1—20
Северак-ле-Шате (Ло)	40	2	Лейас	—	1,5—40
Кревени (Верхняя Сона)	40—50	20—30	»	1000	50—130
Маноск (Нижние Альпы)	70—140	3—5	Миоцен	20	0,5

В Польше горючие сланцы известны во многих районах [11—13, 96]. Они встречаются в отложениях различных геологических формаций — девонского, каменноугольного, юрского, третичного и четвертичного периодов. Сланцы большей части месторождений бедны ОВ.

Горючие сланцы Свентокшиских гор залегают среди отложений фаменского яруса верхнего девона. Мощность пласта 0,5—0,6 м. Выход смолы 11,7%.

Горючие сланцы Верхнесилезского каменноугольного бассейна в основном залегают в кровле угольных пластов. Форма залежей сланцев линзо- и пластообразная. Как правило, залежи разобщены прослоями глин и угля. Средняя мощность залежей 0,4 м (0,1—1,9 м). Выход смолы в высокозольных сланцах небольшой — 6—7%, а в малозольных достигает 32%. Запасы сланцев оценены в 32 млн. т, что в пересчете на смолу составляет 5 млн. т.

У г. Черноглова горючие сланцы встречаются в отложениях верхней юры. Мощность пластов 4—5,7 м. Выход смолы 3,4—13,2, в среднем 4—6%. Запасы сланцев не определены.

Карпатские менилитовые сланцы третичного возраста слагают площадь около 600 км². Мощность сланцесодержащих пород 150—200 м. Мощность пластов, линз и прослоев сланцев 0,2—5 м. Выход смолы, как правило, по аналогии с карпатскими сланцами УССР небольшой — 2—12,3, в среднем 4—5%. В 1963 г. был проведен опыт по переработке менилитовых сланцев Польши.

Горючие сланцы Польской низменности встречаются в отложениях четвертичного периода, образование их тесно связано с межледниковыми отложениями. Мощность залежей сланцев 7—10 м, выход смолы в среднем 13—15%. Запасы сланцев более крупных месторождений оцениваются в 1 млн. т. Масло сланцевое пригодно для получения смазочных материалов. Менилитовые сланцы используются в качестве исходного сырья для производства легкого наполнителя бетона — аглопорита, а из сланцев некоторых месторождений получается битум.

Болгария. В балансе мировых запасов сланцевой смолы [94] по Болгарии приведено число 30 млн. т смолы, которое относится только к Брезникскому месторождению. По данным перспективной оценки в Болгарии кроме указанного месторождения известны Пиринское (20 млн. т сланца, выход смолы в среднем 7—8%), Боровдольское (20 млн. т, выход смолы до 20%), Радомирское и др. Сланцы Болгарии привлекали внимание с давних времен. В 1953 г. на 10-тонном шахтном газогенераторе при полукоксовании пиринских сланцев было получено 5—10% бензиновой, 25—30% дизельной фракции и 60—65% мазута с высоким содержанием парафина: 17,8% в смоле и 28,3% в мазуте. Установлено присутствие в брезникских сланцах в промышленных количествах молибдена и др. [1, с. 226—227; 11]. Возраст горючих сланцев известных месторождений — палеоген. Сланцы преимущественно глинистые или мергелистые.

Пласты сланцев Боровдольского месторождения встречаются в глинисто-битуминозном горизонте, залегающем над угленосным горизонтом. Общая мощность горизонта горючих сланцев 20—30 м. В нем выделено три пачки: пер-

вая мощностью 4,4 м, с выходом смолы 5,2%, вторая мощностью 8,5 м, с выходом смолы 8,1%, третья мощностью 4,7 м, с выходом смолы 6,4%. Запасы, подсчитанные до глубины 250 м, составляют 20 млн. т сланца. Смола, полученная при переработке сланцев, содержит 8,5% бензиновой фракции, 17,5% лигроиновой и 13,5% соляровой. Смола малосернистая.

Пласты сланцев Пиринского месторождения залегают над угленосным горизонтом, представленным бурыми углями. Мощность сланцевого горизонта 15—60 м. Мощность пластов сланцев, залегающих непосредственно над угольным пластом, 3,5—29 м, выход смолы 5—9%. Запасы сланцев до глубины 150—200 м составляют 28 млн. т, до глубины 200—350 м — около 50 млн. т.

Брезникское месторождение сланцев представлено мергелисто-глинистым горизонтом. Выход смолы сравнительно небольшой (7—8%). В перспективе запасы сланца оцениваются в 40—50 млн. т.

Сланценосный горизонт Радомирского месторождения содержит 9 прослоев сланца, разобщенных прослоями песчаника. Выход смолы на сланец 5—9%. Запасы сланцев до глубины 200 м определены в 0,9 млн. т, до глубины 350 м — 3,5—4 млн. т.

Азия

Горючие сланцы известны во многих странах Азии, но они слабо изучены и почти не разведаны. Отрывочные литературные сведения позволяют лишь сугубо ориентировочно составить впечатление об условиях залегания, форме, размерах, качестве и тем более запасах. Горючие сланцы в странах Азии, исключая КНР, не добывались и не перерабатывались. Однако наличие сланценосности и даже месторождений горючих сланцев зарегистрировано почти повсеместно.

КНР располагает огромными запасами сланцевой смолы — 24 500 млн. т [94]. Известны такие крупные месторождения горючих сланцев, как Фушуньское, Квантунское, Маоминское и др., образование которых связано с отложениями палеоген-неогенового возраста. Наличие сланцев в Китае установлено в 10 провинциях [11—13, 47]. Разработка горючих сланцев ведется на Фушуньском (30—35 млн. т/год) и Маоминском (10—20 млн. т/год) месторождениях. В основной массе сланцы палеоген-неогена бедны ОВ. Выход смолы на сланец 3—10%, реже больше. Запасы сланцев отдельных месторождений значительны (Фушуньское — свыше 300 млрд. т).

Сланцы Фушуньского месторождения добывают и перерабатывают с 1929 г. совместно с углем, который залегает под сланцами. Сланцы известных месторождений содержат мало ОВ (15—25%), а потому в основной своей массе обладают невысокой теплотой сгорания (3350—7280, реже 10 000 кДж/кг). Фушуньские сланцы залегают в кровле угольных пластов, а поэтому добываются предварительно как вскрышная порода. В результате термической переработки сланцев получают дизельное топливо, смазочные масла, парафин, кокс и др.

В Израиле горючие сланцы являются почти единственным национальным источником топлива, поэтому последние годы большое внимание уделяется выявлению новых месторождений и подготовке их к промышленному использованию в качестве топлива. Кроме известных месторождений горючих сланцев в Тсефахе, Хар-Тиве, Ороне, Овде в 1980 г. открыто новое месторождение Нахал-Зин в южной части пустыни Негев с запасами сланцев 4 млрд. т. Массовая доля ОВ в сланцах 15%, выход смолы 60 л/т. Мощность вскрышных пород 30 м. На базе горючих сланцев Нахал-Зин планируется строительство сланцеперерабатывающего завода производительностью 3200—6400 м³/сут смолы в 1988—1990 гг. Стоимость 1 т смолы составит 150—250 долл/м³ [11, 97].

Месторождения сланцев Азии залегают преимущественно среди отложений мелового и третичного возраста (табл. 5). Невысокая теплота сгорания сланцев израильских месторождений Эфье, Эйн-Бокуек, а также сирийских сланцев, возможно, объясняется отбором проб из зоны выветривания. Привлекает внимание такое месторождение, как Мэсот (Таиланд), по выходу смолы, теплоте сгорания и по прогнозным запасам. Геологическое строение многих стран Азии позволяет рассчитывать на открытие новых месторождений горючих сланцев и увеличение числа запасов прежде всего за счет проведения более детальных исследований уже известных месторождений.

С палеоген-неогеновыми отложениями связано образование крупных месторождений и бассейнов горючих сланцев.

Таблица 5. **Характеристика горючих сланцев некоторых месторождений Азии [1, 11—13]**

Страна	Месторождение	Геологический возраст	Теплота сгорания, кДж/кг	Выход смолы	Запасы смолы, млн. т
Бирма	Амхерст	Третичный	10467	130—200 л/т	280
Израиль	Эйн-Бокуек	Меловой	2637—6489	7,2—8,8%	3
	Эфье	»	2930—6447	4—10,0%	10
Иордания	Эль-Ладжуна	»	Нет данных	90—225 л/т	Десятки млн. т
	Неби-Муса	»		10—11%	10
Монголия	Налаиха	»	Нет данных		
Сирия	Без назв.	»	4186	6,5%	Нет данных
Таиланд	Мэсот	Третичный	15491	26,6%	670
Турция	Болу-Менген	Эоценовый	—	—	1,5
	Гойнук,	»	—	—	40
	Модурну	»	—	—	—
	Бахчеджик	»	—	—	12,5

Породы этого возраста почти непрерывно прослеживаются с юга на север вдоль хр. Аракан-Йома, занимая межгорные впадины и краевые прогибы, образованные в результате проявления альпийской складчатости. Они захватывают территорию Таиланда, Бирмы и Лаоса. Ими сложены юго-западные и восточные окраины Иранского нагорья, где они образуют сравнительно широкую дугообразную полосу, совпадающую с направлением господствующих структур альпийской складчатости. Наличие палеоген-неогеновых отложений зафиксировано в Индии, Пакистане, Иране и др.

Австралия и Океания

В Австралии известно более 20 месторождений горючих сланцев, которые расположены на территории штатов Новый Южный Уэльс, Квинсленд и о. Тасмания. Суммарная площадь распространения сланценосных отложений превышает 3 млн. км^2. Приурочены они в основном к пермско-каменноугольным (Тасмания и Новый Южный Уэльс) и палеоген-неогеновым отложениям (Квинсленд).

Австралия — единственная страна, где горючие сланцы представлены преимущественно тасманитом, торбанитом, кеннелями, а также преолитами, пелионитами и коронгитом. Сланцы сапропелевые, сапропелево-гумусовые и гумусово-сапропелевые. Указанные разновидности тесно связаны между собой взаимопереходами в разрезе толщи. Особое положение среди них занимает коронгит, обладающий высокой растворимостью в обычных органических растворителях (50% для молодого вещества).

Разработка горючих сланцев в крупных масштабах относится к началу XIX в. Осуществлялась она периодически на многих месторождениях Нового Южного Уэльса, Квинсленда и Тасмании. Переработка сланцев позволяла получать бензин, керосин, парафин, светильный газ, дизельное, тракторное топливо, битум и др., однако к 1952 г. была прекращена.

После длительного перерыва в Австралии вновь возобновляются добыча и переработка горючих сланцев. К концу 80-х годов планируется довести производительность завода до 38 160 м^3/сут. Средняя массовая доля смолы в сланце составит 77 л/т. Сланцы залегают на уровне моря возле г. Гладстон. Австралийская смола по расчетным данным в 2—2,5 раза дешевле колорадской смолы, причем австралийская смола не требует дополнительной очистки.

В связи с истощением австралийских нефтяных месторождений предполагается в дальнейшем переработку сланцев в смолу довести до масштабов, обеспечивающих полную независимость страны от ввоза нефти [11—13, 98]. Сланцы Но-

вого Южного Уэльса, Квинсленда и Тасмании довольно богаты ОВ и дают выход смолы на сланец от 30—50 до 400—700 л/т. Запасы горючих сланцев Австралии с содержанием ОВ 10—65% составляют $8 \cdot 10^{13}$ т, с содержанием 5—10% — около $8 \cdot 10^{14}$ т. Потенциальные запасы смолы, содержащейся в этих сланцах, 41—42,9 млн. т [94]. Наибольший промышленный интерес представляют торбаниты Нового Южного Уэльса.

На территории Новой Зеландии известно до десяти месторождений горючих сланцев палеоген-неогеновой формации песчано-глинистого состава. Сланцы по своему составу близки к торбаниту Нового Южного Уэльса, хотя их зольность 8—33%. Наиболее изученным и разведанным месторождением является Орепуки. Сланцы его имеют теплоту сгорания до 21 352 кДж/кг, выход смолы — до 25%, выход летучих веществ — 64—81,8%. Запасы сланцевой смолы Новой Зеландии 30 млн. т. Начало добычи и переработки сланцев месторождений Новой Зеландии относится к концу XIX в., но в 1910 г. сланцеперерабатывающий завод был закрыт и добыча прекращена.

Ресурсы сланцевой промышленности Австралии и Новой Зеландии могут возрасти за счет открытия новых месторождений горючих сланцев, в первую очередь среди палеоген-неогеновых отложений. В Австралии этими отложениями сложены обширные площади в восточной и северо-восточной части. Спорадически они встречаются и в центральной части Австралийской платформы.

Африка

В Африке известные месторождения горючих сланцев приурочены к каменноугольным (ЮАР), верхнеюрским (Заир), верхнемеловым (Марокко, Египет) и палеоген-неогеновым (о. Мадагаскар) отложениям (табл. 6). Проявление сланценосности установлено в Замбии, Мали, Танзании, Тунисе, Уганде и других странах Африканского континента [11—13], однако несмотря на благоприятные геологические предпосылки сырьевые ресурсы сланцевой промышленности слабо изучены. Сланцевая промышленность в африканских странах одна из самых молодых. Экономический потенциал горючих сланцев как местного топливно-химического сырья в общем балансе той или иной страны пока еще не определен ввиду их слабой изученности, хотя запасы сланцевой смолы большие, например, запасы месторождения Луалаба Республики Заир составляют около 15 900 млн. т.

Перспективы открытия новых месторождений горючих сланцев в Африке

Таблица 6. **Некоторые данные по характеристике горючих сланцев стран Африки [1, 11—13]**

Страна	Месторождение	Геологический возраст	Мощность залежей, м	Выход смолы	Запасы, млн. т
Марокко	Танжер	Поздний мел	23	8,6—13,0%	40—50 сланцев
Марокко	Тимахди	То же	20 (горизонт)	Нет данных	Свыше 4000 сланцев
Марокко	Архабал	»	3	6%	20 сланцев
Республика Заир	Луалаба	Поздняя юра	Полоса прослеживается на 1000 м	153 л/т (в среднем)	15900 смолы
Малагасийская республика	Самбена	Плиоцен	150	11%	30—40 сланцев
ЮАР	Эрмело	Каменноугольный	Пачки, линзы до 0,8	185—150 л/т	20,5 смолы

следует рассматривать обнадеживающими хотя бы по распространению палеоген-неогеновых и верхнемеловых отложений, с которыми в известных сланценосных районах связано образование горючих сланцев. Особенно благоприятны площади проявления синеклиз Карру, Конго, Тиндуф и Сенегала. Горючие сланцы для молодых государств Африки могут в дальнейшем стать основным видом сырья топливной и химической отраслей промышленности.

Добыча и переработка горючих сланцев месторождений Эрмело, Луалаба и Антанифоси, проводившиеся периодически в сравнительно небольших масштабах в 1935—1962 гг., составили в 1959 г. на месторождении Луалаба 3600 т/год, а на месторождении Эрмело максимальная производительность завода достигала 270 тыс. т/год. В Марокко испытания качества сланцев не вышли за пределы опытных работ. Разработка сланцев на месторождении экономически выгодна, поскольку они залегают в кровле угленосной свиты. В процессе пиролиза сланцевой смолы получали бензин, керосин, топливное масло, битум. Сланцевая смола малосернистая. Горючие сланцы провинций Трансвааль и Наталь по своему составу аналогичны торбаниту.

Если учесть содержание ОВ в сланцах (30—45%), выход смолы (6—38%), а также количество запасов сланцев, то некоторые страны Африки имеют благоприятные предпосылки для развития сланцехимической и топливной промышленности.

Северная Америка

В Северной Америке горючими сланцами заняты обширные территории. Только в США они распространены на площади около 14 млн. км². Значительные площади сланцы занимают в Канаде. Запасы сланцевой смолы известных месторождений США составляют 24,6 трлн. т, Канады — свыше 23 000 млн. т [94].

Месторождения горючих сланцев в США известны более чем в 30 штатах, наиболее крупные — в штатах Колорадо, Юта и Вайоминг (табл. 7).

Возраст залежей горючих сланцев — ордовик — четвертичный период. Сланцы отдельных формаций отличаются друг от друга по условиям залегания, мощности и качеству [1, с. 36—41, 69—78, 172—183, 261—271; 11—13]. Не все сланценосные площади так детально изучены и опробованы, как сланцы формации Грин-Ривер. Геологические предпосылки весьма благоприятны для выявления дополнительных резервов развития сланцевой промышленности.

В США добыча сланцев началась в 1857 г. в штате Огайо в связи с пуском завода производительностью 11,3 м³/сут смолы. Разработка сланцев формации Грин-Ривер была начата в 1897 г., но продолжалась недолго. На протяжении последних 70—80 лет проводились интенсивные исследования сланцев штата Колорадо в направлении изучения полезной толщи, качества сланцев и сопровождающих компонентов (даусонита, нахколита, галита), содержания редких и рассеянных элементов, химического состава минеральной части и т. д., разработки методов термической переработки сланцев, методов вскрытия и разработки. Запасы сланцев формации Грин-Ривер огромны, но сланцы в основной массе бедны ОВ. Средний выход смолы 4—6%. Мощность сланцевой толщи значительна (до 600 м и более). В топливном балансе США горючим сланцам отводится большая роль. В 2000 г. на долю сланцев планируется около половины ресурсов энергии всей страны.

В Канаде горючие сланцы известны во многих провинциях — Онтарио, Нью-Брансуик, Новая Шотландия, Квебек, Ньюфаундленд, Манитоба, Саскачеван и др.

Выход сланцевой смолы изменяется в широких пределах (л/т): провинция Нью-Брансуик — 109—227, Новая Шотландия — 14—171, Онтарио — 14—25, Квебек — 90—162, Манитоба и Саскачеван — не превышает 58, о. Ньюфаундленд — 76—225 [11—13, 94].

Горючие сланцы Канады находятся на начальной стадии изучения и выявления экономических предпосылок для их промышленного использования. Сланцы в настоящее время не добываются. В провинции Альберта на месторождении Атабаска с 1967 г. работает единственный в мире промышленный комплекс по переработке битуминозных песчаников. Геологические запасы битума — свыше 100 млрд. т, глубина залегания залежи 0—610 м. Мощность 19—32 м. Массовая доля битума 4—10%. Товарной продукцией завода является синтетическая нефть (по проекту — 7,1 тыс. м³/сут,

Таблица 7. **Горючие сланцы основных формаций США** [1, с. 36—41, 69—78; 11—13, 94]

Формации	Возраст	Штат, месторождение	Площадь распространения, км²	Форма залежи	Глубина залегания, м	Мощность	Выход смолы, %	Запасы смолы
Грин-Ривер	Эоцен	Колорадо, Юта, Вайоминг, бассейны Гринин-Ривер, Вашейки, Пайсенс-Крик, Уинта	42 700	Пласто- и котловинообразная	От поверхности до 1200 м	Сланценосная толща до 600 м и более	4—15	1200 млрд. т [94]
Монтерей и Сискуок	Миоцен — плиоцен (диатомовый сланец)	Калифорния, Монтана	7800 миоцен — плиоцен, 700 палеоген — неоген	Пластообразная	От поверхности до 1200 м	Слои от долей метра до нескольких метров. Мощность всех пластов 300 м	Вблизи поверхности 10—15, с глубиной 4—8	7200 млн. т, прогнозные запасы значительны
Свиты Пьер	Поздний мел	Южная Дакота, Небраска, Вайоминг, Монтана	Площадь значительна	»	—	150—1170 м	До 15%	Запасы значительны
Морская формация	Триас — юра	Аляска	12 500	»	Участками выходит на поверхность	Пласты 1 м и более	10—15	Свыше 7 млрд. т
Фосфория	Пермь	Монтана	1500	Пластовая	—	Пласты от нескольких сантиметров до 6 м и более	2—7	700—1400
Свиты Сенора-Мид	Девон — карбон	Нью-Йорк, Оклахома	650 000	Пластообразная	До глубины 3000 м	Пласты от нескольких метров до 250 м, отдельные пласты сланца 2—10 м	4—10	30 млрд. т (прогнозные)

сера 316 и кокс 260 т/сут). Предусматривается производство никеля и ванадия (доля ванадия в золе достигает 3—4%).

Южная Америка

В Южной Америке горючие сланцы обнаружены во многих странах. В Бразилии запасы сланцев весьма велики — 1490 млрд. т [94], причем запасы сланцев с выходом смолы не менее 42 л/т составляют 127 000 млн. т. Добыча сланцев в Бразилии началась в конце XIX в. Сланцы пермской формации Ирати в южной части страны добываются открытым способом. Выход смолы в среднем 11,4%. В 1973 г. в г. Сан-Матеуси-Сул, штат Парана, пущен сланцеперерабатывающий завод производительностью в сутки 160 м³ смолы, 35 000 м³ газа и 14 т серы. Продуктивный пласт представлен двумя слоями, разделенными пластом известняка. Мощность верхнего слоя 6,5, нижнего — 3,2 м. Мощность пласта пустой породы (известняк и глина) 8,5 м. Теплота сгорания 4180—12 560 кДж/кг, выход смолы на сланец 4—14%. Запасы сланцев в штате Парана 200 млрд. т. При переработке сланцев можно кроме смолы получить 100 млн. т серы, 4,5 млн. т сжиженного газа и 22 млрд. м³ топливного газа.

Кроме сланцев пермской формации Ирати имеются горючие сланцы палеоген-неогенового возраста. Запасы сланцевой смолы только одного месторождения Тремембе-Таубате составляют около 200 млн. т [94]. Разработка сланцев данного месторождения впервые была начата в 1881 г. Сланцы мелового возраста месторождения Марау, штат Баия, обладают высоким качеством. Выход смолы на сланец 124 л/т. Запасы сланцев не известны.

Опытная установка рассчитана на производство смолы 160 м³/сут, 17 т серы и 26,5 тыс. м³ легкого топливного газа. Создано немало промышленных установок по получению смолы и газа. Строится промышленный комплекс с ежесуточной переработкой сланца 108 тыс. т.

В Чили горючие сланцы встречаются в отложениях юрского и палеоген-неогенового возраста. Известно около десяти месторождений сланцев, но качество их изучено недостаточно и запасы не определены. Прогнозные запасы сланцевой смолы месторождения Эль-Пулар оценены в 5, а месторождений Лонкимай — 50 млн. т. Выход смолы горючих сланцев Эль-Пулар 7,2—16,2%, а Лонкимай — в среднем 20%. Горючие сланцы Чили промышленностью не осваиваются [12].

Горючие сланцы известны в Уругвае, Перу, Боливии, Аргентине, Колумбии, Эквадоре, Венесуэле и других странах Южной Америки, но они слабо изучены и их промышленное значение неясно. Геологические условия указанных стран весьма благоприятны для открытия новых месторождений горючих сланцев.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ СЛАНЦЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ

Возникновение, развитие и преобразование ОВ происходило в определенных палеогеографических условиях геологических эпох. Основными факторами, влиявшими на зарождение и преобразование ОВ на всех континентах во все времена геологического летосчисления, являлись рельеф материка, климат и вода. Физико-географические условия были изменчивы как в пределах одного и того же периода, так и в различных географических районах материков и океанов. В пределах определенного отрезка времени накопление ОВ при благоприятных палеогеографических условиях тесно связано с литофацией соответствующего петрографического, палеонтологического и геохимического состава морского, лагунного или континентального образования. На накопление и преобразование ОВ во времени оказывал влияние и тектонический режим земной коры отдельных регионов. Все эти и другие факторы в общей совокупности в свою очередь влияли на распределение и концентрацию ОВ в осадке определенной фации.

Фация* понимается как закономерный комплекс петрографических и геохимических особенностей отложений, выражающий палеогеографическую и геохимическую обстановку осадконакопления и диагенеза осадка [18, с. 706].

З. В. Дашкевич [19] отмечает, что уже в позднем архее рельеф земной поверхности стал более контрастным, произошло увеличение площади суши, в отложениях установлены остатки организмов — бактерий и сине-зеленых водорослей, и, следовательно, жизнь возникла около 2700—2900 млн. лет назад. В протерозое происходило возрастание массы ОВ. Господствовали бактерии и водоросли. Кроме сине-зеленых появились водоросли с дифференцированным слоевищем.

Определение понятия «палеогеография» как науки приводится во многих научных руководствах, однако наиболее всеобъемлющее дано в «Словаре по геологии нефти» (Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 481). Палеогеография изучает распределение и рельеф материков и водных бассейнов и изменения физико-географических условий в минувшие

* От лат. facies — наружный, форма.

геологические эпохи. Эта наука основывается на исследовании петрографических, палеонтологических и геохимических особенностей отложений и общей геологической истории изучаемой области. Палеогеография устанавливает физико-географические и биохимические обстановки (фации), морфологию суши и дна водных бассейнов, их очертания, области питания терригенным и другим материалом и климат. Учитывая важное значение палеогеографических условий образования горючих сланцев, как и многих других месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения, мы ниже приводим краткую характеристику физико-географических факторов в отдельные геологические эпохи по данным З. В. Дашкевич (табл. 8).

Кембрийский период продолжительностью 70 млн. лет в структурно-тектоническом плане земной коры характеризуется существованием платформ северной и южной групп, разделенных геосинклинальными поясами. Северные платформы — Североамериканская, Русская, Сибирская и Китайская — испытывали сложные колебательные движения, которые сопровождались вторжением моря. Платформенная суша за пределами морских водоемов имела низменно-равнинный характер, площадь суши в Северном полушарии была меньше, чем в Южном.

Кембрийские отложения, представленные преимущественно морскими песчано-глинистыми и карбонатными фациями, залегают несогласно на докембрийских породах. Больше всего они распространены на северных континентах и достигают мощности в несколько тысяч метров. В пределах Сибирской и Китайской платформ более устойчивым был морской режим — мелководных эпиконтинентальных морских бассейнов. «Платформы — это обширные территории земной поверхности, с близким к равнинному рельефом, сложенные слабо дислоцированными или совсем не дислоцированными древними отложениями» [20, с. 378].

Южные платформы имели рельеф типа возвышенных равнин, для которых в течение кембрия преимущественно сохранялся континентальный режим. Вторжение мелкого моря на окраины платформ наблюдалось лишь местами в Северной Америке, на Северном Индостане и в северной и восточной частях Австралийской платформы. В геосинклиналях получили развитие процессы прогибания и мощного осадконакопления. Атмосфера содержала повышенное количество углекислоты. Климат влажный, теплый, с проявлением засухи в ряде регионов. Температура морской воды — не ниже 20° С.

Органический мир был представлен в основном бактериями и водорослями. Земноводные споровые растения — псилофиты — произрастали на сильно обводненных побережьях. Установлено наличие в отложениях кембрия трилобитов, археоциатов, брахиопод и др. Наиболее благоприятными для образования горючих сланцев были условия северных платформ, однако и здесь они не получили широкого развития. Углепроявление кембрийского возраста, известное в Китае, рассматривается как единственный древний представитель.

Таблица 8. **Геохронологическая шкала в абсолютном летосчислении по данным на апрель 1964 г. [19]**

Эра	Длительность, млн. лет	Период	Длительность, млн. лет	Эпоха	Длительность, млн. лет
Кайнозойская	67,5	Антропогеновый (четвертичный)	1—2	Современная (голоцен) Позднечетвертичная III Среднечетвертичная II Древнечетвертичная I (Плейстоцен)	
		Неогеновый	24,5—25,5	Плиоцен Миоцен	10,5—11,5 14
		Палеогеновый	41	Олигоцен Эоцен Палеоцен	11 23 7
Мезозойская	173	Меловой	70	Позднемеловая Раннемеловая	38 32
		Юрский	58	Позднеюрская Среднеюрская Раннеюрская	
		Триасовый	45	Позднетриасовая Среднетриасовая Раннетриасовая	
Палеозойская	330	Пермский	45	Позднепермская Раннепермская	
		Каменноугольный (карбон)	55—75	Позднекаменноугольная Среднекаменноугольная Раннекаменноугольная	
		Девонский	50—70	Позднедевонская Среднедевонская Раннедевонская	
		Силурийский	30	Позднесилурийская Раннесилурийская	

Продолжение табл. 8

Эра	Длительность, млн. лет	Период	Длительность, млн. лет	Эпоха	Длительность, млн. лет
Палеозойская	330	Ордовикский	60	Позднеордовикская Среднеордовикская Раннеордовикская	
		Кембрийский	70	Позднекембрийская Среднекембрийская Раннекембрийская	
Протерозойская	Докембрий свыше 3000	Важнейшие рубежи в докембрии по абсолютному возрасту 570±50, 1000—1200, 1550—1600, 1900—2000 и 2500—2700 млн. лет			
Архейская					

На юго-востоке Китая пачка черных углисто-кремнистых сланцев имеет мощность 25 м.

К перспективным (возможного открытия новых сланценосных площадей) относятся районы северо-восточной, сибирской, части СССР, а также центральная и южная часть Африки.

Ордовикский и силурийский периоды общей продолжительностью около 90 млн. лет характеризуются преимущественным распространением морских геосинклинальных и платформенных отложений. Обломочные фации представлены песчаниками, сланцами, конгломератами и галечниками, карбонатные фации — органогенными известняками, граптолитовая фация — граптолитовыми сланцами, кремнистыми сланцами и сланцами с трилобитами. Геосинклинальные фации бедны органическими остатками, лагунные представлены песчано-глинистыми соленосными осадками, известково-доломитовыми и мергельными отложениями. Для раннего ордовика характерно проявление диктионемовой фации.

В ордовике и силуре была интенсивно проявлена тектоническая жизнь — складкообразование, разломы, надвиги и т. д. Докембрийский фундамент платформ был подвергнут расколу. Кроме того, продолжались колебательные движения платформенных глыб. Интенсивное проявление каледонского орогенеза привело к освобождению платформ от морских мелководных бассейнов. Наибольшие размеры морские эпиконтинентальные моря имели на Сибирской и Китайской платформах, тогда как южные платформы сохраняли континентальный характер и занимали большие площади.

Для ордовика и силура характерно чередование теплого и холодного климата. Сохраняли господство бактерии и водоросли; получила развитие прибрежно-морская псилофитовая флора. Органическая жизнь была сосредоточена главным образом в морских водоемах. Аккумуляция ОВ происходила в прибрежных ландшафтах.

В ордовике проявление сланценосных формаций установлено только в пределах Прибалтийского бассейна. В основании мощного известняково-доломитового комплекса ордовика залегает пакерортская толща (O_1 pk), содержащая диктионемовые сланцы с ОВ 15—20%.

В среднем ордовике залегает кукерский (кукрузеский) горизонт (O_2 pk), который сложен глинистыми известняками, мергелистым доломитом, прослоями горючего сланца с ОВ 30—40%.

Кероген кукерсита и диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна почти не содержит гумусового вещества, что свидетельствует о его сапропелевом происхождении. Из органического мира господствовала низшая флора — бактерии и водоросли. Вмещающие карбонатные породы, вероятно, органогенного образования.

Девонский период, продолжавшийся приблизительно 50—70 млн. лет, характеризуется образованием красноцветных континентальных и наземно-вулканогенных отложений, а также развитием морских обломочных и подводно-вулканических фаций. Красноцветные обломочные фации континентального типа представлены красноцветными конгломератами, гравелитами, песчаниками и глинами и подчиненно мергелями, доломитами, гипсами и каменными солями. Преимущественно со среднего девона начали развиваться морские обломочные и карбонатные фации (геосинклинальные и платформенные). До 70% площади современных материков представляли сушу. Морские трансгрессии на платформе развиты слабо.

Каледонские геосинклинали первой половины девона вызвали поднятия и горообразование, а со среднего девона усилились процессы прогибания платформ и в пределах геосинклиналей. В связи с этим на северных платформах стали развиваться эпиконтинентальные морские бассейны. В девоне на различных широтах климат изменялся от холодного, теплого гумидного (бокситы, железные и марганцевые руды, угольные месторождения) до аридного. В раннем девоне земная атмосфера содержала значительное количество углекислого газа. На юге проявлялось оледенение. Аридные зоны и зоны холодного климата в девоне были, по-видимому, лишены растительного покрова.

Органический мир характеризуется расширением ареала наземной флоры и фауны. Водная форма была представлена бактериями и водорослями, в наземной флоре в раннем девоне господствовали псилофиты. В среднем девоне стали развиваться споровые растения, а в позднем — разноспорые папоротники и голосеменные.

Со среднего девона в связи с усилением процессов прогибания земной коры на платформах, особенно северных, получили развитие

эпиконтинентальные морские бассейны. На Сибирской и Русской платформах происходило образование горючих сланцев. На территории Башкирской АССР известны горючие сланцы франского яруса среднего девона. На северо-востоке европейской части СССР горючие сланцы приурочены к доманиковым отложениям, распространенным на обширной площади. В Белоруссии в бассейне Припятского прогиба образовались горючие сланцы данково-лебедянского горизонта фаменского яруса верхнего девона. В Кузнецком бассейне и Минусинской котловине горючие сланцы приурочены к основанию разреза среднедевонских отложений.

Каменноугольный период продолжительностью 55—75 млн. лет характеризуется широко развитыми морскими — платформенными и геосинклинальными — карбонатными, обломочно-карбонатными и угленосными фациями.

В течение карбона происходили интенсивные орогенные движения под влиянием герцинского геосинклинального цикла, которые захватили обширные площади и вызвали существенные изменения структур земной коры и рельефа земной поверхности — поднятия, складкообразование и прочие нарушения. Обширные теплые морские бассейны покрывали большие площади на Североамериканской и Русской и меньше на Китайской и Сибирской платформах.

Продолжительные морские трансгрессии на платформах сопровождались широким развитием угленосных фаций на обширных площадях северных и южных платформ. Для всех отделов каменноугольной системы отложений характерно образование мощных морских карбоновых толщ, что свидетельствует о господстве теплого климата. Угленакопление возрастало от начала до конца карбона. Причем наибольшее число угольных бассейнов приходится на Северное полушарие. На южных платформах углеобразование происходило менее интенсивно.

В Африке наибольшее распространение угленосности и проявление сланценосности приходится на группу государств южной зоны. На территории Южно-Африканской Республики угле- и сланценосные отложения приурочены к породам системы Карру.

В течение карбона происходило увеличение количества форм и размеров проявления флоры, что при благоприятных палеогеографических условиях способствовало развитию во многих районах земного шара угленосных фаций в крупных масштабах. Масштабы проявления угленакопления в карбоне огромны. При кажущихся благоприятных палеогеографических условиях сланценакопление в карбоне имеет ограниченное распространение. К тому же проявление сланценосных формаций по времени и пространству почти всюду совмещалось или совпадало с угленосными фациями. За редким исключением, горючие сланцы образуют самостоятельные месторождения.

В Европе наибольшее по своим масштабам промышленное угленакопление относится к карбону. Например, в Англии, в месторождениях Лотиана, Флинтшир, Стаффордшир и др., горючие сланцы

залегают в отложениях карбона совместно с пластами угля. В известняковой группе серии Берничиэн позднего карбона бассейна Нортумберленд и Дургам наблюдается чередование пачек песчаника, сланцев и угля. В Испании, в южном угленосном районе Сьерра-Морена, угленосно-сланценосная толща позднего карбона содержит пласты сланца и угля (месторождения Пуэртольяно). В Верхнесилезском каменноугольном бассейне Польши в отложениях верхнего карбона горючие сланцы в виде пластов и линз залегают в кровле угольных пластов и реже в почве.

Горючие сланцы карбона совместно с отложениями угленосной фации встречаются во Франции, Австралии, Африке, СССР, США и других странах мира.

Горючие сланцы, образованные в каменноугольный период, обогащены гумусовым веществом.

Пермский период продолжительностью 45 млн. лет характеризуется от нижнего отдела к верхнему постепенным сокращением удельного веса морских фаций, повышением лагунных и континентальных фаций. Возникшие герцинские структуры в земной коре вызвали сокращение эпиконтинентальных морских бассейнов. В поздней перми море занимало около 5% площади платформ, а в конце перми вообще покинуло платформы. Осушенные платформы представляли собой равнины. В конце перми все континенты были приподняты, низменности имели слабое развитие. Регрессия моря охватила и геосинклинали.

Герцинский этап развития повлек за собой создание новых структур земной коры, увеличение размеров жестких структур за счет геосинклиналей. Все это привело к многократному изменению климата Земли. Характерным является широкое развитие материковых оледенений на южных континентах. Четко выражена зональная биологическая дифференциация. Происходило активное заселение суши растениями, главным образом за счет поступления свободного кислорода. Почвенно-растительный покров тяготел к низинам, котловинам, аллювиальным, прибрежно-морским и прибрежно-озерным равнинам постоянного обильного увлажнения. Активно происходил процесс эволюции животного и растительного мира. Значительное развитие получили угленосные и соленосные фации.

Образование горючих сланцев в отличие от интенсивного проявления угленосных фаций не получило широкого развития. На северных платформах пермские горючие сланцы встречаются очень редко (Франция, Испания). Известные сланценосные бассейны образовались в основном на площадях южных платформ (Австралия, о. Тасмания, Бразилия, Уругвай). В СССР известен Кендерлыкский угольно-сланцевый бассейн, приуроченный к Зайсанской впадине герцинского орогенеза. Для всех указанных сланценосных районов характерным является то, что образование их происходило в тектонических впадинах в паралических условиях в позднекаменноугольно-пермский период. Горючие сланцы залегают над угольными толщами или подстилают их или отмечается чередование слоев угля и сланца.

Триасовый период продолжительностью 45 млн. лет характеризуется господством континентальных платформенных (пестроцветные песчаники, красные глины, конгломераты), а также лагунных (доломиты, мергели, гипсы, каменная соль) фаций. Для триаса характерна ярко выраженная геократическая фаза в жизни континента. Проявление герцинской складчатости сопровождалось опусканием и поднятием обширных территорий. Господствовали аккумулятивные равнины — озерно-аллювиальные, прибрежно-морские, эоловые. Климат в триасе изменялся многократно, но в основном господствовал теплый, а во многих крупных регионах даже проявлялась засушливость. На значительной площади Евразии был экстрааридный климат.

Процессы угленакопления в триасе были развиты слабее, чем в позднем палеозое. Аридный климат способствовал образованию доломитов, доломитизированных известняков, гипсов, ангидритов, каменных солей и исчезновению растительного покрова суши. В связи с обмелением морей и регрессиями, охватившими континенты, сложились неблагоприятные условия для развития органического мира, а следовательно, и горючих сланцев. Известные месторождения горючих сланцев в ФРГ (Карвендел), Испании (Рубесалбес, Рубиело), Австрии (Зеефельд) — весьма ограниченных размеров, низкого качества, содержат гумусовый материал и имеют повышенный процент пирита. Образование их происходило в застойных водоемах небольших размеров. В целом условия триаса были неблагоприятны для сланцеобразования.

Юрский период продолжительностью 58 млн. лет характерен преимущественным развитием морских и континентальных, меньше лагунных фаций, интенсивным и многообразным проявлением тектонической деятельности. В это время неоднократно происходили поднятия с процессами складкообразования, дизъюнктивные дислокации (горсто-грабенового характера), внедрение интрузий и проявление вулканизма. Обширные площади платформ испытывали медленные колебательные движения и надолго покрывались открытыми эпиконтинентальными морскими водоемами.

Период проявления нижнеюрских фаций характеризуется господством гумидного климата (умеренного и теплого), развитием соленосных, угленосных фаций и образованием железных руд осадочного происхождения. В эпоху поздней юры сократились площади угленакопления, в то же время увеличилось число карбонатных фаций с гипсами, доломитами, соленосных осадков за счет усиления аридных фаций. Температура воды значительно колебалась.

Органический мир юрского периода характеризуется господством голосеменных (хвойных, цикадовых, беннеттитовых, гинкговых) при участии представителей папоротниковых и хвощовых. В морях господствовала водорослевая флора. Типичным для этого периода являются наличие зональных и провинциальных климатических различий и распределение моря и суши.

Несмотря на благоприятные палеогеографические условия в юрский период, образование горючих сланцев происходило на весьма

ограниченных площадях. Отдельные месторождения горючих сланцев обнаружены в Австралии, Латинской Америке, Африке. Концентрация основной массы ОВ горючих сланцев происходила на обширной территории восточной и северо-восточной частей Русской (Восточно-Европейской) платформы, где выявлены такие крупные сланценосные бассейны, как Волжский и Тимано-Печорский. Широкое проявление сланценосности в позднеюрский период происходило и в Западной Европе, где довольно широкой полосой, от Италии до Шотландии, залегают многочисленные месторождения горючих сланцев. В СССР с верхнеюрскими отложениями связано образование многочисленных месторождений как в европейской части, так и на территории Иркутской области и Забайкалья.

Меловой период продолжительностью 70 млн. лет характеризуется развитием морских (платформенных и геосинклинальных) фаций. Морские фации представлены мелководными песчано-глинистыми осадками и карбонатами, а континентальные — мелом, конгломератами и песчано-глинистыми осадками, угле- и сланценосными породами.

В геосинклинальных областях процессы прогибания и поднятия сопровождались складчатостью и магматизмом. Рельеф меловых континентов расчлененный. Климат был теплым, но в пределах отдельных зон изменялся в сторону похолодания и потепления до аридного (Северное полушарие), и в зависимости от этого шло дальнейшее развитие флоры и фауны.

Кроме широкого проявления угленосных фаций в некоторых регионах развиты сланценосные фации мела, особенно в районах северных платформ. Месторождения горючих сланцев, залегающих в отложениях мела, известны в Забайкалье (СССР), Монголии, Сирии, Иордании, Ливии, Марокко, Бразилии, Аргентине, США, Италии, Канаде, Испании и др.

Палеогеновый период продолжительностью 41 млн. лет характеризуется развитием морских, лагунных и континентальных фаций. Морские эпиконтинентальные фации, образованные в мелководных морях, представлены песчано-глинистыми и карбонатными отложениями. Значительно меньше развиты геосинклинальные фации. Лагунные фации представлены соленосными песчано-глинистыми отложениями с залежами нефти. Континентальные фации разнообразны по составу и генезису — озерно-болотные, аллювиальные, элювиальные и эоловые отложения.

Более умеренные тектонические проявления местами сменялись активным складкообразованием, поднятиями и опусканием суши, особенно в пределах Тихоокеанского геосинклинального пояса. В палеогеновый период происходило выравнивание рельефа континентов. В палеогене стали развиваться угле-, сланце-, соленосные фации, образовались бокситы, каолины, осадочные руды железа и марганца. Потепление климата сопровождалось развитием высших представителей флоры и фауны.

В основном в палеогене господствовал теплый климат, тем не менее выделяются ландшафтно-климатические зоны:

— Северная Евразия и северная часть Северной Америки с областью Северного Полярного бассейна входили в обширный пояс умеренного влажного климата;

— в Средней Европе и средней полосе европейской части СССР климат был от теплого и умеренного до субтропического и тропического;

— Западная, Южная Европа и Юго-Восточная Европа, Кавказ, юг Русской равнины, Южный Урал, значительная часть Центрального Казахстана имели очень теплый, влажный климат субтропического типа;

— в Юго-Западной Европе, Передней и Средней Азии, Южном Казахстане, Центральной Азии, внутренних районах Индостана и Индокитая господствовал аридный климат, а в Южной Азии (Индия, Индокитай, Южный Китай) — палеотропический.

В палеогеновый и затем в неогеновый периоды на всех континентах в большей или меньшей степени происходило образование горючих сланцев. Во многих районах земного шара были образованы крупные по площади и запасам сланценосные бассейны — карпатские менилитовые сланцы СССР, Грин-Ривер США, Польша, Румыния, провинции Фушунь — Гуандун — Шаньси КНР, Новая Зеландия и т. д. Из всех геологических периодов палеогеновый был самым интенсивным по накоплению ОВ горючих сланцев в осадочных отложениях не только по площади распространения, но и по его концентрации в отдельных районах континентов. Следовательно, накопление керогена происходило в условиях теплого климата. Запасы сланцевой смолы в менилитовых сланцах составляют 15—20 млрд. т, а в гринриверских — 1 200 000 млн. т.

Неогеновый период продолжительностью около 24,5 млн. лет характеризуется господством континентальных фаций (элювиально-делювиальных, озерных, аллювиальных, пролювиальных, эоловых и пр.). Морские фации представлены эпиконтинентальными (песчано-глинистые и известняки) и геосинклинальными (терригенные отложения) фациями, лагунные в виде песчано-глинистых с каменной солью и гипсом (типично лагунные) и опресненных лагун с обильными растительными остатками.

В этот период была активная тектоническая жизнь: происходили поднятия, складкообразование, глыбовые дифференцированные движения земной коры с образованием в разных областях горного рельефа. Все это сопровождалось проявлением интрузий и эффузий. Процессы поднятия материковой суши и углубления океанических впадин активизировали эрозионное расчленение рельефа.

Климатический режим эволюционизировал: похолодание в высоких широтах с появлением ледовитых высокоширотных морей, возрастание аридности внутриконтинентальных районов. Вследствие этого в зависимости от климатических зон континентов произошли

значительные изменения в органическом мире. Морская флора и фауна почти не претерпели изменений.

На более раннем этапе развития отложений неогена продолжалось образование горючих сланцев, но затем, в связи с изменением климатического режима, интенсивность постепенно снижалась, вследствие чего сократились площади накопления ОВ.

Антропогеновый (четвертичный) период продолжительностью 1—2 млн. лет характеризуется образованием рыхлых осадков мощностью от десятков до нескольких тысяч метров. Морские фации по сравнению с фациями неогена имеют несколько большее развитие за счет мелководных эпиконтинентальных морей, тогда как площадь геосинклинальных фаций сократилась. Континентальные фации представлены галечниками, песками, глинами, суглинками.

Площадь, занимаемая морями, по сравнению с неогеновой увеличилась. Континенты испытывали поднятия, океаническое дно — опускание. В первую половину четвертичного периода активно проявлялась тектоническая жизнь Земли, сопровождаемая магматической деятельностью. Изменение климата было повсеместным с общей тенденцией к похолоданию. Изменения в Северном полушарии выражены более резко, чем в Южном. Оледенение развито преимущественно в Северном полушарии.

В отдельных районах (Польша) с межледниковыми отложениями связано образование горючих сланцев. В современных пустынных условиях в Южной Австралии, в районе лагуны Коронг, и у берегов оз. Балхаш Казахской ССР происходило образование керогена «торфяной» стадии. Изучение химической структуры коронгита и балхашита представляет интерес в научном отношении. Не исключена возможность их промышленного использования.

Образование горючих сланцев происходило во все геологические эпохи. Палеогеографические условия всегда оказывали влияние на образование, концентрацию и распределение ОВ в различных районах земного шара (табл. 9). В одни геологические периоды происходило довольно интенсивное сланцеобразование, в другие — менее интенсивное или весьма незначительное. Максимумы сланценакопления приходятся на юрский и палеоген-неогеновый периоды, минимум — на триас.

О РОЛИ БАКТЕРИЙ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ОВ

Химический состав керогена горючих сланцев зависит как от химического состава исходного ОВ, так и от степени его диагенеза в аэробных и, особенно, анаэробных условиях. В преобразовании сапропелевого вещества, в том числе водорослей, активная роль принадлежит бактериям. Для сине-зеленых, зеленых и бурых водорослей характерно высокое содержание углеводов (до 70—75%) и белков (до 35%) (табл. 10).

Исходное ОВ горючих сланцев в шельфовой части морей, лагунах, озерах и других водоемах под влиянием многочисленных факторов в различные фазы диагенеза подвергалось последовательной многоступенчатой переработке с перестройкой структуры. Преобразование его происходило в аэробных и анаэробных условиях. В верхней зоне водного бассейна активно развивались аэробные бакте-

Таблица 9. **Палеогеографические условия образования горючих сланцев**

Показатели	Диагностические признаки		
	геосинклинальный	переходный	платформенный
Структурные формы	Синклиналь, тектонические впадины, крупные прогибы, котловины	Литоральные зоны, лагуны, лиманы, озера, периодически затопляемые	Синеклиза, впадины морских трансгрессий, впадины на соляных куполах, склоны сводов, складок, прогибы, области погружения, лагуны, озера, речные долины (эстуарии)
Фации	Морская, лагунная микрофации	Морская, континентальная, лагунная мезофации	Морская, континентальная, лагунная макрофации
Ритмичность	Частая смена ритмов и литологических фаций	От микро- до макроритмов, неустойчивый режим накопления сапропеля и керогена, а также проявления сланценосности литофаций	Мелкие колебательные движения, режим накопления более устойчивый, макроритмы
Площадь распространения	До 100 тыс. км^2 и более	Менее значительная, чем для геосинклинального типа сланцев	От десятков до сотен тысяч квадратных километров. Сланцы озерного, речного и лагунного образования имеют меньшую площадь распространения
Мощность сланценосных отложений	Общая мощность сланценосных отложений значительная (до 1 км). Имеется несколько горизонтов с повышенной концентрацией керогена и пластов или слоев сланца. Количество пластов и слоев сланца 30—50 и более, из них промышленных значительно меньше. Мощность их невыдержанна	Меньшие мощность и количество пластов сланцев. От изменчивой мощности сланценосных толщ до выдержанных стабильного состава	Мощность сланценосных толщ невелика (десятки метров), только в озерных и глубоких впадинах достигает нескольких сотен метров. Количество пластов сланцев небольшое (до 10—15), мелких слоев и прослоев больше. Пласты сланца чаще выдержаны по площади и по мощности. Пласты сланца разобщены между пластовыми прослоями так называемых пустых пород

Продолжение табл. 9

Показатели	Диагностические признаки		
	геосинклинальный	переходный	платформенный
Форма залежей	Пластообразная, линзовидная (неоднородные по составу)	Различные формы	Пластообразная залежь, пластовая, линзовидная
Генетический тип	Керогеново-сапропелевый, керогеново-сапропелево-гумусовый	Большая изменчивость в составе сланценосных толщ	Сапропелево-гумусовый, гумусовый, сапропелевый
Качество сланца	Среднекачественный (выход смолы до 20%), низкокачественный (выход смолы 5—10%)	Среднекачественный, низкокачественный, смешанный сланце-угольный	Высококачественный (выход смолы 20—30%), среднекачественный, низкокачественный, смешанный сланце-угольный
Запасы сланца	От нескольких миллиардов до триллионов тонн	Миллиарды тонн	От нескольких миллиардов до десятков, реже сотен миллиардов тонн

риальные процессы, а в зоне, не содержащей свободного кислорода, — анаэробные. И в том и в другом случае активная роль принадлежала бактериям. С изменением условий сингенетического накопления ОВ и минералообразования процесс превращений ускорялся или замедлялся, но во всех случаях он, по-видимому, развивался по однотипной генетической схеме. Какая-то часть ОВ претерпевала незначительные изменения и сохраняла наследственную структуру, другая была превращена в молекулярно-дисперсное состояние или бесструктурную коллоидную массу и т. д. В процессе диагенеза под влиянием биохимических процессов происходило изменение элементарного состава первоначально образовавшегося вещества.

А. С. Вериго [22] считает, что образование черных лиманных грязей тесно связано с жизнедеятельностью бактерий. Б. Л. Исаченко [23] и другие исследователи установили нахождение разнообразных бактерий в морских осадках и обратили внимание на возможность не только изменения состава и свойств ОВ, но и синтезирования углеводородов. Микробная масса, как отмечает А. С. Фомина [1, с. 184—192], в некоторых илах достигает 6—7% от общей массы, причем микробы играют одну из основных ролей в образовании каустобиолитов.

Хотя бактерии и не являются единственным фактором видоизменения ОВ, тем не менее им в этом процессе принадлежит активная роль. По-видимому, в преобразовании его приняли участие не только аэробные и анаэробные бактерии, но и некоторые другие разновидности микроорганизмов. Интересные данные приводит А. Г. Вологдин [24] о развитии бактериальной и водорослевой жизни еще в протерозойскую эру. Массовое развитие одно- и многоклеточных сине-зеленых, реже красных и зеленых водорослей сопровождалось активной деятельностью не только авто- и гетеротрофных бактерий. Участие в бактериальном процессе принимали железобактерии, сернистые, а также денитрифицирующие и другие разновидности бактерий.

В горючих сланцах каждого месторождения в большем или меньшем количестве содержатся соединения серы. В одном случае это минеральные, в другом — органические соединения. Не исключена возможность, что образование некоторых соединений серы, особенно органической, связано с деятельностью сернистых бактерий. Отмечая способность серы образовывать за счет различной валентности

многочисленные соединения (S_8, S_6, S_4, S_2), А. Г. Вологдин приходит к заключению, что повышенная концентрация такого устойчивого изотопа, как ^{34}S, происходит при неорганических процессах, а обогащение изотопом ^{32}S — при биологических. Он считает, что отношение $^{32}S/^{34}S$ больше 22,3 указывает на биогенное происхождение материала, а меньше 22,3 — на минеральное.

В горючих сланцах, как правило, в больших или меньших количествах содержатся железосодержащие минералы — пирит и марказит. В первоначальном виде в биосфере железо, вероятно, находилось в растворенном состоянии в виде закисного соединения. В последующем совместно с накоплением ОВ закисное железо переводилось железобактериями в гидроокиси и окиси. В этом случае условия

Таблица 10. **Химический состав водорослей (по Г. К. Барашкову [21])**

Тип водоросли	Вещество	Содержание, % от сухой массы	Характеристика
Бурые *Phacophyta*	Углеводы	До 70	Многоклеточные крупные водоросли прибрежной зоны; полиозы трудно гидролизуются — имеют характер пектина; уроновые кислоты; ненасыщенные кислоты
	Белки	5—15	
	Липиды	1—3	
	Фукостерол	0,1	
	Зола	20—30	
Красные *Rhodophyta*	Углеводы	До 70	Многоклеточные крупные водоросли; агар — до 60% (эфир—H_2SO_4); 70% азота находится в виде растворимых соединений; жирные кислоты непредельные; фолиевая кислота
	Липиды	0,5—3	
	Холестерин	0,1	
	Зола	20	
Зеленые *Chlorophyta*	Углеводы	30—40	Одно- и многоклеточные, целлюлоза; пектин, нуклеиновые кислоты; большое содержание непредельных кислот
	Белки	40—50	
	Липиды	10—20	
	Зола	10	
Сине-зеленые (фитопланктон) *Gyanophyta*	Углеводы	До 75	В клетках нет видимой дифференциации ядра и хроматофоры; полиозы плохо гидролизуются; уроновые кислоты; нуклепротеиды; фиксируют азот воздуха; 60% непредельных кислот, выделяют ядовитые вещества
	Белки	До 35	
	Липиды	2—12	
	Зола	10—20	
Диатомовые (фитопланктон) *Bacillariophyta, Diatomeae*	Углеводы	10—20	Одноклеточные водоросли; оболочка — пектин различной степени окремнелости; РНК→ →ДНК; преобладают непредельные кислоты; при хранении образуются углеводороды
	Белки	20—30	
	Липиды	5—20	
	Зола	20—60	

жизнедеятельности железобактерий аналогичны условиям биологического формирования таких известных железорудных месторождений, как Кирунавара (Швеция), оз. Верхнее (США), Кривой Рог (СССР) и т. д. В докембрийских рудах Кирунавара содержится до 5% ОВ. В криворожских рудах железа Н. Г. Холодный [25] обнаружил бактериальные структуры.

В Каратауском месторождении фосфоритов СССР фосфоритовые соли сменяются марганцево-железистой породой с прослоями сине-зеленых водорослей бактериального происхождения. Фосфорит, как отмечает А. Г. Вологдин, сплошь состоит из клеток «фосфоритных» бактерий, к которым примешиваются тельца железобактерий.

Концентрированное накопление ОВ в водных бассейнах и последующее его превращение сопровождалось приносом водами и осаждением минеральных компонентов. Воды морей, богатые бикарбонатом кальция и магния, могли способствовать осаждению их химическим путем. Выпадение карбоната кальция из морской воды в основной массе происходит и при участии бактерий с превращением бикарбоната кальция в кальцийорганические соединения, близкие по составу к кальциту. Б. Л. Исаченко, изучая условия образования известкового ила в оз. Севан Армении, пришел к заключению, что некоторые виды бактерий способны выделять углекислый кальций сначала в виде кальцийорганических соединений, потом в виде бесформенных скоплений карбоната кальция, а затем в кристаллической форме кальцита или арагонита. Внутри сферолитов он обнаружил клетки бактерий, а в известняках ордовика — палочковидные породообразующие бактерии.

Некоторые исследователи различают среди бактерий пять основных разновидностей: разлагающие клетчатку, разлагающие жиры и пектиновые вещества, связывающие азот, разлагающие белки, денитрифицирующие азот. Таким образом, каждая из этих бактерий выполняла свою роль в биогенезе сапропелевого материала.

Приведенные данные свидетельствуют о многообразии бактерий, способных перерабатывать как органические вещества, так и неорганические соединения, и создавать целую гамму сложных новообразований. Как видно, накопление сине-зеленых и прочих водорослей происходило в различные геологические периоды в различной литолого-фациальной обстановке. Во многих случаях им принадлежала активная роль не только в образовании горючих сланцев, но и многих руд.

Роль бактерий не ограничивается только активным воздействием на разложение ОВ. Возможно, что активная деятельность бактерий не заканчивается стадией образования керогена, но в какой-то мере продолжается и после его погребения осадками. Преобразования погребенного керогена могут происходить и в современных условиях, косвенным признаком чего служит обнаруженная А. В. Кожевниковым [26] в прибалтийском сланце анаэробная бактерия *Clostridium pasterianum* — возбудитель маслянокислого брожения.

Процесс бактериальной переработки ОВ происходит многостадийно и последовательно по мере его продвижения от поверхности слоев воды бассейна до погребения, а возможно, и в более позднее время. Биохимический процесс происходит на ранней и особенно активно на поздней стадии диагенеза. Л. Е. Шлаттер считает, что любое ОВ поражают бактерии. Вначале ОВ подвергается окислению, а затем разложению органических остатков. Биохимические процессы способствуют образованию кислорода, а при отсутствии циркуляции происходит его накопление и размещение. «При подобных неокислительных условиях дальнейшее биохимическое изменение остающихся органических веществ происходит под действием анаэробных бактерий, в результате возникает нерастворимый кероген» [1, с. 161—166].

Х. Т. Раудсепп [27] приходит к заключению, что белковая и углеводная части планктона полностью разлагаются, а жирные кислоты подверглись циклической полимеризации, т. е. диеновому синтезу.

У. Бредли [99] в результате изучения ОВ горючих сланцев Грин-Ривер приходит к заключению, что главным организмом, служившим предшественником горючих сланцев, были сине-зеленые водоросли Cyanophyceae. Им не были обнаружены в сланцах альги *Botryococcus*.

Р. Ф. Кейн [12, с. 34—66] считает, что главным предшественником большинства керогенов горючих сланцев были водорослевые липиды в форме либо углеводородов, либо жирных кислот, частично декарбоксилированных до углеводородных

радикалов. Он отмечает, что, вероятно, и те и другие играли активную роль в каждом конкретном случае образования керогенов горючих сланцев. По этой причине отношение C/H керогена отдельных месторождений изменяется в широких пределах (7,5—10), т. е. сланцы сапропелевые, гумусово-сапропелевые и т. д. Глубокая биохимическая переработка исходного ОВ бактериями в конечном итоге привела к образованию сложного комплекса высокополимерных соединений с прямыми и замкнутыми цепями атома углерода.

Образование сланцев происходило чаще всего в неглубоких акваториях при теплом климате, что способствовало обильному развитию плавающих и донных водорослей и накоплению материала отмерших водорослей. Плавающие отмершие водоросли подвергались окислению растворенным в воде кислородом, поглощенным из атмосферы и за счет генерации его живыми водными растениями. По мере окисления в аэробных условиях происходило образование гелеобразного ОВ с функциональными группами, способного адсорбировать минеральный детрит. Отдельные ингредиенты организма (белки, углеводы, липиды) в разной степени вовлекались в окислительные и бактериальные процессы. Менее устойчивые углеводы и белки претерпевали более глубокое превращение, чем липиды.

Вероятно, плотность образовавшегося органического геля, наполненного пузырьками газов, была меньше единицы, и он не мог самостоятельно осаждаться до тех пор, пока его не адсорбировали тонкодисперсные глинистые вещества, приносимые с суши ветром, реками и прибрежными потоками. Процесс дальнейшего биохимического преобразования ОВ наиболее активно проходил в придонной зоне в анаэробных условиях.

Таким образом, седиментация отмершего водорослевого материала является сложным процессом, в который входят внутриклеточные энзиматические процессы с выделением газов, окислительные поверхностные процессы с выделением функциональных полярных групп и адсорбция образовавшимся гелем приносимых с суши глинистых минералов.

Наличие органических остатков установлено в отложениях докембрия, возраст которых — не менее 3 млрд. лет. Докембрийские отложения бедны ископаемыми остатками организмов, но тем не менее важно, что в далекие времена, когда еще только начала формироваться земная кора, уже существовали органические вещества. Это подтвердилось при палеобиохимическом изучении древних пород различных районов СССР. М. П. Колесниковым и И. А. Егоровым [28] обнаружено присутствие в докембрийских породах тетрапирольного пигмента, подобного фикобилину-655 из современных сине-зеленых водорослей. В докембрийских породах Кольского полуострова и Северной Карелии содержание органического углерода колеблется от долей до десятков процентов [29]. В битумоидах ОВ вендско-рифейских отложений юга Якутии преобладают метано-нафтеновые структуры. Наличие в породах докембрия и раннего палеозоя концентраций ОВ и урана С. Г. Неручев [30] объясняет интенсивностью накопления планктоногенного ОВ.

Все это свидетельствует о зарождении ОВ на более ранней стадии формирования Земли и о значительном распространении биогенного ОВ в осадках. Уже на этой стадии водоросли и их преобразование играли активную роль. З. В. Дашкевич [19] отмечает, что в архее, 2700—2900 млн. лет тому назад, в условиях теплого и влажного климата за счет бактерий и сине-зеленых водорослей стали формироваться органические породы. В протерозойскую эру, длившуюся более 1 млрд. лет, атмосфера и гидросфера постепенно обогащались кислородом, что оказало влияние на эволюцию самой жизни. Все это способствовало повышению активности бактерий в процессе породообразования, разложения и окисления ОВ. На протяжении всех геологических периодов формирования земной коры в образовании керогенсодержащих пород активная роль принадлежала бактериям и сине-зеленым водорослям. Л. Е. Шлаттер считает, что необходимым условием для образования керогена горючего сланца является сохранение чисто липидного ОВ. После гибели планктона его пожирают анаэробные бактерии, в результате чего начинается биохимический процесс — окисление, разложение органических остатков в природной зоне с превращением в нерастворимый кероген.

ГЛУБИНА НАКОПЛЕНИЯ ОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Накопление ОВ в иловой зоне водоемов связано с развитием морских, лагунных и континентальных фаций в отдельных областях или районах или небольших участках земной коры. Накопление, распределение и концентрация его в осадке зависят от многих факторов, в том числе от ранее образовавшихся тектонических структур горных пород, слагающих район, тектоно-магматических проявлений в процессе сланцеобразования, морфологии суши и дна водного бассейна, физико-географических условий и др.

В лагунах, дельтах и озерах континентальных фаций по аналогии с современными условиями аккумулирование исходного материала сланца и сапропелей, по-видимому, происходило в мелководных условиях на сравнительно небольших глубинах. Например, горючие сланцы Польской низменности залегают в четвертичных отложениях. Образование их приурочено к долинам и озерам, которые возникли при наступлении ледника. Залежи сланцев небольших размеров и залегают неглубоко. Межледниковые отложения представлены горючими сланцами, мергелями, илами, гиттией и торфами.

В штате Южная Австралия и на оз. Алаколь Казахстана в современных условиях происходит образование коронгита и балхашита. Источником их является водоросль *Botryococcus braunii*. Коронгит скапливается в виде пластообразных залежей, расположенных вокруг границ лагуны Коронг.

По А. Е. Ферсману [31], жизнедеятельность органического мира гидросферы происходит на сравнительно небольших глубинах. По мере уменьшения количества свободного кислорода биохимическая деятельность ослабевает, и на глубинах 500—1000 м количество свободного кислорода практически равно нулю.

Изучая остатки организмов, встречающихся в отложениях сланцев на глубинах не свыше 200 м, А. Ф. Добрянский [3, с. 137] приходит к заключению, что аккумулирование исходного материала сланцев и сапропелей происходило на глубине едва ли более 300 м, часто гораздо меньше. С. С. Бауков [32, с. 17—38] на основании исследования вещественного состава прибалтийских сланцев и вмещающих пород, а также геотектонических условий сланценакопления считает, что образование кукерситов происходило в открытом море, в условиях нормального газового режима. Сланценосная формация приурочена к понижению морского дна — к Северо-Эстонскому прогибу.

Н. П. Петров и М. Г. Горбачев [33] отмечают, что в черноморской воде начиная с 200-метровой глубины не обнаружено признаков живого, кроме тионовых бактерий. Ими установлено, что «живое» встречается в верхнем кислородном слое (пласте) Черного моря мощностью 125—175 м. По направлению к центральной части акватории мощность такого пласта резко уменьшается. С глубиной содержание H_2S в воде быстро нарастает и на глубине 250—300 м достигает 8—11 мг/л. Заслуживает внимания такой факт, как приуро-

ченность наиболее высоких концентраций сероводорода до 50—100 мг/л не к максимальным глубинам, а к склонам впадин на глубинах 500 и 1750 м.

Горючие сланцы Тасмании залегают в пермских отложениях, которые выполняют узкую впадину на севере острова. Предполагается, что сланцы отлагались вдоль береговой линии моря, возможно в мелких заливах или лиманах. В преоленнитах содержатся многочисленные включения спор смоляных тел, остатков различных высших растительных тканей. По этим признакам его называют гумусовым керогеном. Образование их, по-видимому, также происходило на небольших глубинах. В Мидлэндской долине Шотландии образование горючих сланцев также происходило в мелководных условиях дельтовых впадин и серии озер.

В синклинальных складках, тектонических впадинах и котловинах образование многих месторождений горючих сланцев происходило на сравнительно больших глубинах. Этому способствовали во время сланценакопления колебательные движения земной коры, особенно с опусканием дна моря.

В современных условиях водоросли накапливаются в прибрежной части многих морей и океанов. Так, например, в северо-западной части Черного моря между Севастополем, Одессой и о. Фидониси, по данным академика Д. В. Наливкина, на глубинах 32—64 м скапливается живая красная водоросль *Phillophoro rubens* [34]. Наиболее благоприятной для жизни планктона Л. Е. Шлаттер считает зону фотосинтеза, проникающую на глубину не более 50 м [1, с. 161—166].

Образование сланценосной толщи раннеэоценового возраста Бухаро-Каршинского района Узбекистана происходило в иловой впадине. Содержание ОВ в сузакских слоях глинистого состава — от нескольких процентов до 40%. Р. Н. Нишанходжаев [35] пишет, что осадки данной толщи накапливались в равнинообразном тектоническом режиме в условиях аридного климата. Прогибание региона в начале раннего эоцена сопровождалось трансгрессией Афгано-Таджикского моря. Накопление рудоносных туранских горючих сланцев связано с последней центральноотстойной субформацией нижнего эоцена в удаленных участках морского бассейна на глубине 300 м и более.

Достоверных данных о глубинах накопления ОВ в водоемах не имеется. Этому вопросу исследователи уделяют очень мало внимания, хотя глубина образования горючих сланцев имеет важное значение при перспективной оценке отдельных месторождений и бассейнов в целом.

ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА КЕРОГЕНА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Понятие «кероген» появилось в литературе в начале XX в., когда Крум Броун для обозначения смолообразующего вещества горючих сланцев предложил название «кероген». Данное определение ОВ

прочно закрепилось и признано во всех странах мира, хотя оно не раскрывает ни химический состав ОВ, ни условия образования сланцев.

Познание химической природы керогена горючих сланцев привлекает внимание ученых с давних времен, но до сих пор еще нет единого взгляда на его структуру и более точного и исчерпывающего определения понятия «кероген». Это прежде всего объясняется еще недостаточной изученностью горючих сланцев мира, которые по своей химической структуре отличаются от всех других разновидностей каустобиолитов. Каустобиолиты, как известно, объединяют два основных типа: угольного ряда и нефтяного ряда. Горючие сланцы по природе образования относятся к нефтяному ряду. А. Ф. Добрянский еще в 1947 г. доказал, что в диаграмме (рис. 2) генетической классификации каустобиолитов горючие сланцы располагаются в области высоких содержаний углерода.

Исследованию химической природы ОВ горючих сланцев посвящены научные работы многих ученых геологов, химиков и биологов. Однако до сих пор нет единого взгляда на материнское вещество, послужившее их образованию. Одни исследователи считают материнской основой керогена планктонные организмы, другие активную роль отводят сапропелям или всему органическому миру водоема, так называемому пелогену, или кероген рассматривается как копрогенное вещество или как продукт бактериальной переработки водорослей и т. д. Различные взгляды на генезис горючих сланцев свидетельствуют о сложности химического состава самого ОВ и об отсутствии единых методов его исследования.

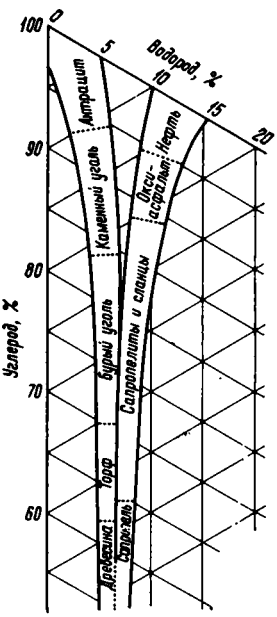


Рис. 2. Генетическая классификация горючих сланцев. По А. Ф. Добрянскому.

ОВ горючих сланцев в основной массе состоит из микрокомпонентов группы альгинита. В преобладающем большинстве в его составе в тех или иных количествах присутствуют микрокомпоненты группы витринита, фюзинита, склероции. В процессе накопления первичного ОВ в иловой зоне на отдельных отрезках времени видоизменялись палеогеографические условия, изменялись соотношение составных биологических компонентов и интенсивность их преобразования. На определенных участках водоемов накопление количества ОВ и сопутствующих минеральных компонентов может видоизменяться в процентном соотношении. Примером могут служить прибалтийские сланцы-кукерситы, где С. С. Бауковым установлены значительные колебания минеральных компонентов на площади бассейна и особенно по отдельным слоям (табл. 11).

Состав первичного органического материала, несомненно, в конечном итоге оказывал существенное влияние на химический состав образованного керогена. В одних палеогеографических условиях, например в Прибалтийском бассейне, элементарный состав ОВ остается без изменений (табл. 12), в других при более смешанном составе материнских органических компонентов на отдельных участках может несколько отличаться (табл. 13).

Таблица 11. **Компонентный состав горючих сланцев и переслаивающихся с ними известняков кукрузеского горизонта Западного (1) и Центрального (2) районов Эстонского месторождения и Ленинградского месторождения (3), по В. А. Котлукову [4, с. 73]**

Индекс сланцевого слоя	Район бассейна	Количество анализов	Содержание компонентов, %		
			органическое вещество (среднее)	карбонатный материал (среднее)	обломочный материал (среднее)
A_1	1	36	23,2—48,4 (35,4)	28,4—62,1 (44,4)	14,5—29,8 (20,2)
	2	122	26,9—51,4 (43,2)	17,0—48,0 (29,4)	21,9—38,5 (27,4)
	3	56	21,9—39,1 (33,4)	22,6—47,6 (28,7)	30,0—43,0 (37,9)
A	1	40	11,5—27,8 (18,2)	36,5—71,0 (53,5)	14,3—41,6 (28,3)
	2	102	15,7—34,3 (25,0)	19,3—63,0 (38,1)	20,6—47,8 (36,9)
	3	43	8,9—18,7 (14,9)	29,7—49,3 (43,1)	36,0—52,7 (42,0)
B	1	88	30,8—61,6 (44,7)	21,3—52,0 (37,2)	11,1—23,5 (18,1)
	2	188	31,1—68,4 (45,0)	9,5—50,0 (32,3)	16,1—31,4 (22,7)
	3	75	33,1—56,3 (46,0)	21,2—40,6 (26,5)	17,6—39,2 (27,5)
C	1	82	16,6—45,0 (24,1)	36,5—71,2 (56,5)	9,3—28,0 (19,4)
	2	153	21,0—58,7 (32,8)	14,9—61,5 (42,5)	18,0—38,0 (24,7)
	3	74	22,6—42,2 (33,9)	24,8—46,6 (34,6)	25,9—40,2 (31,5)
D	1	90	20,6—45,5 (32,2)	18,5—56,0 (34,8)	20,7—38,0 (33,0)
	2	135	21,5—40,9 (31,4)	23,8—50,6 (34,8)	26,3—39,7 (35,8)
	3	3	17,2—17,3 (17,3)	47,5—48,0 (47,5)	34,7—35,8 (35,2)
E	1	98	21,6—59,1 (40,2)	20,5—60,0 (38,7)	12,3—25,2 (21,1)
	2	170	23,1—66,1 (42,0)	13,2—66,4 (34,4)	14,6—30,5 (23,6)
	3	84	21,5—37,6 (29,4)	33,4—59,3 (45,4)	16,5—34,7 (25,2)
	1	91	20,1—41,0 (28,8)	25,9—63,5 (47,8)	16,3—33,1 (23,4)
	2	125	20,3—49,3 (30,6)	17,0—62,2 (44,7)	13,3—40,3 (24,7)
H	1 и 2	73	27,9—57,7 (40,8)	19,0—56,0 (40,2)	14,4—24,0 (19,0)
Сланец из-под горизонта Хумала	1 и 2	65	21,1—55,5 (34,4)	23,6—58,7 (43,7)	14,7—28,5 (21,6)
	2	8	16,4—30,3 (29,1)	47,2—63,5 (56,6)	19,0—22,9 (21,3)
Известковые прослои в сланцах	По бассейну	385	2,8—17,5 (8,8)	63,2—98,1 (80,2)	2,6—21,4 (12,0)
		442	0,0—9,7 (5,0)	65,6—89,6 (78,0)	8,9—29,3 (17,0)
Известняк слоев C/D и A/B		442	0,0—9,7 (5,0)	65,6—89,6 (78,0)	8,9—29,3 (17,0)

Таблица 12. **Изменение элементарного состава ОВ прибалтийских горючих сланцев по слоям промышленного пласта отдельных месторождений, % (по В. А. Котлукову [4 с. 75])**

Слои сланца	Западная (эстонская) часть бассейна, участки разведки I–2			Ленинградское месторождение			Лужско-Волосовское месторождение		
	$C^г$	$H^г$	$(O+N+S+Cl)^г$	$C^г$	$H^г$	$(O+N+S+Cl)^г$	$C^г$	$H^г$	$(O+N+S+Cl)^г$
F	74,33	9,66	16,09	—	—	—	—	—	—
E (I)	75,40	9,72	15,68	76,50	9,26	14,24	75,70	6,82	17,48
D	73,68	9,65	16,25	—	—	—	—	—	—
C (II)	74,55	9,53	15,38	73,82	9,40	16,78	71,83	7,53	20,64
B (III)	74,51	9,37	16,06	74,28	9,13	16,59	73,74	7,71	15,55
A (IV)	74,77	9,48	15,45	76,40	9,11	14,19	74,66	9,35	15,99

Таблица 13. **Элементарный состав ОВ верхнеюрских горючих сланцев месторождений Волжского бассейна (по А. Ф. Добрянскому, Г. В. Явхута, И. М. Озерову)**

Месторождение	Выход смолы на кероген, %	Элементарный состав ОВ, %					C/H
		C	H	O	S	N	
Буинское	30–35	61,3	7,3	31,8 (O+N)	4,7	—	8,4
Воронье-Волосковское	31,6	62,0	7,3	21,5	7,0	2,2	8,5
Дергуновское	27,6	70,4	8,4	13,8 (O+N)	7,4	—	8,4
Кашпирское	37,0	66,1	7,9	19,5	6,3	1,8	8,3
Лево-Свияжское	27,6	61,8	7,0	31,2 (O+N+S)	—	—	8,8
Макаровское	—	67,6	7,7	18,4	6,3	0,03	8,7
Мантуровское	30,0	58,9	8,3	25,3	5,4	2,1	7,9
Новосеменовское	33,3	58,7	7,8	24,7	7,8	1,0	7,6
Общесыртовское	25,5	74,5	8,8	4,3	11,8	0,6	8,4
Озинковское	29,3	65,5	8,3	20.6	5,6	1,4	7,7
Савельевское	34,0	62,8	7,9	19,6	9,7	0,5	7,5
Ульяновское	30,0	60,8	6,7	26,2	5,0	1,3	9,0
Чернозатонское	32,0	65,3	7,0	20,8 (O+N)	6,7	—	9,3

В сланцах многих месторождений обнаружено присутствие битумоидов и гумусовых кислот. Первые, вероятно, образовались сингенетично с ОВ сланцев, тогда как гуминовые кислоты, как продукт биохимического преобразования растительных остатков, могли быть и принесены в иловую зону, т. е. за счет континентального гумусового материала. Гумусовый материал в виде тонкого детрита или, возможно, в виде коллоидного раствора переносился и отлагался совместно с минеральными частицами. Его присутствие в сланцах,

особенно в заметных количествах, характеризует условия формирования ОВ горючих сланцев и генетические признаки.

Химическая структура битумоидов ОВ горючих сланцев, как показали исследования И. А. Шакс и А. И. Гинзбург [36; 39], в большинстве случаев неоднородна. Применяя инфракрасный спектр поглощения, эти авторы при изучении керогена Байсунского, Кашпирского, Болтышского, Припятского месторождений и менилитовых сланцев украинских Карпат выделили пять групп битумоидов А. Они установили, что для керогена преимущественно альгинитового петрографического состава характерно значительное количество кислородных и смешанных кислородно-ароматических соединений при сравнительно небольшом содержании открытых метановых цепей, а для керогена микстинитового состава — соединения типа восков с длинными парафиновыми цепями. Накопление большого количества данных по петрографическому составу керогена сланцев и химической структуре битумоидов позволит с большей достоверностью и надежностью прогнозировать химический состав сланцев и перспективы их промышленного использования.

Кероген горючих сланцев различных бассейнов, отдельных месторождений и даже пластов одной и той же сланценосной толщи в деталях различается по петрографическому и химическому составу, поскольку палеогеографические, палеохимические, биохимические и прочие условия многократно видоизменяются. В одном случае исключительным распространением пользовался сапропелевый, в другом — сапропелево-гумусовый, в третьем — гумусово-сапропелевый материал, сопровождаемый приносом минеральной массы.

Процесс геохимического преобразования разнообразных по составу растительных и животных организмов происходил длительно; организмы претерпевали многократные химические превращения в различных зонах метаморфизма. Придерживаясь взглядов В. А. Успенского [37] на химизм преобразования ОВ, в более упрощенном виде можно выделить три зоны метаморфизма:

— зона седиментогенеза — гомогенное накопление, отмирание и бактериальный синтез ОВ в поверхностном слое солоноватоводной среды морей, озер и лагун в присутствии свободного кислорода и при активном участии аэробных бактерий, повлекшем образование функциональных соединений. Частичное разложение ОВ сопровождалось приносом минеральной массы и гумусового материала;

— зона диагенеза — биохимические преобразования планктона и бентоса при отсутствии свободного кислорода, но при активном участии анаэробных бактерий с превращением ОВ в бесструктурное полиморфное вещество. Вторичные реакции синтеза, полимеризация продуктов распада, проявление гидратации, новообразования минеральных компонентов;

— зона катагенеза — уплотнение под влиянием вновь образованных осадков. Керогеновая стадия преобразования ОВ в нерастворимые формы.

Исследования химического состава ОВ горючих сланцев некоторых месторождений показали их неоднородность. По предварительным данным среди керогенов можно выделить основные группы: циклических, алифатических и парафиновых углеводородов, кислородных и сернистых соединений.

Химическая природа образованного конечного ОВ горючих сланцев — керогена — отражается и на проценте выхода смолы при термической переработке сланцев, а также и на химическом составе самих смол.

Интересные сравнительные данные о неоднородности химической структуры керогена приводит Г. Ю. Диннин [1, с. 172—181]. Окисляя кероген сланцев формации Грин-Ривер, Шотландии и торбанита Австралии в кипящем щелочном растворе перманганата калия, он установил, что они значительно отличаются друг от друга.

Кероген Грин-Ривер состоит из двух разновидностей ОВ: желтая (основная часть) бесструктурная, встречается в виде длинных тонких прослоек или прожилков, параллельных плоскости напластования, а коричневая или коричнево-черная — в виде беспорядочно зернистых включений.

По Г. Ю. Диннину, кероген Грин-Ривер имеет неароматическую структуру, жирных или водородных остатков немного или почти нет. Элементарный состав ОВ (%): С — 80,5, Н — 10,3, N — 2,4, S — 0,1, О — 5,8. Битума около 10%. 90% керогена не растворяется в органических растворителях. В результате обработки керогена в кипящем растворе перманганата калия он полностью окисляется до щавелевой кислоты, летучих кислот и двуокиси углерода. Кислоты преимущественно дикарбоновые, что, скорее, указывает на линейную, чем на высококонденсированную структуру керогена. При 350° С кероген деградирует: до алканов — 10—15, до циклоалканов — 20—25, до ароматических структур — 10—15 и до гетероцикличного материала — 45—60%. Г. Ю. Диннин считает, что кероген сланца Грин-Ривер является макромолекулярным веществом, имеющим большей частью линейно-конденсированное насыщенное цикличное строение с гетероатомами кислорода, азота и серы. Прямоцепные и ароматические структуры составляют меньшую часть общей структуры керогена [1, с. 179—181].

Кероген шотландских горючих сланцев при обработке в кипящем растворе щелочного перманганата калия показал выход почти 15% нелетучих «нещавелевых» кислот, в которых были определены бензолкарбоновые, что указывает на присутствие ароматических структур. Почти 75% австралийского торбанита — материал, устойчивый к окислению, что, как отмечает Г. Ю. Диннин, свидетельствует о присутствии значительного количества жировых или водорослевых остатков.

По данным Д. К. Виторовича [1, с. 202—209], исследовавшего ОВ миоценовых горючих сланцев Алексинацского месторождения в Югославии, кероген быстро и полностью окисляется избытком кипящего раствора щелочного перманганата. Продукты деструкции не содер-

жат карбоновых кислот бензольного ряда, что указывает на то, что кероген не имеет ароматической структуры. Д. К. Виторович считает, что кероген может иметь алифатическую или, возможно, гидроароматическую природу, состоит частично из ненасыщенных разветвленных структур. Существенная часть кислорода в керогене приходится на карбо- и гидроксильные группы и на группы сложных и простых эфиров. Элементарный состав ОВ сланцев (%): С — 75,90, Н — 9,33, N — 2,11, О+S — 13,65.

Изучению химической природы керогена прибалтийских сланцев посвящены многочисленные работы А. С. Фоминой [1, 38; 40]. Основную роль в образовании керогена она отводит органическому коллоидному веществу, не сохранившему форменных остатков организмов. Материнское коллоидное вещество кукерсита было достаточно устойчивым по отношению к бактериальному воздействию. Одни из основных его компонентов — углеводные соединения. В результате разнообразных химических процессов из углеводных соединений синтезировалось высокомолекулярное вещество, устойчивое к бактериальной жизнедеятельности и действию растворенного в воде кислорода. Ранняя литификация осадка создала консервирующие условия для захоронения ОВ. А. С. Фомина [1, с. 184—194] считает, что «основная часть углерода керогена кукерсита имеет алифатическую природу сложного полимерного строения, где значительная доля вещества, по-видимому, приходится на заполимеризованные непредельные жирные кислоты (в том числе окси- и кетокислоты), вероятно связанные в основной структуре со сложными веществами углеводной природы» [1, с. 188]. Кероген кукерсита А. С. Фомина относит к макромолекулярным веществам трехмерной структуры. Среди низкомолекулярных продуктов окисления керогена азотной кислотой основная часть углерода приходится на долю насыщенных дикарбоновых кислот. Свыше 40% кислот являются высшими гомологами адипиновой кислоты. Установлено наличие кислот (%): янтарной — 10,7, глутаровой — 11,8, адипиновой — 11,8, пимелиновой — 11,1, пробковой — 4,6, азелаиновой — 3,2, себациновой — 6,7.

В керогене диктионемового сланца, как отмечает А. С. Фомина [1], установлены многочисленные фоссили граптолитов *Dictyonema flabelliforme* и другие разновидности. Основная масса пелитового материала пропитана бурым бесструктурным ОВ. Элементарный состав ОВ (%): С — 67,6; Н — 7,6; О — 18,5; S — 3,6; N — 2,6. Высокое содержание азота в керогене некоторые исследователи объясняют животным происхождением его материнского исходного вещества. Подвергнув концентрат керогена гидролизу соляной кислотой, А. С. Фомина установила, что до 30% азота керогена переходит в растворимые формы, причем в среднем до 28% его приходится на аммиачный, 30% — на диаминокислотный и около 41% (по разности) — на моноаминокислотный. В гидролизате было идентифицировано 11 аминокислот, подавляющая часть которых — алифатические. В гидролизатах были идентифицированы глюкоза, арабиноза и глюкозамин. А. С. Фомина приходит к заключению, что азотсодержащие

компоненты керогена диктионемовых сланцев не обязательно животного происхождения (растительного, а может быть, и бактериального). Выход смолы от ОВ составляет не более 20, газа 16—17%. Теплота сгорания 4200—5800 кДж/кг.

СТАДИЙНОСТЬ СЛАНЦЕОБРАЗОВАНИЯ

Формирование горючих сланцев происходило длительно и распадалось на несколько последовательно сменяющихся микробиохимических, химических и геохимических реакций, возникавших в процессе диагенеза исходного вещества в поверхностной и придонной иловой частях водоемов. Биохимический процесс эволюционировал от простейших к сложным химическим соединениям, от жидкой фазы к твердому веществу, каким в конечном виде является кероген. Частичное видоизменение материнского ОВ в верхней зоне водоема в аэробных условиях сменялось глубоким разложением и химико-минералогическим преобразованием его в анаэробных условиях. Процесс формирования комплексов углеводородных, кислородсодержащих и прочих соединений связан с определенными стадиями сланцеобразования: водорослевой, липидной, геохимической и шунгитовой.

Водорослевая стадия сланцеобразования — самая ранняя и характеризуется развитием водорослей в верхней зоне морских, озерных, дельтовых и прочих преимущественно мелководных водоемов в аэробных условиях, когда водоросли под бактериально-биохимическим влиянием преобразуются в гелевидную массу. На интенсивность биохимического процесса на данной стадии влияли палеогеографические условия, существовавшие в зоне гипергенеза поверхностных частей земной коры. В окислительной среде окислению и биохимической переработке подвергались также и другие живые организмы. Возникшие мельчайшие гелевидные частицы ОВ на данной стадии не образовывали скоплений и агрегатов. По мере возрастания количества минеральных взвесей, особенно глинистого состава, происходило постепенное передвижение всей этой массы в зону илов. В этом случае минеральные компоненты играли роль адсорбента. Процесс биохимического изменения растительных остатков на данной стадии, по-видимому, играл сугубо подчиненную роль.

Коронгито-балхашитовая или, иначе, «торфяная» стадия образования ОВ горючих сланцев, в основном за счет водорослей, проявляется в современных условиях в Австралии и на оз. Алаколь Казахской ССР. По данным Р. Ф. Кейна [41], процесс образования коронгита и балхашита происходит в следующем порядке: 1) водорослевая поросль *Botryococcus braunii* в поверхностной зоне водоема в аэробных условиях подвергалась воздействию бактерий; 2) образованные жирные глобулы диаметром 40—70 мкм (гелевидная масса цвета меда) совместно с минеральной частью осадка погружались в придонную часть водоема.

На данной стадии образованные водорослевые плюски представляют собой жидкость зеленого цвета, которая быстро твердеет.

В свежем состоянии плюска полностью растворяется в холодных жирных растворителях.

Липидная стадия формирования ОВ горючих сланцев является продолжением первой стадии. Фактически они тесно взаимосвязаны, и различие их заключается в том, что на первой стадии начальный процесс формирования ОВ происходит в аэробных условиях и характеризуется ходом простейших реакций, а на липидной — в анаэробных условиях, при этом полимеризация сопровождается протеканием сложных химических реакций замещения и новообразований.

ОВ, поступившее в придонную иловую зону водоема в виде гелевидной массы совместно с минеральным материалом, подвергалось диагенезу. В иловой зоне в анаэробных условиях гелевидное вещество преобразовывалось бактериями в продукт липидной природы высокой химической ненасыщенности. С течением времени уменьшается ненасыщенность и увеличиваются инертность и нерастворимость [37; 41].

Геохимическая стадия характеризуется биогенно-химическим преобразованием липидного ОВ и минералообразованием в анаэробных условиях. Отложения ОВ преимущественно жирового состава аэробного образования подвергалась биосинтезу и захоронению. В этих же условиях происходило минералообразование в виде гидратных или солевых соединений железа, сульфатов, сульфидов, карбонатов, водных силикатов алюминия, карбонатов алюминия и прочих минералов. Если для образования углей необходимым условием является массовое накопление и преобразование растительного материала, то для горючих сланцев исходным веществом служил в основном биохимически преобразованный водорослево-сапропелевый материал — липиды, подвергнутые биосинтезу.

Коронгит, так же как и балхашит, по данным Р. Ф. Кейна и В. К. Королева, располагается в виде пластинообразных залежей неправильных форм вокруг лагун и озер, преимущественно в водоемах небольшой глубины. Их разновидности — от вязкого геля до твердой породы, содержат зерна песка, ветки, небольшие детритовые обломки.

Шунгитовая стадия отвечает высшей стадии метаморфизма ОВ горючих сланцев. Под воздействием тектоно-магматических проявлений ОВ горючих сланцев превращено в углеродистый минерал типа шунгита. Описание шунгита приводится по данным П. А. Борисова [42].

В раннем протерозое, почти 1 млрд. лет назад, на территории Карельской АССР в обстановке мелководных морских водоемов образовались песчано-глинистые породы, содержащие ОВ водорослевого происхождения. В результате магматической деятельности и тектонических воздействий осадочный комплекс пород был преобразован в кристаллические сланцы различного минералогического состава. ОВ водорослевого происхождения преобразовалось в чисто углеродистый минерал — шунгит. Углерод шунгитовых сланцев (изотоп ^{12}C), по данным финского геолога К. Ранкама, преобладает над

неорганическим углеродом (изотопом ^{13}C) в соотношении $^{12}C/^{13}C = 93$. Шунгит состоит из 98% углерода и 2% минеральных примесей. Цвет шунгита смоляно-черный, блеск полуметаллический, плотность 1,8—1,9. Не прозрачен и не просвечивает. Летучие вещества отсутствуют. Массовая доля чистого минерала шунгита в сланцах не превышает 0,2%.

Шунгитовые сланцы по массовой доле углерода и зольности значительно отличаются друг от друга (табл. 14):

Таблица 14. **Разновидности шунгитов [42]**

Разновидности	Элементарный состав ОВ, %				Зольность	Вода гигроскопическая	Источник
	C	H	N	O			
I	98,11	0,43	0,43	—	1,09	7,73	А. А. Иностранцев, 1878
	98,77	0,25	0,15	—	0,45	7,73	В. М. Тимофеев, 1935
	92,10	0,80	—	4,9	2,20	—	Н. П. Яхонтов, 1933
	92,0	0,81	—	4,88	—	—	М. Николаев, 1878
	84,91	Летучие	—	7,93	2,03	5,1	К. Лисенко, 1878
II	67,21	0,40	—	0,77	31,47	—	А. А. Иностранцев, 1878
	74,10	0,22	—	0,12	24,45	—	» 1879
	62,84	0,30	—	2,34	34,01	—	» 1879
	63,40	0,65	—	3,49	32,40	—	К. Лисенко, 1878
	59,68	Летучие	3,0	—	32,24	5,03	» 1878
	58,07	0,63	0,58	—	33,37	—	Н. И. Рябов, 1938
	43,81	0,52	0,55	—	48,51	—	» 1938
III	35,90	0,90	6,3	—	56,90	—	Н. П. Яхонтов, 1933
IV	20	—	—	—	80	—	П. А. Борисов, 1956
V	5—10	—	—	—	90—95	—	Там же

I — смоляно-черный самородный углеродистый минерал плотностью 1,8—1,9, высокой электропроводности. Средняя массовая доля углерода 98%. В минеральных кислотах и щелочах нерастворим. Теплота сгорания 313 000 кДж/кг;

II — черная толстослоистая метаморфическая порода плотностью 2,10—2,35. Средняя массовая доля углерода 60%, зольность 37%, остальное приходится на гигроскопическую воду, серу и примеси микроэлементов. Теплота сгорания 16 740—20 930 кДж/кг;

III — черная толстослоистая слабометаморфизованная порода плотностью 2,31—2,45. Средняя массовая доля углерода 35%, зольность 56—60%. Теплота сгорания до 16 740 кДж/кг;

IV — черная сланцевидная порода слабометаморфизованная;

V — шунгитовый сланец от серовато-черного до черного цвета. Средняя массовая доля углерода не превышает 4—5%. Шунгиты отличаются друг от друга и по составу ОВ (табл. 14).

СЛАНЦЕНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ И ФОРМА ЗАЛЕЖЕЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

ОСНОВНЫЕ СЛАНЦЕНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

Термин «формация» как региональное литолого-структурное понятие применяется в геологической литературе давно. Определение понятия «формация» как комплекса родственных фаций было принято еще в 1881 г. на Международном геологическом конгрессе. В общем виде определение формации дано Л. Б. Рухиным, который считал, что в основу выделения формаций должны быть положены литологические признаки, сохраняющиеся в разрезе и в пределах значительной площади. «Под формацией понимается генетическая совокупность фаций, выделяющаяся среди других особенностями своего состава или строения и устойчиво образующаяся на более или менее значительном участке земной поверхности при определенном тектоническом и климатическом режиме» [43, с. 100—118].

Применительно к горючим сланцам В. А. Котлуков [32, с. 6] предложил следующее определение сланценосных формаций: «Суммируя принятые в литературе общие определения понятия «формация», «угленосная формация» и формации других полезных ископаемых, можно дать следующее определение сланценосных формаций: это парагенетически связанные комплексы осадочных или осадочно-вулканогенных пород, включающих горючие сланцы в таких концентрациях, которые позволяют рассматривать их как полезное ископаемое». Сланценосная формация как литолого-структурное понятие характеризует комплекс осадочных или осадочно-вулканогенных пород определенного состава и возраста, содержащих концентрации ОВ сланцев. Накопление ОВ связано с формированием определенного комплекса пород в определенных палеогеографических условиях соответствующего геологического периода.

Выделение и изучение сланценосных формаций прежде всего имеет практическое значение при перспективной оценке того или иного района. В зависимости от масштабов проявления, условий залегания сланцевых толщ, качества сланцев и других факторов выделяются предпосылки промышленного освоения горючих сланцев.

В Советском Союзе изучению сланценосных формаций посвящены исследования А. Ф. Добрянского, В. А. Котлукова, С. С. Баукова и других авторов.

В 1973 г. впервые в мировой литературе были изложены основные принципы изучения сланценосных формаций и приведено описание сланценосных формаций европейской части СССР [32]. В. А. Котлуков, С. С. Бауков и другие авторы дали подробное описание ордовикской (диктионемовые сланцы и сланцы-кукерситы Прибалтийского бассейна), верхнеюрской (волжско-печорская формация), палеогеновых сланценосных формаций платформенного (Болтышское месторождение) и геосинклинального типа (менилитовые сланцы Карпат).

Описание указанных формаций открывает перспективы дальнейшего развития сланцевой промышленности в этих районах.

На данной стадии изученности и разведанности сланценосных площадей можно на основе имеющихся литературных сведений выделить следующие сланценосные формации:

— глинисто-известковых, известково-кремнистых и известково-глинистых пород куонамской свиты ленского и амгинского ярусов ранне- и среднекембрийского возраста Оленекского бассейна горючих сланцев Якутской АССР. Площадь распространения данной формации свыше 500 тыс. км². Прогнозные запасы сланцев 300 млрд. т. Это пока

единственный бассейн горючих сланцев, образованных в ранне-среднекембрийский период;

— диктионемовых сланцев пакерортского горизонта нижнего ордовика на северо-западе Русской платформы. Общие запасы диктионемовых сланцев — свыше 600 млрд. т;

— карбонатно-кукерситовая кукрузеского горизонта среднего ордовика Прибалтийского бассейна СССР. Площадь распространения — около 100 тыс. км². Многочисленные месторождения кембро-силурийского возраста известны в Швеции. Имеются упоминания о горючих сланцах ордовика в США. Подробные сведения отсутствуют;

— доманиковой фации глинисто-карбонатных сланцев франского яруса верхнего девона на востоке Русской платформы — Тиман, гряда Чернышева, Южный Урал. Запасы сланцев значительны. Горючие сланцы девона известны во многих странах мира — США, Великобритании, Польше, ФРГ, Бразилии, Перу, Боливии и др.;

— сланценосная глинисто-мергелистая данково-лебедянского горизонта фаменского яруса верхнего девона Припятской впадины. Прогнозные запасы сланцев — 11 млрд. т;

— черных сланцев девонского и раннекаменноугольного возраста восточной и центральной частей США. Площадь распространения сланцев — более 650 тыс. км². Выход смолы 2—10%. Запасы смолы наиболее исследованных сланцев 30, прогнозных — 110 млрд. т;

— угольно-сланцевая аргиллито-алевритовая позднекаменноугольного — раннепермского возраста Зайсанской впадины. Запасы сланцев — свыше 6 млрд. т. Пермско-каменноугольная формация горючих сланцев Нового Южного Уэльса Австралии характеризуется высоким качеством сланцев. Выход смолы на сланец некоторых месторождений достигает 50%, т. е. в 2—3 раза выше, чем во многих известных сланцах других бассейнов мира, за исключением сланцев Трансвааль Южной Африки;

— Фосфория черного сланца пермского периода распространена в юго-западной части штата Монтана, США, на площади 1500 км². Запасы смолы по ориентировочным данным 700—1400 млн. т. Сланцы содержат уран и фосфор;

— Ирати пермского периода Бразилии;

— горючих сланцев триасового периода штата Аляска. Площадь распространения 12,5 тыс. км². Выход смолы 10—15%. Возможные запасы смолы порядка 7 млрд. т;

— сланценосная глинисто-мергелистая нижневолжского яруса верхней юры Волжского бассейна. Площадь распространения — более 350 тыс. км². Запасы сланцев большие;

— сланцево-угольная верхнеюрская и нижнемеловая Восточного Забайкалья;

— сланценосных известково-песчанистых глин сузакских слоев отложений эоцена Южно-Таджикской депрессии. Запасы сланцев оцениваются многими миллиардами тонн;

— сланценосных алеврито-аргиллито-глинистых отложений эоцена Болтышской депрессии Украинского кристаллического массива. Запасы сланцев значительны;

— менилитовых сланцев нижнего олигоцена украинских Карпат. Прогнозные запасы сланцевой смолы 15—20 млрд. т [44];

— угленосно-сланцевая песчано-глинистая харьковской и полтавской свит палеоген-неогеновых отложений Днепровско-Донецкой впадины;

— сланценосных отложений третичного периода штата Монтана. Мощность сланценосной толщи — около 3 км. Отдельные слои сланцев показали выход смолы 4—15%;

— Монтерей и Сискуок диатомовых сланцев миоцена и плиоцена штата Калифорния, США. Площадь распространения — около 7800 км². Выход смолы 4—15%. Запасы смолы 140 млн. т;

— Грин-Ривер США эоцена занимает площадь свыше 65 тыс. км². Выход смолы 4—15%. Запасы смолы 285 млрд. т, из них на богатые пласты сланцев, с выходом смолы 12—15%, приходится 85 млрд. т.

В странах Западной Европы наиболее распространены сланценосные отложения морского лейаса. Они прослеживаются от Испании до Великобритании вдоль края мезозойско-третичных бассейнов, образовавшихся, как отмечает Л. Е. Шлаттер [1, с. 42—49], внутри мегатектонической структуры Западной Европы. Мощность пластов сланцев обычно небольшая — от 10 см до 1 м, реже больше. Содержание ОВ 10—30%. Выход смолы на сланец 4—15, чаще 5—8%. Теплота сгорания 4000—6500, редко 8000—8500 кДж/кг. Пласты сланцев в большинстве осложнены тектоническими нарушениями и оказались в той

или иной степени метаморфизованы. Запасы смолы отдельных месторождений сравнительно небольшие — 1—250 млн. т, редко более.

Горючие сланцы палеоген-неогенового возраста встречаются в Европе, Азии, Африке (Мадагаскар), Америке, Австралии и Океании. Альпийский этап характеризуется самыми благоприятными палеогеографическими и структурно-тектоническими условиями для образования горючих сланцев. Во многих странах мира в этот период происходило интенсивное накопление керогена в осадках. Сланценосные отложения распространены на обширной площади сузакских слоев Узбекистана и Таджикистана, встречаются спорадически в виде отдельных обособленных месторождений Чукумата, Дескубридора, Конститусьона, Лонкимай, Минас-Ларето Чили, образуют крупные бассейны менилитовых сланцев в СССР, Польше, Венгрии, Румынии, США (Грин-Ривер), КНР (Фушунь), в Новой Зеландии, Малагасийской республике (о. Мадагаскар).

На территории многих стран, главным образом Восточного полушария, сланцевые и угленосные фации палеоген-неогена оказались как бы совмещенными, т. е. были проявлены близко по времени. Накопление сланцев происходило в синклинориях, прогибах, межгорных впадинах, речных долинах и озерах.

Сланценосные толщи залегают над или под угленосными отложениями, образование тех и других происходило циклично. Сланценосные толщи в преобладающем большинстве сланценосных бассейнов имеют значительную мощность — от десятков до сотен метров и представлены несколькими горизонтами и пластами. Залегание сланцев почти всегда горизонтальное или пологое, редко пласты имеют крутой угол падения, еще реже залегание вертикальное.

Для палеоген-неогеновой формации характерно разнообразие генетических типов горючих сланцев: сапропелевые, сапропелево-гумусовые, гумусово-сапропелевые и гумусовые. Сланцы каждого из этих типов отличаются друг от друга по теплоте сгорания, выходу смолы, элементарному составу и другим показателям.

В некоторых месторождениях отчетливо фиксируется проявление соленосных фаций с образованием крупных залежей, содержащих галит, нахколит, даусонит и другие минералы. Нередко сланцы имеют повышенный процент редких и рассеянных элементов. Запасы горючих сланцев — от нескольких миллиардов до триллионов тонн.

Ниже приведено описание основных сланценосных формаций мира.

Сапропелевый тип. $Є_{1-2}$. **Кембрийская формация** Оленекского бассейна Якутской АССР. Формация сланценосной известково-глинисто-кремнистой толщи пород куонамской свиты ленского и амгинского ярусов Оленекского бассейна распространена на площади свыше 500 тыс. км² на северо-востоке Сибирской платформы (рис. 3). Образование сланцев в центральной части бассейна приурочено к Суханскому прогибу, который осложнен серией впадин, разделенных валообразными поднятиями.

Сланценосная толща куонамской свиты подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. Нижняя, глинисто-известковая, содержит многочисленные и нередко мощные пласты горючих сланцев; верхняя сложена переслаивающимися слоями кремнисто-глинистых, известково-глинистых пород и горючих сланцев. Мощность продуктивной свиты 25—90 м. В подсвите имеются 2—3 пласта горючих сланцев мощностью 0,3—2,0 м. Кроме того, присутствует несколько маломощных прослоев горючего сланца, разделенных слоями известняков или известково-глинистых пород.

Верхняя подсвита, состоящая из известково-глинистых, известково-кремнистых и кремнистых пород, содержит многочисленные маломощные слои горючих сланцев (2—10 см) и три пласта мощностью по 0,5 м. Образование горючих сланцев происходило в морских условиях в удалении от береговой линии при стабильности режима бассейна, с незначительными перерывами в осадконакоплении.

Терригенный материал отсортирован, сланцы обладают тонкой горизонтальной слоистостью, сланценосная толща распространена на большой площади и пачки сланцев выдержанны. Сланцы темно-коричневого, серого, коричневого и черного цвета, тонкослоистые, расщепляются на тончайшие пластинки. Содержат примеси кремнезема, кальцита, гидролизов железа. ОВ заключено в алеврито-глинистой массе в виде неправильных линзочек или в виде участков клиновидной формы. Содержание ОВ в сланцах 15—25%.

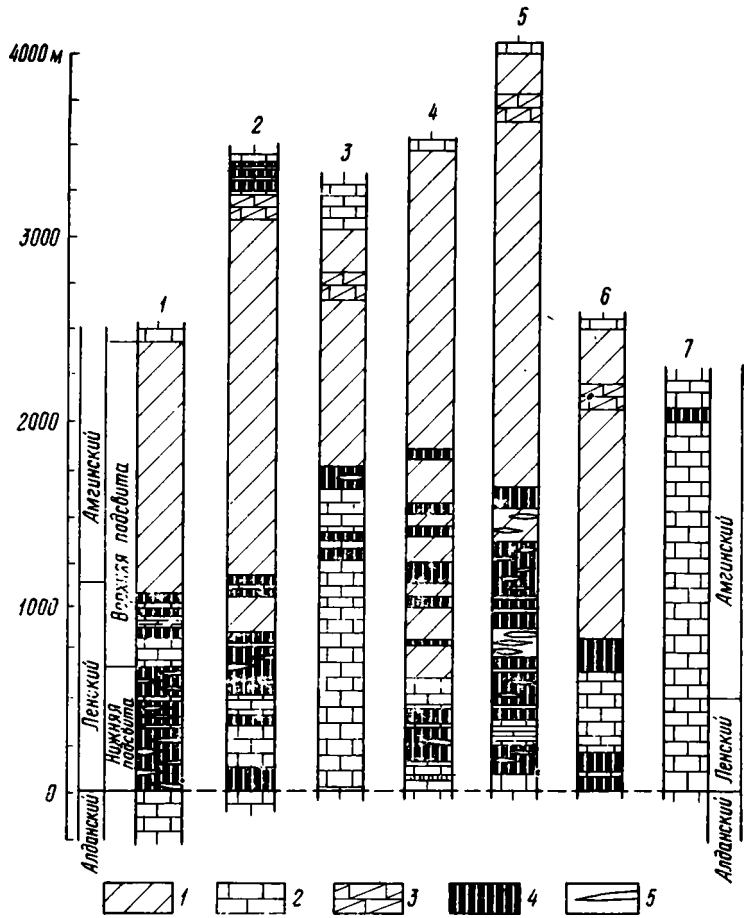


Рис. 3. Схема сопоставления разрезов куонамской свиты. По В. Я. Кабанькову.

1 — переслаивание маломощных прослоев кремнисто-глинистых, известково-глинистых пород, горючих сланцев; *2* — известняки; *3* — известняки куонамского горизонта; *4* — горючие сланцы; *5* — прослои кремнисто-глинистых и кремнистых пород. *1—7* — разрезы по буровым скважинам.

Качественная характеристика горючих сланцев, %: влага —1,2—4,1, зола (A^c) 61—79, CO_2 25—23,7, сера ($S_{общ}^c$) 0,8—2,4. Теплота сгорания сланцев 4186—10 353 кДж/кг. Выход смолы 5—10%, редко больше. Элементарный состав ОВ (%): С —70—79, Н —8—10, N — 1,5—7,6, О —4—15, S —6,9.

Распространение сланценосных отложений на обширной площади, большая мощность полезной толщи, ее выдержанность, а также наличие в ней пластов сланцев мощностью до 2 м и крупные запасы сланцев позволяют относить Оленекский бассейн к группе промышленно перспективных объектов. Сланцы высокосернистые и содержат повышенный процент азота.

Прогнозные запасы сланцев оцениваются в 300 млрд. т.

Описание приведено по данным В. Я. Кабанькова [4, с. 545—565].

Сапропелевый тип. Є—S.

В Швеции известны многие месторождения горючих сланцев кембрийско-силурийского возраста морского образова-

ния. В полезной толще залегают два пласта сланцев (Нерке) мощностью по 7—9 м каждый. Сланцы добываются открытым способом, поскольку залегают неглубоко. Выход и состав смолы сланцев Швеции приводятся ниже:

Зола, %	70—73
Теплота сгорания, кДж/кг	7536—9420
Выход смолы, %	3—7,0
Элементарный состав ОВ, %:	C — 70—79, H — 8—10, O — 4—15 N — 1,5—7,6, S — 6,9.

В Швеции горючие сланцы перерабатываются с целью получения топливных продуктов, а главное, для извлечения урана и других металлов. Запасы сланцевой смолы известных месторождений Швеции (Нерке, Остерготланд, Вестерготланд, Оланд и др.) 600 млн. т.

Описание приведено по данным К. Ж. Гейрота [1, с. 236—247], В. С. Файнберга [14], Д. А. Граната [15].

Сапропелевый тип. O_1. Ордовикская формация диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна СССР. Формация приурочена к отложениям пакерортского горизонта северо-западной части Русской платформы. Сланцы распространены на значительной площади Эстонии, частично на территории Ленинградской, Новгородской и Вологодской областей — свыше 12 тыс. км². В Эстонии сланцы прослеживаются в виде полосы субширотного направления длиной 250 км, шириной 15—20 км на востоке и до 80 км на западе.

Толща диктионемовых сланцев имеет моноклинальное залегание, падение на юг под углом 10—15′, следуя общему погружению палеозойских пород. Залегает она на глубине до 300 м в центральной части Эстонии и до 100 м в Ленинградской области. Мощность пласта диктионемового сланца в северо-западной части Эстонии 4—8 м, в южном и восточном направлениях она постепенно уменьшается и пласт выклинивается (рис. 4).

Название «диоктионемовые сланцы» произошло от присутствия в аргиллитах, обогащенных на 10—20% ОВ, остатков дендроидей — Dictyonema. Накопление сланцев происходило в эпиконтинентальном заливообразном бассейне в самом начале раннего ордовика.

Пелитовый материал сланцев пропитан бурым ОВ. Встречаются непрозрачные остатки граптолитов, конодонты и отдельные створки оболид. Сланец от темно-коричневого до черного цвета, слоистый. Плотность 1,5—1,9. Теплота сгорания 4280—5800 кДж/кг. Выход смолы на сланец 2—4, на ОВ 18—20%. Элементарный состав ОВ (%): C —67—76,0, H — 7,4—7,6, O — 12—18,5, N — 1,9—3,6, S — 2,6. Повышенное содержание азота в керогене свидетельствует о животном происхождении его материнского исходного вещества. А. С. Фо-

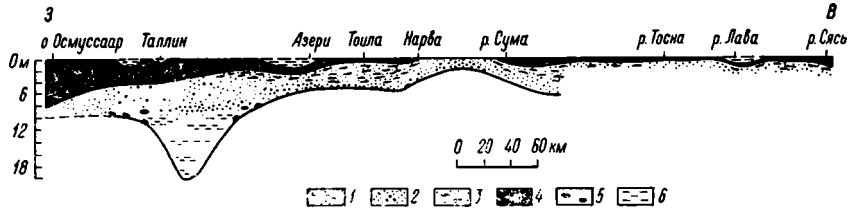


Рис. 4. Схематический разрез отложений пакерортского горизонта нижнего ордовика от о. Осмуссаара до р. Сясь. По С. С. Баукову, К. А. Стумбуру, А. Р. Лоогу и К. К. Мюрисепп.

1 — алевролит с прослоями глины; *2* — песчаник (песок) мелкозернистый с редкими прослойками диктионемового сланца и скоплениями фосфатных раковин оболид; *3* — алевролит с большим количеством прослоев диктионемового сланца; *4* — диктионемовый сланец; *5* — базальный конгломерат; *6* — глауконитовый песчаник и глины лээтсеского горизонта.

мина [1] считает, что это обусловлено взаимодействием продуктов распада протеинов, хитина, углеводных составляющих, частично жировых компонентов как растительного, животного, так и микробного происхождения.

В диктионемовом сланце содержатся Fe_2O_3, P_2O_5, V_2O_5, а также сульфаты кальция и магния. Установлено присутствие редких и рассеянных элементов в повышенных количествах.

Несмотря на низкое содержание ОВ в сланцах, низкие теплоту сгорания и выход смолы, диктионемовые сланцы привлекают внимание по условиям залегания, крупным запасам и содержанию сопутствующих ценных компонентов. Промышленное использование их возможно при условии извлечения всех сопутствующих компонентов. Диктионемовые сланцы залегают на оболовых песчаниках, содержащих фосфор. При добыче последних они поступают в отвалы до 2 млн. т в год. Уже в современных условиях возникает необходимость организации опытно-промышленных работ по комплексной переработке диктионемовых сланцев.

Запасы сланцев свыше 600 млрд. т.

Описание приведено по данным С. С. Баукова [4, с. 145—148], Э. К. Кивимяги [32, с. 11—17], А. Р. Лоог [32], А. С. Фоминой [1].

Сапропелевый тип. O_2. Ордовикская карбонатно-кукерситовая формация Прибалтийского бассейна СССР. Формация образована в платформенных условиях. Расположена она на южном склоне Балтийского щита. Пологое моноклинальное погружение осадочных пород кукерского горизонта среднего ордовика на юг и юго-восток в основном отвечает погружению поверхности ниже расположенного кристаллического фундамента.

Формирование сланценосной толщи происходило в иловой впадине, располагающейся в области шельфа в некотором удалении от берега, на глубине порядка десятков метров при максимальном развитии ордовикской трансгрессии.

Для формации характерно частое переслаивание горючих сланцев с известняками, содержащими ОВ. Сланцевая толща состоит из многочисленных (до 28—30) слоев горючих сланцев, глинистых известняков, мергелистых доломитов и битуминозных глин. Мощность кукерского горизонта от 5—8 м на западе, 10—13 м в центральной части до 10—35 м на востоке бассейна. Форма залежи пластообразная (рис. 5).

В пределах Прибалтийского бассейна известно несколько месторождений горючих сланцев, но наиболее разведанными и изученными являются Эстонское на западе и Ленинградское на востоке. Сланцы обоих месторождений добываются и перерабатываются многие годы. Площадь распространения сланцевой толщи — около 100 тыс. км². В длину она прослеживается на 500 км и по падению пород к югу от побережья Финского залива на 180—200 км. В юго-восточном направлении мощность сланцевой толщи постепенно уменьшается (рис. 6). Мощность пласта горючих сланцев на Эстонском месторождении 5 м (количество слоев и прослоев сланца максимально 28—30), а на Ленинградском — до 2—3 м (количество слоев и прослоев сланца 16—20).

ОВ — сапропелевого состава. Для сланценосной толщи Прибалтийского бассейна характерна частая смена ритмов в сланценакоплении. Горючие сланцы Прибалтийского бассейна богаты ОВ (22—52%). Выход смолы на сланец 13—40%. Теплота сгорания сланцев 9200—19 200 кДж/кг. Выход летучих веществ 27—55%. Элементарный состав ОВ (%): С —74—77,8, Н —9,3—9,9, О —9—10, N —0,3—0,4, S —1,6—1,9, Cl—0,60—0,90. Выход смолы на кероген 30—68, реже выше 70%. Теплота сгорания керогена 37 260 кДж/кг. Смола содержит свыше 20% фенолов.

В зависимости от способа термической переработки сланцев смола имеет следующий средний групповой состав, (%): углеводороды —20—30, кислородные соединения 45—60, нейтральные кислородные соединения —30—35, сернистые соединения — около 5, остальные —10—15. По данным А. С. Фоминой [1], основная часть углеродного скелета керогена кукерсита имеет алифатическую природу сложного полимерного строения. Кероген относится к макромолекулярным веществам трехмерной структуры.

Добыча горючих сланцев бассейна организована шахтным и открытым (разрезы) способами. Сорт сланца 0—25 мм (мелкозернистый сланец) используется для энергетических целей, сорт 25—125 (технологический сланец) поступает в газогенераторные и камерные печи, а также на установку УТТ (с твердым теплоносителем), а сорт крупностью более 125 мм подвергается дополнитель-

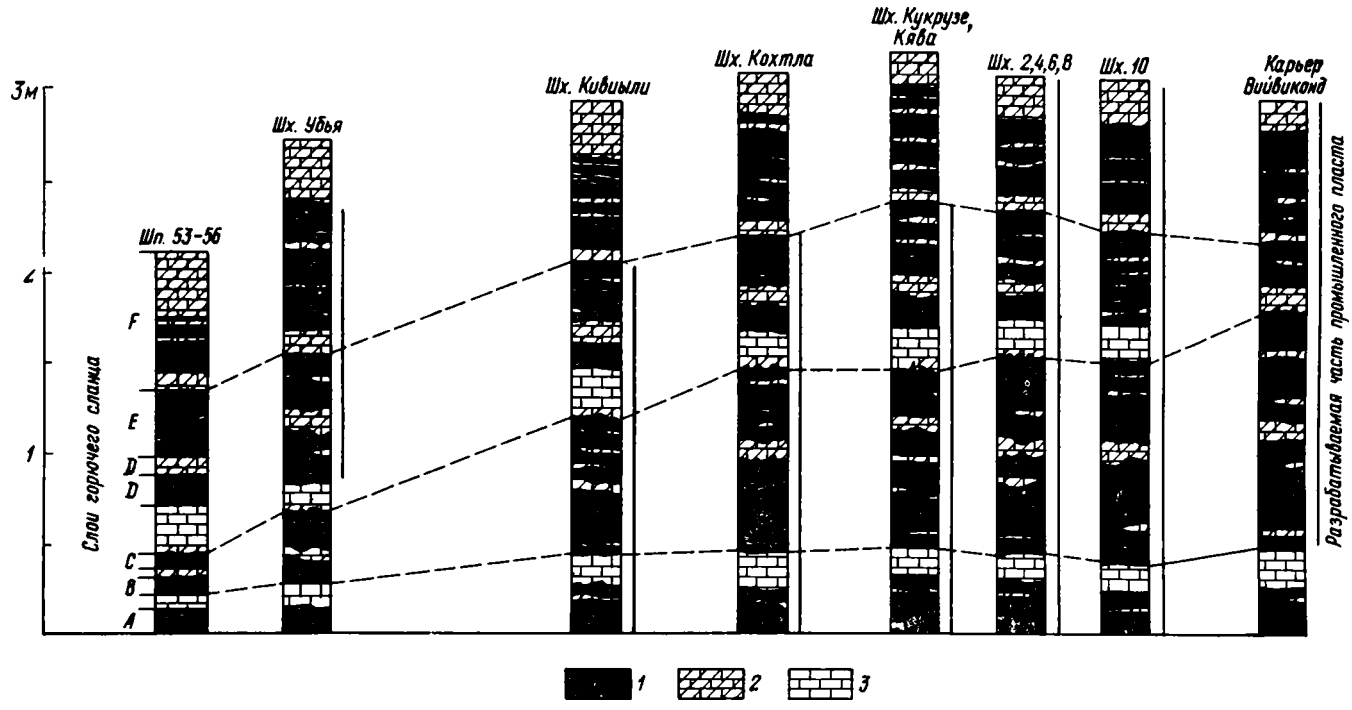


Рис. 5. Строение промышленного пласта сланцев на Эстонском месторождении Прибалтийского бассейна. По С. С. Баукову.

1 — горючий сланец; *2* — известняк с включениями кукерсита; *3* — известняк.

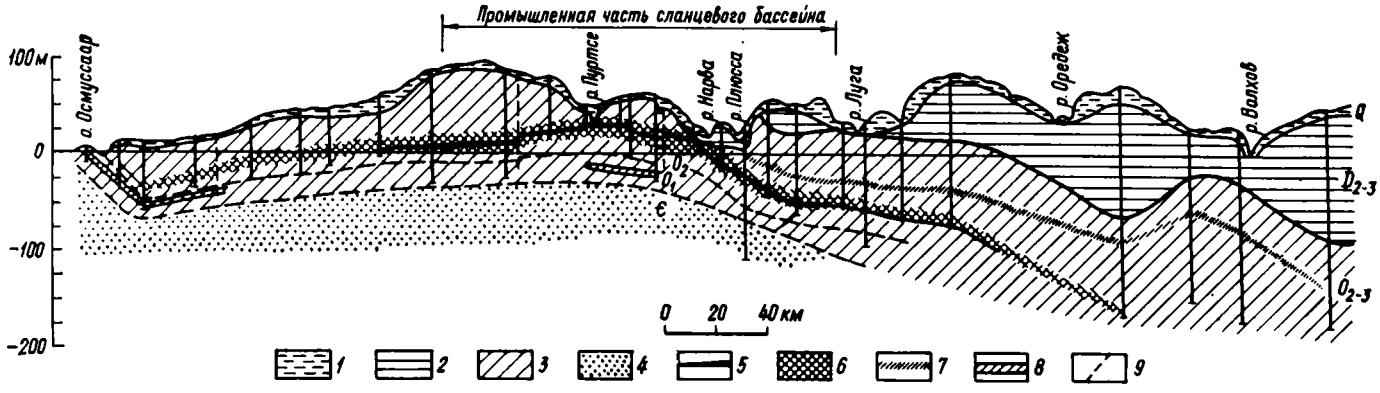


Рис. 6. Геологический разрез Прибалтийского сланцевого бассейна. По С. С. Баукову, В. А. Котлукову.

1—4 — отложения: *1* — четвертичные, *2* — верхне- и среднедевонские, *3* — верхне- и среднеордовикские, *4* — кембрийские; *5* — промышленный пласт горючего сланца-кукерсита (слой А Эстонского месторождения); *6—7* — сланценосные толщи горизонтов среднего ордовика: *6* — ухакуского и кукерского, *7* — идаверского (итферского) и йыхвиского (невского); *8* — пласт диктионемового сланца пакерортского горизонта нижнего ордовика; *9* — нарушения.

ному дроблению. На рис. 7 приводится принципиальная схема комплексного энерготехнологического использования горючих сланцев.

Прибалтийские горючие сланцы — одни из самых высококачественных в мире. Они являются ценным сырьем для получения многочисленных химических продуктов, а на основе минеральной части — для производства строительных материалов. На базе их работают две крупные ГРЭС и несколько теплоэлектростанций.

Кроме Эстонского и Ленинградского месторождений в бассейне известны такие, как Тапа, Веймарнское, Чудово-Бабинское, Лужско-Волосовское. По выходу смолы они различаются сравнительно мало:

Сланцы	Выход смолы, %
Эстонские	58—68
Веймарнские	50—66
Алексеевские	42—62
Ленинградские	50—66

Запасы сланцев с учетом забалансовых 24 млрд. т.

Описание приведено по данным А. Я. Аарна, С. С. Баукова [32, с. 23—145], А. Ф. Добрянского [3, с. 14—40], В. А. Котлукова [4, с. 7—115].

Гумусово-сапропелевый тип. D_3. Формация доманиковых сланценосных отложений европейской части СССР. Формация распространена на обширной площади северо-востока европейской части СССР—от Тимана до Урала и Пай-Хоя. На накопление осадочного комплекса пород и условия их залегания существенное влияние оказали крупные структурные элементы, возникшие в варисскую эпоху тектогенеза: складчатая область Тимана, Печорская синеклиза, геосинклинальная область Урала и Предуральский краевой прогиб (рис. 8). В различных районах доманиковые отложения имеют довольно сложное строение: в Ухтинском районе наблюдается переслаивание черных и серых битуминозных окремненных известняков, горючих сланцев, мергелей и кремней с прослоями глин, в Ижевском районе — переслаивание битуминозных глин с прослоями мергеля, глин, битуминозных аргиллитов, горючих сланцев и черных кремнистых пород, на Среднем Тимане распространены аргиллиты, песчаники, глины и т. д.

Доманиковые отложения распространены на площади в сотни тысяч квадратных километров. Образование доманиковых отложений происходило в морском мелководном бассейне. Планктон был богат гониатитовой и пелециподовой фауной. Содержатся остатки лингул, гониатитов, птеропод, брахиопод, остракод, цефалопод.

Мощность сланцевой толщи непостоянна (10—75 м). Количество пластов горючего сланца в разрезе сланцевой толщи также непостоянно даже в пределах одного и того же района. Изменчиво и качество сланцев. С. М. Войнов в доманиковом горизонте Ухтинского района выделил 248 прослоев пород, в том числе 163 слоя и прослоя горючих сланцев (табл. 15).

Мощность пластов и слоев сланцев 0,1—2,2 м. Каждый пласт нередко состоит из серии маломощных слоев, разделенных прослоями пород. Сланцы листоватые, тонко- и микрослоистые, плотные. ОВ неоднородно по составу и по цвету — от черного до темно-бурого и желтого, реже красно-бурого, встречается в виде сгустков, линзовидных скоплений и тонких прожилков, или окаймляет обломки фауны, породы, или пронизывает породу. Присутствуют обломки кларена и касьянита, обрывки кутикулы. Плотность сланца 1,47—2,28. Содержание ОВ 10—30%. Теплота сгорания сланцев 4000—14 600 кДж/кг, выход смолы на сланец 5—15, реже 30%. Сланцы от мало- до высокосернистых. Элементарный состав ОВ (%): С—63—81, Н—7—10, S—2—6.

Горючие сланцы распространены на обширной площади. По перспективной оценке суммарные вероятные и возможные запасы сланца, по В. А. Котлукову [4, с. 571], составляют 15,5 млрд. т, по Д. Т. Кузнецову [13, с. 30—31] — 400 млрд. т. Сланцы Тимано-Печорского бассейна мало изучены и по геологическим предпосылкам заслуживают более углубленного изучения.

С отложениями доманиковой свиты франского яруса связано образование горючих сланцев в Южном Приуралье (рис. 8), главным образом на территории Башкирии [1, с. 317—328]. Доманиковые отложения представлены переслаивающимися известняками, известково-глинистыми и горючими сланцами, мергелями и кремнями. В Южном Приуралье известны Лемезинское, Ашанское, Зилимское, Усть-Катавское месторожде-

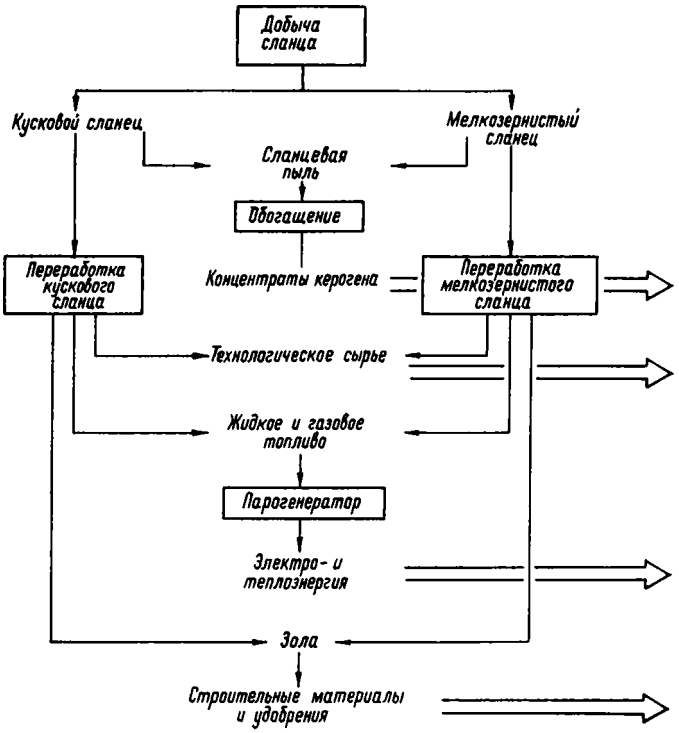


Рис. 7. Схема комплексного энерготехнологического использования горючих сланцев. По А. Я. Аарна.

ния. В. В. Богданов отмечает, что все породы доманиковой свиты в различной степени обогащены дисперсным ОВ. Мощность доманиковой свиты 11—55 м. На Лемезинском месторождении в свите выделяются три пачки: нижняя —1,35, средняя —2,25, верхняя —1,75 м. Каждая пачка свиты состоит из нескольких прослоев горючих сланцев мощностью 0,1—0,4 м, разделенных прослоями вмещающих пород мощностью 0,05—0,1 м. Качество сланцев изменяется в широких пределах (табл. 16).

Запасы горючих сланцев доманиковых отложений не подсчитаны. Сугубо ориентировочно прогнозные запасы близки к 500—800 млрд. т (по Д. Т. Кузнецову).

Описание приведено по данным В. В. Богданова [4, с. 302—316], С. М. Войнова [4, с. 310—311], А. Ф. Добрянского [3, с. 40—46], В. А. Котлукова [4, с. 19—21], А. К. Крыловой.

Сапропелевый тип. D_3. Формация горючих сланцев Припятской впадины. Формация данково-лебедянского горизонта фаменского яруса Припятской впадины распространена на значительной площади Белорусской ССР. За последние 10—12 лет выявлен новый сланценосный бассейн. Накопление сланценосной толщи приурочено к западному окончанию Припятского прогиба и происходило в лагунных и лагунно-морских условиях. Внутри прогиба выделяются несколько депрессий — Шатилковская, Туровская, Ельская и др. Развитие Припятского прогиба и отдельных его структур было сложным и длительным.

Пласты сланцев залегают в отложениях данково-лебедянского яруса, в разрезе которого выделяются три толщи: подсолевая (доломито-ангидритовая), соленосная и надсолевая (глинисто-мергелистая). Сланценосными отложениями являются глинисто-мергелистые отложе-

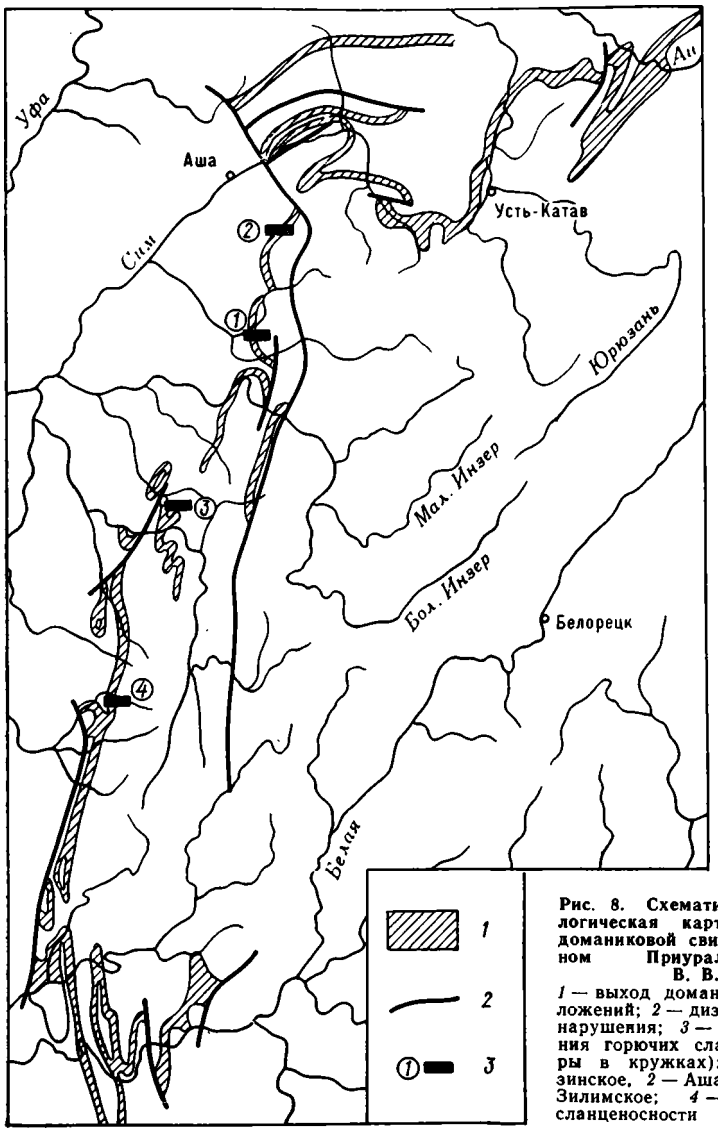


Рис. 8. Схематическая геологическая карта выходов доманиковой свиты в Южном Приуралье. По В. В. Богданову.
1 — выход доманиковых отложений; *2* — дизъюнктивные нарушения; *3* — месторождения горючих сланцев (цифры в кружках): *1* — Лемезинское, *2* — Ашанское, *3* — Зилимское; *4* — проявление сланценосности в бассейне р. Зиган.

ния надсолевой толщи мощностью 40—300 м. Залегание толши полого-волнистое. Глубина залегания 64—550 м (Туровское месторождение) и 140—430 м (Любанское).

Туровское месторождение представлено одним пластом сланца простого строения мощностью 0,13—3, в среднем 1,65 м. В верхней части разреза сланцы постепенно переходят в сапропелевые мергели. Падение пласта пологое (1—2°). Качественная характеристика (%): зола 62—82, массовая доля серы 1,5—4,0. Выход смолы 6—14, в среднем 8%. Теплота сгорания 4180—9100 кДж/кг. Запасы сланцев 5124 млн. т (рис. 9).

Любанское месторождение находится в центральной части Шатилковской депи-

Таблица 15. **Характеристика пород доманикового горизонта Ухтинского района (по С. М. Воинову)**

Показатели	Горючие сланцы	Известняки	Кремний	Глины	Всего
Количество слоев и прослоев	163	74	106	5	348
Суммарная мощность, м	27,2	8,0	10,1	2,4	47,7
Содержание пород, %	59,1	16,7	21,2	5,0	100

Таблица 16. **Физико-химические свойства сланцев**

Показатели	Месторождения		
	Лемезинское	Ашанское	Зилимское
Влага, %	3—7	0,4—2,0	0,3—0,4
Зола, %	64—76,4	60—74,2	63,0
Сера общая, %	6,2—7,0	1—2,1	2,5—4,3
Выход смолы, %	3,5—8,1	4—28,0	—
Теплота сгорания, кДж/кг	6300—12560	4200—6280	4200—6280

рессии. В сланценосной толще залегает до пяти пластов сланца и до девяти пластов сапропелевых мергелей. Мощность пластов сланца 0,1—1,55 м. Залегание пластов пологое с погружением в восточном направлении. Глубина залегания пластов 140—430 м. Мощность нижнего пласта сланца 1,0—1,55 м. Теплота сгорания 6000—9200 кДж/кг. Выход смолы 10—16%. Прогнозные запасы сланцев по нижнему пласту оцениваются в 600 млн. т.

ОВ сланцев Припятской впадины, имеющее сапропелевый состав, представлено компонентами группы альгинита (коллоальгинит и талломоальгинит). Обрывки витринизированных и фюзенизированных тканей высших растений и микроспоры встречаются редко. Элементарный состав (%): С — 60—79,8, Н —10—16, N —до 1,0, S —1,4. Смола малосернистая (1,2%). В табл. 17 приведен состав смолы.

Минеральная часть сланцев имеет кремнеземисто-глиноземистый состав и пригодна для производства минеральной ваты, аглопорита, каменных литых изделий.

В пределах Припятского бассейна выявлено новое —Любанское месторождение, в котором обнаружен пласт сланца мощностью 1,0—1,5 м более повышенного качества (теплота сгорания 5800—9200 кДж/кг). При условии комплексной переработки и отсутствия других местных топливных ресурсов сланцы указанного качества заслуживают более детального исследования и проведения расчетов по определению экономической эффективности их промышленного использования.

Запасы сланцев по бассейну 11 млрд. т при теплоте сгорания >5023 кДж/кг.

Описание приведено по данным А. Ф. Ажгиревич, Ю. И. Горького [46, с. 21—25], В. А. Котлукова [4, с. 331—340], И. М. Озерова [45, с. 59—69].

Гумусово-битуминозный тип. $D_3 — C_1$. Формация черных сланцев Онтарио США, Канады. Формация распространена в Северной Америке на территории США и Канады. В США, в восточной и центральной части страны, сланцы формации занимают площадь более 650 тыс. км². Они значительно распространены в Канаде вдоль берегов оз. Онтарио.

Сланценосная толща морского происхождения приурочена к синеклизе и широкой полосой простирается с севера

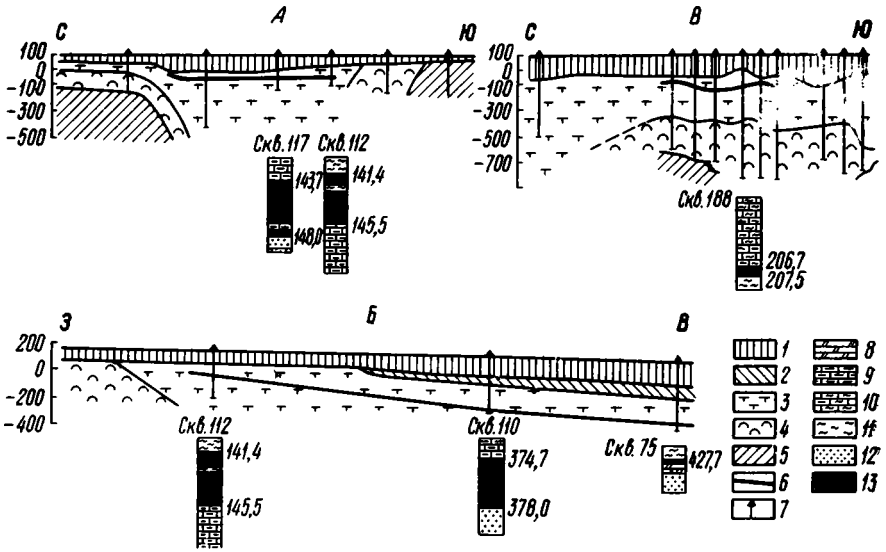


Рис. 9. Геологический разрез Припятского бассейна Белорусской ССР. По В. А. Котлукову.

А — Старобинский участок, *Б* и *В* — Туровский участок. *1* — отложения мезозоя и кайнозоя; *2* — нижнекаменноугольные отложения; *3* — глинисто-мергелистая толща (надсолевая) D_3l_a; *4* — соленосная толща D_3l_b; *5* — доломито-ангидритовая толща (подсолевая) D_3l_c; *6* — сланценосная пачка (горизонт); *7* — буровая скважина; *8—13* — разрезы пластов горючих сланцев и сапропелевых мергелей: *8* — доломиты; *9* — известняки; *10* — мергели; *11* — глины; *12* — песчаники; *13* — сапропелевые мергели и горючие сланцы.

на юг. Подстилается она морскими отложениями системы миссисипиан. Представлена известняками, сланцами и углями и залегает в разобщенных бассейнах до глубины 3 км. Участками толща подвергнута эрозионному воздействию, что и вызвало ее разобщение. На востоке и севере продуктивная толща выходит на дневную поверхность.

Мощность залежи от нескольких метров до 250 м в США, в Канаде максимальная мощность пласта 17 м. Встречаются пласты угля.

Отличительная особенность сланцев формации — черный цвет. Массовая доля ОВ не постоянна (5—25%), в соответствии с этим значительно изменяются теплота сгорания (4000—8300 кДж/кг) и процент выхода смолы на сланец (4—10%).

В сланцах обнаружено присутствие урана, что увеличивает к ним интерес промышленных организаций.

Главными угленосно-сланценосными бассейнами в Канаде являются Сидни и Пиктоу. В бассейне Пиктоу образование углей и черных сланцев происходило в межгорных озерах в условиях открытых и тростниковых торфяников. Черные сланцы в бассейне Пиктоу озерного типа переходят в серые сланцы и песчаники, в периферической части местами чередуются с локально появляющимися отложениями флювиального типа. Черные сланцы относятся к битуминозным сланцам гумусового происхождения, качество их низкое, но запасы огромны.

Запасы черных сланцев США оцениваются в триллионы тонн.

Описание приведено по данным Д. К. Дункана [1, с. 36—41], В. Е. Свенсона, Е. И. Стефанова [11, с. 98—126].

Сапропелево-гумусовый тип. $D_3 — P_1$. Формация угольно-сланцевая Кендерлыкского бассейна Казахской ССР. Формация приурочена к крупному Кендерлыкскому грабену Зайсанской впадины, возникшему в позднем карбоне, когда вначале происходило накопление континентальных угленосных отло-

Таблица 17. Состав смолы сланцев Припятской впадины

Показатели	Прибалтийские	Болтышские	Волжские	Байсунские	Карпатские	Туровские
Выход смолы в лабораторной реторте, %	22,0	13,0	12,9	10,3	4,0	8,2
Выход смолы в расчете на ОВ, %	70,9	50,0	51,6	36,7	18,6	47,4
Плотность при 20° С	0,9760	0,8897	1,0950	0,9533	0,9795	0,905
Молекулярная масса	233	230	188	231	206	223
Вязкость условная при 50° С, градус	6,3	1,3	3,7	0,9	3,7	3,6
Температура вспышки в открытом приборе, °С	80	29	—	31	44	28
Температура застывания, °С	—20	0 —20	—	—	+15	—15
Фракционный состав:						
н. к., °С	130	90	170	105	100	84
перегоняется, об. %:						
до 150° С	—	7,0	—	6,0	8,0	9,0
200° С	3,5	19,0	5,0	20,0	19,0	24,5
300° С	25,0	46,0	35,0	44,0	51,5	60,5
325° С	35,0	57,0	45,0	53,0	43,0	66,0
350° С	44,0	76,0	67,0	62,0	70,1	75,0
Элементарный состав, %:						
C	83,0	83,6	79,6	81,2	80,8	82,06
H	9,5	11,6	9,0	10,2	9,5	10,77
S	1,1	1,2	8,2	3,5	4,3	1,22
N	0,1	1,1	0,8	1,7	0,8	0,44
O (по разности)	6,3	2,5	2,2	3,4	5,0	5,51
Теплота сгорания, кДж/кг	40 100	42 800	37 800	39 800	39 800	41 000

Примечание. Смола туровских сланцев содержит 6,4% фенолов и карбоновых кислот.

жений — аканскайская свита, а затем в лагунах в солоноватоводной среде образовались сланценосные отложения— кендерлыкская (C_3) и караунгурская (P_1) свиты. В конце ранней перми лагунный тип сменился континентальным (сайканская свита).

Аканскайская свита сложена песчаниками, линзами конгломерата, аргиллитами, туфами, туффитами, линзами базальта. В ней залегает пласт угля.

Кендерлыкская свита сложена аргиллитами, горючими сланцами, туффитами и доломитами. В свите залегают два пласта горючих сланцев сложного строения: «Калын-Кара» и «Лучший». Выше пласта «Лучший» по разрезу имеется несколько горючих сланцев мощностью 0,10—0,40 м. Пласт «Калын-Кара» содержит прослои пустой породы, которыми разделен на две пачки: верхнюю (0,80—1 м), с большим количеством прослоев пустой породы, и нижнюю (до 1 м). В северном направлении мощность пласта увеличивается до 2,15 м (полезная 1,78). Пласт черного цвета, тонкослоистый, содержит кутикулы, макро- и микроспоры, смоляные тела, витринит и пиритизированные обрывки фюзена. Основная масса представлена

желтовато-бурым сапропелево-гумусовым веществом с примесью глинистого материала. По составу сланцы пласта занимают промежуточное положение между углем и сланцем. Теплота сгорания 10 174 кДж/кг.

Пласт «Лучший» более выдержан по строению и мощности, общая мощность 1,87 м (полезная 0,78). Основная масса представлена светло-желтым сапропелевым материалом с примесью глинистых минералов. Пласт тонкослоистый, содержит обрывки растительных тканей в виде ксилофюзиена, ксилена, реже витрена. ксилофюзена, ксилена, реже витрена.

Караунгурская свита представляет собой переслаивание песчаников, туффитов, алевролитов, аргиллитов и горючих сланцев (рис. 10). Слои горючего сланца имеют сложное строение и неустойчивы по простиранию. Мощность слоев — до 3 м. Известковистые песчаники обогащены ОВ и связаны постепенными переходами с горючими сланцами. В свите насчитывается девять пластов горючих сланцев (снизу вверх):

пласт I состоит из трех пачек, разделенных слабобитуминозным алевролитом общей мощностью 1,70 м. На долю горючего сланца (всех трех пачек) приходится 0,70 м;

пласт II представлен прослоем сланца мощностью 0,16 м;

пласт III представлен переслаиванием битуминозного алевролита и аргиллита общей мощностью 1,21 м;

пласт IV мощностью 8,64 м состоит из двух пачек горючего сланца, разделенных прослоем битуминозного алевролита и песчаника мощностью 2,18 м;

пласт V состоит из двух пачек горючего сланца мощностью 0,61 и 0,16 м.

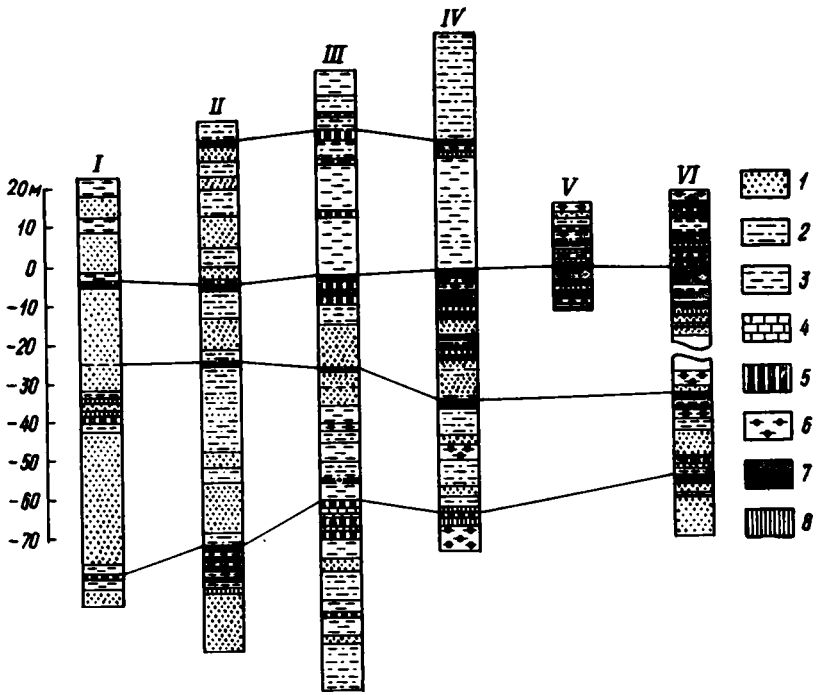


Рис. 10. Разрезы продуктивного горизонта караунгурской свиты Кендерлыкского месторождения угля и горючего сланца. По Н. Я. Шевченко.

1 — песчаник; *2* — алевролит; *3* — аргиллит; *4* — известняк; *5* — битуминозный алевролит (аргиллит); *6* — слабобитуминозный алевролит (аргиллит); *7* — горючий сланец; *8* — доломитизированные породы.

Разрезы: *I* — по логу Кульдене; *II* — по р. Акколка; *III* — по р. Караунгур (Айская синеклиза); *IV* — по скв. 11; *V* — по р. Караунгур (выше устья р. Майчат); *VI* — устье р. Аканский.

В 5 м выше пласта V залегает пласт VI мощностью 0,45 м, а на 1,66 м выше пласта VI залегает пласт VII мощностью 0,49 м;

пласт VIII состоит из двух пачек битуминозного алевролита мощностью 0,21 и 0,43 м, разделенных прослоями песчаника; в 10 м выше пласта VIII залегает пласт IX, состоящий из двух прослоев битуминозного аргиллита мощностью 0,66 и 0,75 м, разобщенных прослоями песчаника и алевролита мощностью 0,80 м.

В сайканской свите заключено большое количество слоев горючего сланца, битуминозных и слабобитуминозных пород. По условиям залегания и составу выделено четыре продуктивных горизонта (снизу вверх):

I горизонт состоит из трех пластов горючего сланца с рабочей мощностью 6,73; 8,81 и 2,48 м;

II горизонт представлен переслаиванием слоев алевролитов, аргиллитов, мелкозернистых песчаников, доломитизированных известняков и прослоев горючего сланца;

III горизонт состоит преимущественно из битуминозных пород мощностью около 20 м, среди которых залегают маломощные слои горючих сланцев;

IV горизонт представлен переслаиванием слоев мелкозернистых песчаников, алевролитов, аргиллитов и прослоями горючего сланца небольшой мощности Качество сланцев изменчиво: зола 47—73%, выход летучих 21—40%, теплота сгорания 7300—13 390 кДж/кг. Элементарный состав ОВ (%): С —68—76, Н—7—8,5, N—1,6—1,9, O+S —14—24,8. Выход смолы на сланец 5,9—27,0, на ОВ—22,5—49,2%.

Состав ОВ горючих сланцев в разрезе продуктивной толщи неоднороден. Если сланцы кендерлыкской свиты преимущественно сапропелево-гумусового состава, то сланцы караунгурской свиты представляют собой смесь гумусово-сапропелевой массы с минеральной составной частью. Кероген содержит ксилофюзен, витрен, споры, кутикулы.

Смола кендерлыкских сланцев малосернистая. Выход смолы полукоксования на сухой сланец составил: по пласту «Калын-Кара» — 9,4, «Лучший»— 18,2%. Пиролиз смолы показал выход бензиновой фракции 25, дизельной — 36, лигроиновой — 10%.

В пределах Зайсанской впадины кроме Кендерлыкского известны и другие месторождения горючих сланцев.

Запасы сланцев по прогнозной оценке 6020 млн. т [13].

Описание приведено по данным Л. Ф. Белянкина [4, с. 419—455], А. Ф. Добрянского [3, с. 52—55], В. А. Котлукова [1, с. 25—35].

Сапропелевый тип. P_1. Формация торбанитов Нового Южного Уэльса и Квинсленда Австралии. Формация приурочена к прогибу Тасманской геосинклинали. Пермские отложения залегают несогласно на верхнекаменноугольных породах. Среди них различают две морские серии — нижнюю и верхнюю и две угленосные толщи — Грета и Ньюкасл.

Нижняя серия имеет мощность около 1850 м и представлена конгломератами, песчаниками, сланцами, туфогенными породами, туфами и редко известняками, среди которых залегает угленосная толща Грета мощностью 30—160 м.

Верхняя серия сложена песчаниками, конгломератами, сланцами и известняками с включением тонких прослоев угля. Мощность верхней серии 1900—1950 м. Угленосные отложения приурочены к верхней толще серии — Ньюкасл. Общая мощность верхней угленосной толщи 900 м.

Горючие сланцы встречаются в Новом Южном Уэльсе и Квинсленде. Они сосредоточены в угленосных толщах нижней перми — Грета и Ньюкасл. Известные месторождения сланцев в основном расположены вдоль западного края угленосного бассейна. Многочисленные месторождения сланцев представляют собой как бы обособленные бассейны. Залежи сланцев имеют линзообразную форму с изменчивой мощностью. Максимальная мощность приходится на центральную часть залежей. Сланцы по простиранию нередко переходят в пласты каменного угля. Отдельные пласты сланцев прослеживаются в длину до 3,2 км. Мощность пластов 0,10—1,8 м.

Горючие сланцы относятся к торбанитам. Это плотная, массивная, мелкозернистая порода от желто-коричневого до зеленовато-коричневого и черного цвета. Горит ярким длинным пламенем. ОВ в основном состоит из округлых желтоватого цвета комочков (0,1—0,75 мм), представляющих собой колонии водорослей, относящихся к *Botryococcus braunii*, цементом является непрозрачное сапропелевое вещество с мелкими обрывками микринита, спор, кутикул и смоляных

телец. Минеральная масса преимущественно глинистая.

Торбаниты по простиранию часто переходят в каменный уголь, углистый или глинистый сланец. Качественная характеристика (%): влага —0,17—1,5, зола—2—15 и более, выход летучих 60—90, сера $S_{общ}$ —1, реже 2. Элементарный состав ОВ (%): С —80—82, Н —10—11. Выход смолы на сланец 100—600 л/т. Теплота сгорания торбанита 7530—31 400 кДж/кг.

Торбаниты относятся к высококачественному типу горючих сланцев. В прошлом они интенсивно разрабатывались с целью получения топливно-химических продуктов.

Запасы смолы оцениваются в 11 млн. т.

Описание приведено по данным Г. В. Озерова, Е. И. Стефановой [11, с. 78—97], В. С. Файнберга [14, с. 5—26].

Сапропелево-гумусовый тип. P_2. Формация Ирати Бразилии. Формация представлена сланценосными отложениями аргиллитовой фации. Пермские отложения общей мощностью 500—700 м объединяются в серию Пасса-Дайс, в состав которой входит и сланцевая формация Ирати. Отложения формации Ирати относятся к двум фациям: аргиллитовой, состоящей из горючих и небитуминозных сланцев темно-серого, коричневого и черного цвета, и известковой, представленной известняками и доломитами.

Сланценосная формация Ирати имеет форму буквы S и прослеживается непрерывно по простиранию на 1700 км, от штата Сан-Паулу до южной границы Бразилии и продолжается в Уругвае. Породы указанной формации имеют пологое падение на запад и юго-запад. Участками они осложнены тектоническими нарушениями, в основном сбросового порядка. Строение залежей сланца пластообразное.

Литологический состав и количество прослоев горючих сланцев сланценосных толщ изменяются в различных районах. В отдельных районах количество прослоев или пластов горючих сланцев достигает 80, причем мощность отдельных слоев изменяется от нескольких миллиметров до нескольких метров. Мощность пластов сланцев невыдержанна как по простиранию, так и по падению. В разрезе их появляются пласты монтмориллонита, слои кремнистого сланца, а также базальта.

В штате Рио-Гранде-до-Сул сланценосная толща содержит два пласта горючих сланцев. Мощность верхнего пласта 9 м с постоянным уменьшением к югу и востоку, нижнего — 4,5 м. К югу также наблюдается уменьшение мощности. Так, в районе Сан-Мигуэ-Сул мощность нижнего пласта 3,21, верхнего — 6,5. Выход смолы на сланец верхнего пласта 6,4, нижнего — 9,1%. Массовая доля ОВ 20—30%. Сланцы черного цвета дают выход смолы 4%, темно-коричневые — 10—12%. Теплота сгорания сланцев 6280—8370 кДж/кг. Выход летучих 18—31%.

Образование сланцев происходило во внутриконтинентальном морском бассейне с пониженной соленостью. Чередование тонких прослоек аргиллита, известняка, доломита и сланца указывает на проявление ритмичности в формировании залежей сланца. Кроме прожилков кальцита встречаются сфероидальные конкреции кремнистого состава, что свидетельствует о мелководных условиях сланценакопления. Минеральная часть сланцев в основном кремнеземистая: SiO_2 —45—55, Al_2O_3 —2—5, $CaO+MgO$— не более 5%. Сланцы сернистые —2—4% $S_{общ}$.

Горючие сланцы формации Ирати распространены на огромной площади. По прогнозным запасам сланцев Бразилия занимает второе место в мире.

Запасы сланцевой смолы оцениваются в 1200 млрд. т.

Описание приведено по данным Д. Т. Кузнецова [13, с. 130—134], Г. В. Озерова, В. Т. Падула [1, с. 60—68], Е. И. Стефановой [11, с. 129—137].

Сапропелево-гумусовый тип. I_1. Формация горючих сланцев лейаса западноевропейских стран. Формация занимает обширные области в странах Западной Европы. Сланценосные толщи лейаса в виде полос простираются на сотни километров в Англии, Франции, ФРГ, ГДР и других странах. Проявление сланценосности формации установлено и на территории Испании и Португалии (рис. 11).

В табл. 18 приводятся, по данным Л. Е. Шлаттера [1, с. 42—49], сведения о разведанности и размерах известных месторождений Западной Европы.

Сланценосная толща лейаса претерпела значительные изменения в структурном отношении под воздействием тектонических проявлений (складки, сбросы и пр.). Мощность ее изменяется от 10—20 до 300 м и более. Количество пластов сланцев на различных площа-

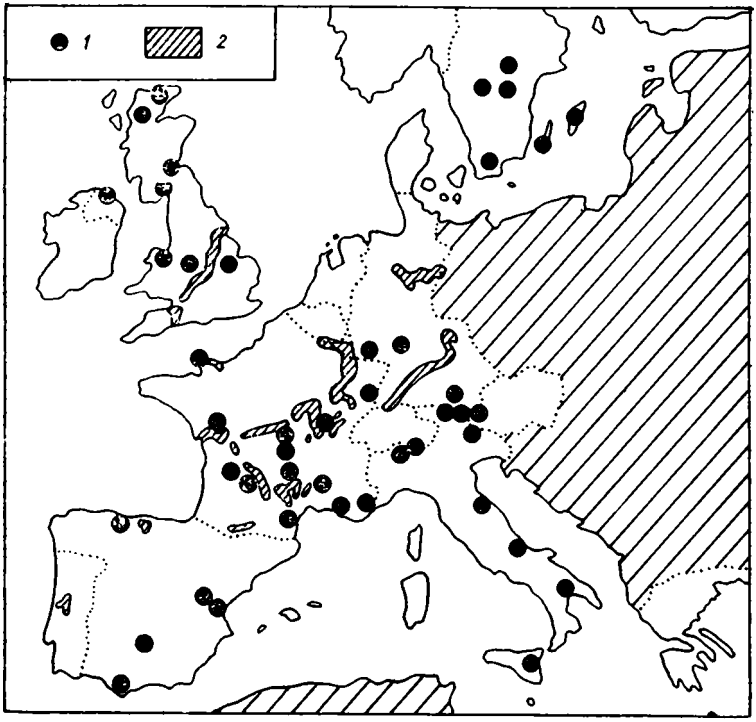


Рис. 11. Месторождения горючих сланцев Западной Европы. По Л. Е. Шлаттеру.

1 — залежи сланцев; *2* — отложения лейаса.

дях распространения непостоянно (1—15). Характерно частое переслаивание пластов или слоев сланцев с породами, слагающими толщу. В некоторых случаях совместно со сланцами залегают пласты угля. Во многих районах сланцы выходят на поверхность или залегают на небольших глубинах. Как по простиранию, так и по падению пласты сланцев не выдержанны. Сланценосная толща на отдельных площадях прослеживается на глубину 600 м и более. Мощность пластов и слоев сланцев 0,10—2, редко 4—5 м.

В странах Западной Европы насчитывается свыше 50 месторождений горючих сланцев. Некоторые из них в прошлом добывались и перерабатывались с целью получения топливных и химических продуктов.

Образование горючих сланцев лейаса в большинстве случаев происходило в морских условиях. ОВ сапропелевое или гумусово-сапропелевое. В сланцах нередко встречаются форменные углистые микрокомпоненты типа витринита, экзинита и фюзинита. Содержание ОВ и 10—20%. Теплота сгорания невысокая — 4186—8373 кДж/кг. Выход смолы 3—15%.

Горючие сланцы лейаса различных стран Западной Европы имеют много общих свойств как по условиям образования и залегания, так и составу и качеству. Ими сложены бассейны в Англии, Франции, Испании и в других странах. Сланцы лейаса — это резерв топливно-химической промышленности.

Прогнозных обобщающих данных по запасам сланцев Западной Европы нет.

Описание приведено по данным Ф. Джаффи, Г. В. Озерова, Е. И. Стефановой [11, с. 29—60], В. С. Файнберга [14], Л. Е. Шлаттера [1, с. 42—49].

Таблица 18. **Месторождения лейаса Западной Европы**

Страна, месторождение	Мощность, м	Объемная доля выхода смолы, %	Размеры	Фации
Австрия				
Бехентал-Сахранг	1—35	15	Незначительные	Морская
Бельгия и Люксембург	10—20	19	Небольшие	»
Швейцария	15	20	Неразведанные	»
ФРГ	5—8	12—16	Крупные	»
Испания				
Кантабрийские горы	30—50	—	Неразведанные	»
Ронда	—	—	»	»
Франция				
Помпон	—	10—15	Незначительные	»
Великобритания				
Бора	—	22	»	Переходная
Соммерсет	1—6	10	Неразведанные	Морская
Португалия				
Коимбра	Небольшая	Низкая	»	»

Сапропелевый, сапропелево-гумусовый тип. I_3. Формация верхнеюрских сланценосных отложений Волжского бассейна. Формация широко распространена в восточной части Русской платформы. Эти отложения в виде широкой прерывистой полосы протягиваются от Белого моря на севере до Каспийского на юге. В общей сложности их площадь свыше 350 тыс. км^2. На накопление и распределение верхнеюрских сланценосных отложений оказали влияние возникшие структурные элементы — синеклизы, куполовидные поднятия, впадины, осложненные более мелкими структурами. В результате на обширной территории возникли многочисленные разобщенные водоемы, в которых и происходило образование горючих сланцев.

Накопление ОВ происходило в морских условиях с меняющимся солевым и газовым режимом, с довольно частой сменой фаций и ритмов. Сланценосные отложения в основном представлены сапропелевыми глинами, в той или иной степени известковистыми, мергелями и горючими сланцами слабо- или сильноизвестковистыми. Состав отложений довольно однообразен, хотя на отдельных площадях несколько различается.

Сланценосные отложения в Волжском бассейне и Тимано-Печорской области имеют прерывистый характер с изменчивой мощностью (1—55 м, по данным Г. В. Явхута):

Месторождение	Мощность сланценосной свиты, м
Новосеменовское	45—55
Озинковское	48—50
Макаровское	25
Савельевское	18—19
Кашпирское	7—16
Ундорское	1,7—8,8
Буинское	1,2—8,7
Усольское	0,9—4,7

Пласты горючих сланцев залегают почти горизонтально. Количество пластов в разрезе полезной толщи непостоянно (1—5 и более, иногда 15—20 маломощных слоев). Мощность пластов сланцев различна (0,30—3, даже 5 м), на от-

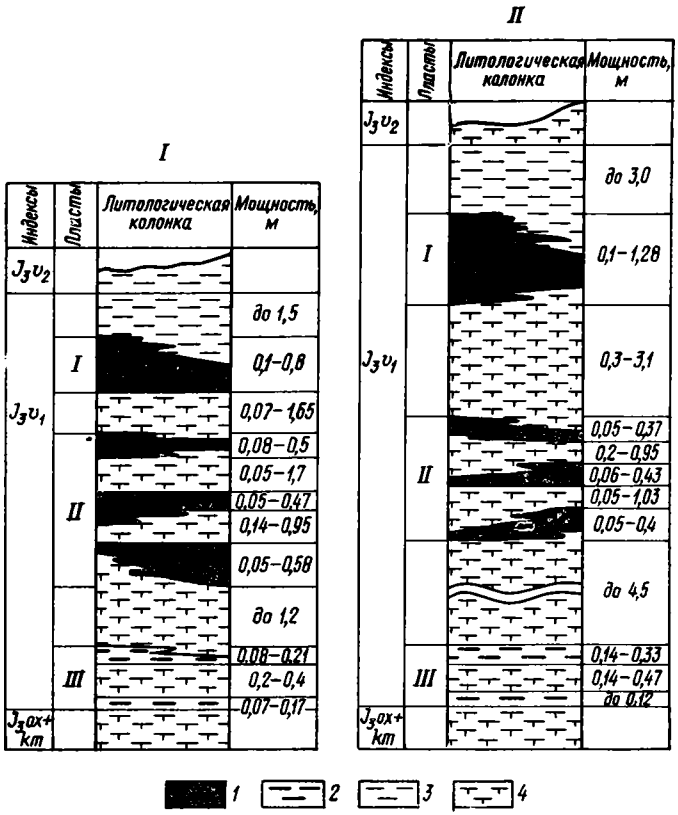


Рис. 12. Строение сланцевой свиты Кашпирского месторождения Волжского бассейна. По А. А. Молодчикову.

I и *II* — северная и южная части. *1* — горючий сланец; *2* — сапропелевая глина; *3* — глина; *4* — известковая глина.

дельных участках месторождения изменяется в широких пределах (рис. 12).

Горючие сланцы сланценосной толщи отличаются друг от друга по содержанию $CaCO_3$: сапропелевые слабоизвестковистые ($CaCO_3$ до 10%), сапропелевые известковистые ($CaCO_3$ до 25%), сильноизвестковистые ($CaCO_3$ свыше 25%). Сланцы всего бассейна высокосернистые, в среднем выше 3,0%. Качество сланцев нестабильно даже в пределах одного и того же месторождения (табл. 19).

Содержание ОВ в сланцах 20—30%. Элементарный состав ОВ (%): С — 56—79, Н — 6,5—10,9, О+N — 13—35, S — 1,2—11,8.

Волжский бассейн — самый перспективный в европейской части СССР для получения в больших количествах топливных и химических продуктов. Многие годы перерабатываются и сжигаются горючие сланцы Кашпирского месторождения. Открываются новые месторождения. Имеются все предпосылки для организации добычи и переработки сланцев данного бассейна в крупных масштабах.

Прогнозные запасы Волжского бассейна, по данным Д. Т. Кузнецова [13], сланцев 500 млрд. т, смолы 45 млрд. т.

Описание приведено по данным В. А. Котлукова [1, с. 25—35], Д. Т. Кузнецова [13, с. 53—66], Г. В. Явхута [4, с. 190—301], А. Ф. Добрянского [3, с. 58—124].

Таблица 19. **Результаты технического анализа горючих сланцев Волжского бассейна по данным Г. В. Явхута [4, с. 190—301]**

Месторождение, группа	W^a, %	A^c, %	V^r, %	$S_{общ}$, %	Теплота сгорания, кДж/кг (среднее)	Выход смолы на сланец, %
Новосеменовское	2,3—10,9 / 5,6	42,9—88,5 / 62,1	—	0,4—17,7 / 6,2	10 100	3,7—23,0
Туксайское	12,6—15,3	43,4—58,2	65,3—72,2	3,8—6,7	11 500	12,9
Чернозатонское	6,6—7,0	26—70	—	1—8,9	8 800	12,9—24,0
Озинковское	—	48,1—82,1 / 54	—	Ср. 4,5	9 300	5,2—14,5
Общесыртовское	—	49,1—70,8 / 60,5	—	2,4—4,7 / 3,6	9 600	9,0—17,1
Савельевское	—	68—78,5 / 74,6	—	Ср. 3,7	8 300	—
Кашпирское	1,9—4,9 / 2,8	45,4—68,8 / 59,3	64—98 / 86	0,9—5,1 / 3,1,	8 300	5,0—15,0
Ульяновская	5,0—9,3 / 6,6	36—72,7 / 60	—	1,5—6,2 / 3,0	10 200	3,9—17,8
Буинское	5,9—14,8 / 7,5	60—71 / 63,2	—	Ср. 7,3	7 300	—
Мордовская	—	24,8—83,5 / 49,3	—	0,3—12,7 / 6,0	12 500	3—21,0
Мантуровская	3,1—11,8	39—88	—	—	—	3,0—17,0
Кировская	4,8—16,7 / 11	62,7—77,2 / 71,5	—	0,2—3,8 / 2,3	7 200	4—9,5

Примечание. В знаменателе приведены средние значения.

Гумусовый тип. P_3. Формация менилитовых сланцев Карпат СССР. Формация распространена на обширной площади Карпат и прослеживается на территории Польши, Чехословакии, Венгрии и Румынии. Флишоидная формация геосинклинальных сланцевых образований имеет сложное тектоническое строение.

В геологическом строении Карпат принимают участие отложения перми, триаса, юры и мела. Менилитовая серия отложений палеоген-олигоценового возраста включает ряд серий и свит, представленных песчаниками, алевролитами, аргиллитами, реже конгломератами, гравелитами, мергелями и известняками. Среди пород менилитовой серии олигоцена залегают аргиллиты и частично алевролиты с повышенным процентом ОВ.

Сланцевая толща состоит из нижнеменилитовой, лопянецкой и верхнеменилитовой свит. Нижнеменилитовая свита сложена (снизу вверх) роговиками, битуминозными сланцами, аргиллитами с прослоями глауконитовых песчаников и маломощными прослоями доломитов и доломитизированных известняков. Мощность свиты 200—400 м. Средняя — лопянецкая — свита характеризуется чередованием известковистых аргиллитов с известковистыми песчаниками. Верхнеменилитовая свита состоит из битуми-

нозных сланцев (аргиллитов) с прослоями песчаников, алевролитов, мергелей и доломитов, вверху встречаются прослои туфов и туффитов (рис. 13).

На территории СССР практический интерес представляет нижненменилитовая свита, поскольку в слагающих ее породах содержится ОВ повышенной концентрации. Для менилитовых сланцев характерен их постепенный переход к аргиллитам и алевролитам. Линзовидные прослои сланцев не выдержаны по простиранию и падению. ОВ распределено неравномерно и составляет 15—20%, реже больше. Теплота сгорания сланцев 4200—7700 кДж/кг, редко выше. Выход смолы 3—6% на сланец. В табл. 20 приведена качественная характеристика менилитовых сланцев. В сланцах преобладает минеральная масса кремнеземистого состава — 70—85%. ОВ в виде тонкодисперсной массы заключено в кремнеземистой основе. Такая тесная связь ОВ и минеральной массы затрудняет их обогащение. А. И. Гинзбург [56] по составу минеральной и органической части менилитовых сланцев выделяет четыре разновидности: глинистый псевдовитринито-сорбосикстинитовый, глинистый сорбомикстинитовый, алевролито-глинистый витринито-сорбомикстинитовый, глинистый витринито-сорбомикстинитовый.

Наиболее детально изучены горючие сланцы Верхнесиневидного месторождения. Выход смолы в лабораторной реторте на сланец составил 4, на ОВ — 18,6%. Полупромышленные испытания проб сланца в опытном газогенераторе показали выход смолы около 1,0%.

Фракционный состав смолы полукоксования (%): перегоняется до 150° С — 9, 200° С — 24,5, 300° С — 60,5, 325° С — 66,0, 350° С — 75. Групповой состав смолы на сланец (%): фенолы + карбоновые кислоты — 8,7, азотистые основания — 1,2, парафины — 1,5, нейтральные кислородные соединения — 15. Минеральная часть сланцев относится к алюмосиликатному типу (%): SiO_2 — 50—64, Al_2O_3—7—13, Fe_2O_3—3—6, CaO — 0,3—15, MgO — 0,8—1,8, K_2O+Na_2O — 0,4—3. Минеральная (зольная) часть сланцев пригодна для производства многих строительных материалов. На основании данных петрографического и химического состава ОВ Л. А. Клейменова [1966 г.] считает, что органическая часть менилитовых сланцев имеет гумусовый характер и по степени метаморфизма находится в буроугольной стадии.

Запасы смолы, по данным В. Б. Порфирьева, 15—20 млрд. т, газа — $25\,865 \cdot 10^9$ м^3.

Описание приведено по данным А. И. Гинзбург [32, с. 141—153], В. М. Ефимова, В. А. Котлукова [32, с. 141—153], И. М. Озерова [1, с. 167—171], В. Б. Порфирьева [44, с. 206], А. А. Сахарова [46, с. 47—56].

Сапропелевый тип. P_1. Алевритоаргиллито-сланцевая формация Болтышской и Ротмистровской впадин Украины. Формация приурочена к впадинам, образованным в докембрийских кристаллических породах Украинского массива. Накопление сланценосных пород происходило в мелководных, прибрежно-морских и озерных условиях.

Болтышская впадина имеет замкнутую блюдцеобразную изометрическую форму. Диаметр впадины 20—25 км, глубина 400—500, в центре 550 м. Сланценосные породы имеют горизонтальное залегание в центре и пологое на бортах (рис. 14).

В сланценосной толще выделено пять горизонтов (табл. 21).

ОВ состоит из структурных и бесструктурных микрокомпонентов группы альгинита (коллоальгинита и талломоальгинита), витринита и микстинита. Имеются спорово-пыльцевые компоненты. В сланценосной толще ОВ распределено неравномерно и содержание его изменяется от 5—10 до 30—40%, особенно во II и III горизонтах. В пластах IV горизонта оно распределено равномерно (%):

Пласт	По месторождению	По технологическим пробам
А	33,1	33,9
Б	34,9	34.3
В	33,0	34,0
Г	31,0	21.0

Элементарный состав ОВ (%): С — 62—72, Н — 9—10, О — 15—21, N — 1,2—2,3, $S_{орг}$ — 1—2. Выход летучих веществ — 75—85%. Смола малосернистая, но содержит до 4,6% азотистых оснований и до 8,4% парафинов. В табл. 22 приведена характеристика смолы.

Выход бензиновой фракции 18,5, дизельной — 38, тяжелой — 40—44,3%. Минеральная часть в основном алюмосиликатная. Содержание Al_2O_3 в отдельных пластах составляет 27%. Она пригодна для производства аглопорита, ячеистого бетона, минеральной ваты и каменного литья.

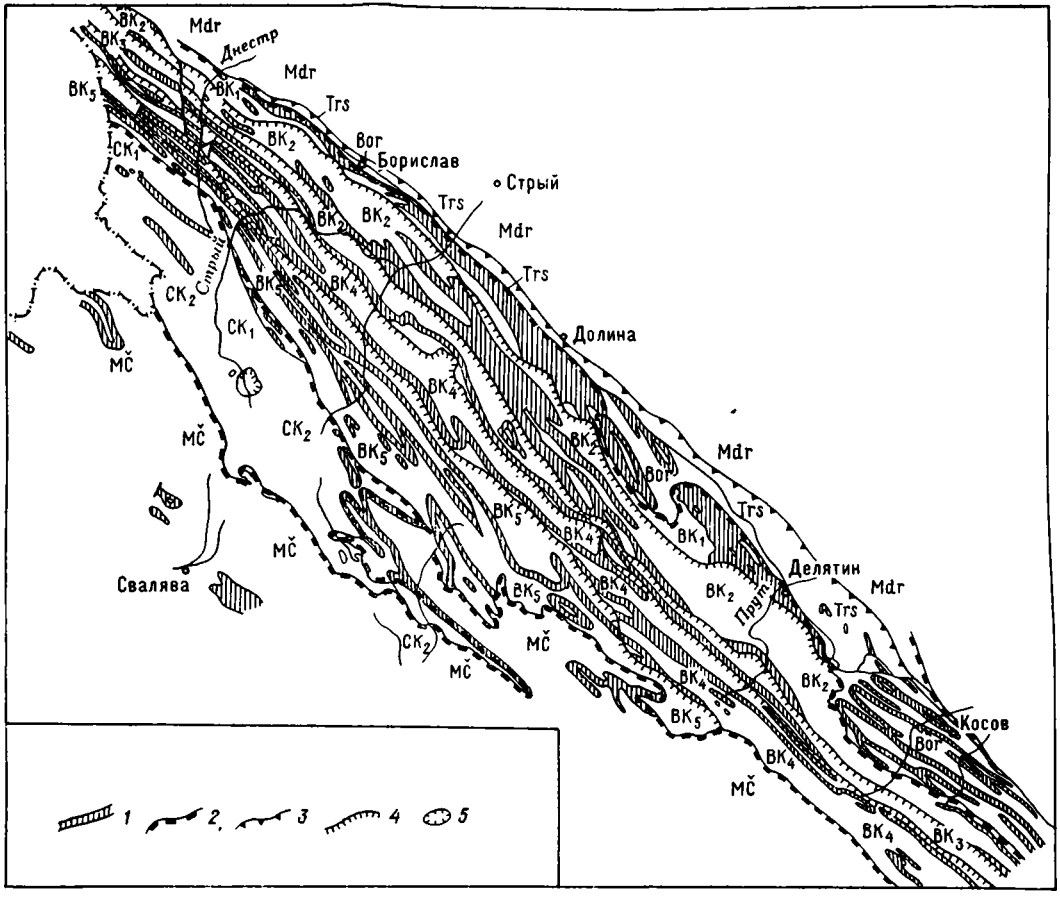


Рис. 13. Обзорная карта выходов менилитовых сланцев в пределах Западных Карпат Украинской ССР. По В. Б. Порфирьеву.

1 — полосы выходов менилитовых сланцев; *2* — линии надвиговых зон; *3* — линии надвигов подзон; *4* — линии надвигов скиб; *5* — тектонические останцы. Внутренняя зона Предкарпатского прогиба, подзоны: Mdr — Мадрычская, Trs — Трускавецкая, Вог — Бориславская. Зона Береговых Карпат, скибы: $ВК_1$ — Береговая, $ВК_2$ — Оровская, $ВК_3$ — Скольская, $ВК_4$ — Парашки—Татарова, $ВК_5$ — Земляники. Центральные Карпаты: $СК_1$ — Субсилезская подзона; $СК_2$ — Силезская подзона; МС — Магурско-Черногорская зона.

Таблица 20. **Качественная характеристика менилитовых сланцев центральной части Верхнесиневидного месторождения [4, с. 153]**

Место отбора пробы	Номер пробы	На сухое вещество, %										Теплота сгорания, кДж/кг	Выход смолы на рабочее топливо, %
		A	$S_{общ}$	$S_{пир}$	CO_2	ОВ	С	Н	$N_{орг}$	$S_{орг}$	О		
Скв. 6	282	78,0	2,8	1,9	0,5	21,32	14,5	1,5	0,4	1,1	3,8	1480	3,5
»	284	75,0	2,8	1,8	0,6	22,53	15,7	1,9	0,4	1,0	3,5	1600	3,7
»	290	81,0	2,7	2,0	0,4	18,35	11,5	1,7	0,4	0,6	4,1	1200	3,1
»	290	82,5	2,4	1,8	2,3	15,52	10,5	0,9	0,4	0,3	3,1	1040	2,2
»	293	74,0	3,2	2,1	Нет данных	24,94	17,2	1,9	0,6	1,0	4,2	1830	4,2
Обн. 1	541	76,9	1,5	0,5	То же	21,79	14,0	1,9	0,4	0,5	6,0	1330	—
»	542	75,8	1,5	0,4	»	23,45	14,9	1,9	0,4	0,3	5,5	1417	—
»	543	76,2	1,5	0,4	»	22,15	14,0	2,0	0,4	0,5	5,7	1358	—

Таблица 21. **Характеристика пород Украины**

Горизонт	Преобладающие породы	Мощность, м	Общая характеристика
V	Глины и алевриты слабо битуминизированные	60—75	Слагающие горизонт породы слабо битуминизированы и не имеют промышленного значения
IV	Горючие сланцы массивной текстуры	30—40	Горючий сланец представлен несколькими пластами высокого качества: зольность 50—70%, теплота сгорания 10 467—16 747 кДж/кг, выход смолы 12—20%
III	Мергелистые глины	35—60	Горючий сланец встречается спорадически в виде отдельных маломощных прослоев с неустойчивым распространением по площади и низкого качества: зольность более 75%, теплота сгорания 4200—5400 кДж/кг
II	Горючие сланцы тонколистоватые	10—25	Горизонт включает несколько пластов горючего сланца повышенного качества: зольность 60—70%, теплота сгорания 8370—146 500 кДж/кг, выход смолы 10—18%
I	Сланцы слабо битуминизированные, листоватые	110—115	Сланцы горизонта практического интереса не представляют вследствие низкого качества: зольность более 75%, теплота сгорания 4200—5400 кДж/кг, выход смолы до 60%. Слои сланцев повышенного качества в толще встречаются спорадически

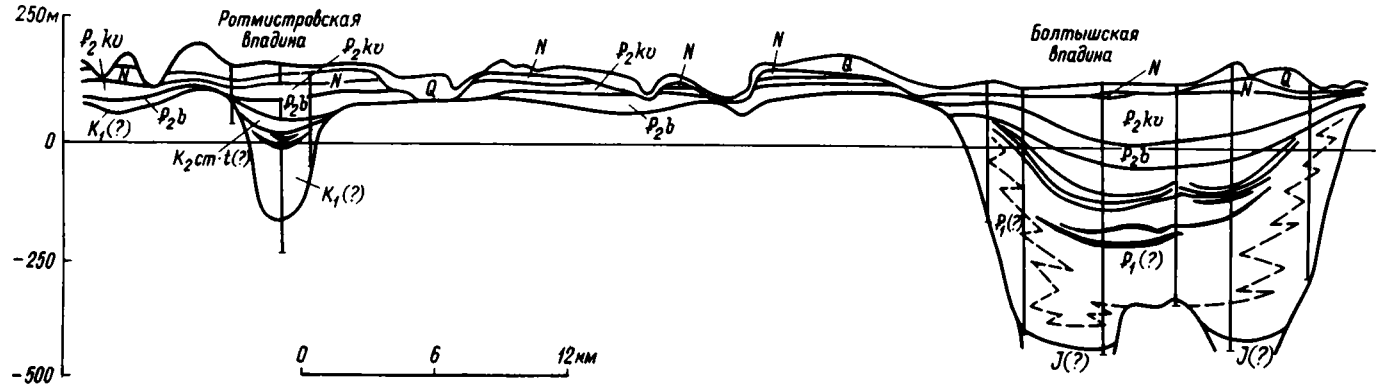


Рис. 14. Схематический геологический разрез через Болтышскую и Ротмистровскую впадины Украины. По Ю. Б. Бассу, В. К. Грабовскому, В. И. Конивцу.

Таблица 22. **Характеристика смолы сланцев Болтышского месторождения**

Показатели	IV горизонт				III горизонт	II горизонт
Выход смолы на реторте, %:						
лабораторной	12,6	15,0	14,0	10,7	11,7	13,4
вращающейся	10,4	11,9	12,0	9,6	9,2	10,4
Плотность	0,8912	0,8897	0,8823	0,8915	0,8805	0,9005
Условная вязкость при 50° С, градус	1,30	1,27	1,28	1,32	1,32	1,36
Молекулярная масса	241	222	224	232	238	221
Температура, °С:						
вспышки в открытом тигле	28	29	26	39	39	27
застывания	19,5	19,5	18,5	18,5	18,5	0
Содержание, %:						
фенолы	2,3	2,3	1,6	1,5	1,6	1,9
основания	2,4	2,6	2,8	3,8	3,8	4,6
карбоновые кислоты	—	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
нейтральные кислородные соединения	30,0	35,0	—	—	—	35,0
парафины	8,4	5,1	7,6	3,3	3,7	0,8
Элементарный состав, %:						
C	83,7	83,8	83,6	83,4	83,7	83,0
H	11,7	11,6	11,5	11,5	11,5	11,0
S	1,3	1,3	1,3	1,1	0,9	0,9
N	0,9	1,1	0,9	1,1	1,2	1,3
O (по разности)	2,4	2,2	2,7	2,9	2,7	3,8
Теплота сгорания, кДж/кг	43 250	43 330	43 540	42 620	43 210	41 950

Болтышское месторождение горючих сланцев является перспективным, поскольку качество сланцев высокое. При комплексном использовании органической и минеральной частей сланцев добыча их, как показали расчеты, окажется экономически оправданной.

Запасы сланцев с выходом смолы более 10% составляют 3,5 млрд. т. При теплоте сгорания 6280 кДж/кг запасы увеличатся в несколько раз.

Описание приведено по данным Ю. Б. Басс [46, с. 41—47], А. И. Галака [4, с. 341—354], А. И. Гинзбург [32, с. 141—153], В. И. Конивец [32, с. 70—78], В. А. Котлукова [4, с. 341—354], И. М. Озерова [45, с. 316], А. А. Сахаровой [46, с. 47—55].

Сапропелево-гумусовый тип. P_2. Формация сланценосных гринриверских отложений США. Формация распространена на площади 65 тыс. км². Сланценакопление происходило в структурных формах, возникших в Скалистых горах в результате ларамийского орогенеза. Образование сводово-глыбовых поднятий привело к возникновению межгорных впадин. В эоценовую эпоху возникают такие крупные бассейны, как Грин-Ривер и Вошейки (штат Вайоминг), Пайсенс-Крик (штат Колорадо), Уинта (штат Юта) и др. (рис. 15). Мощные сланценосные отложения на протяжении 10 млн. лет заполняли межгорные впадины.

Образование и накопление ОВ в бассейнах происходило в озерных мелководных условиях. В процессе накопления осадков изменялись палеогеографические и структурно-тектонические условия. Образованное ранее крупное оз. Уинта площадью 54 000 км² под влия-

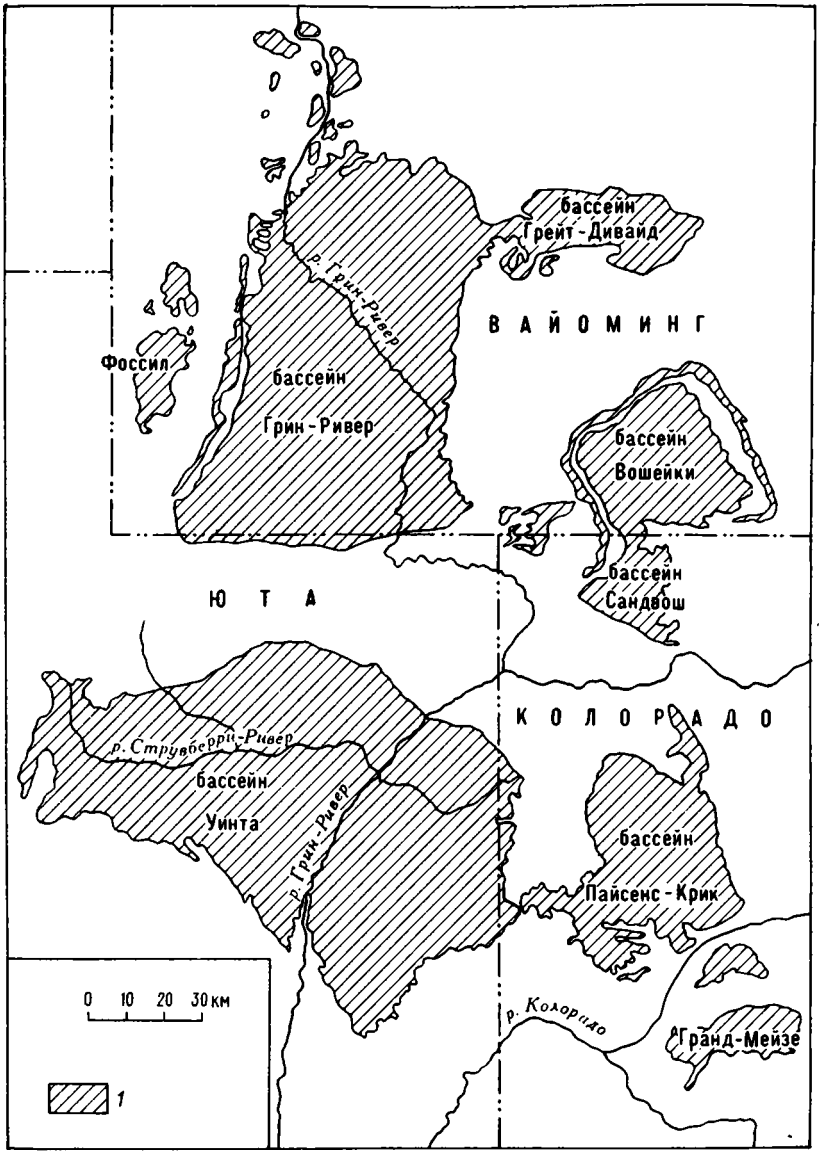


Рис. 15. Размещение формации Грин-Ривер, США. По Г. Ю. Диннину.
1 — формация Грин-Ривер.

нием регрессии моря распалось на серию более мелких бассейнов, в свою очередь в последних возникли острова, которые также разделили озера на серию мелких озер. В отдельные периоды эоцена усиливалась деятельность рек. В результате приноса огромного количества речного материала озерные отложения перемешивались с речными, происходило наслоение речных на озерные и наоборот.

Изменение климата приводило к интенсивному развитию латеритного выветривания слагающих район пород, что сопровождалось разложением минералов и последующим выносом конечных продуктов латерита в озерные водоемы. Изменялся солевой режим озерных вод, что создавало благоприятные условия для образования нахколита, даусонита, галита и других минералов натрия и алюминия и вкрапления их в сланцах.

Трансгрессия моря приводила к увеличению размеров ранее возникших озерных водоемов и повторному слиянию мелких озер. Таким образом, смена фаций, наложение различных генетических сланценосных химических комплексов обусловило сложное строение продуктивной толщи, ее размеры в отдельных озерах и неравномерное распределение ОВ как по горизонтали, так и по вертикали разреза в эоцене.

Кероген сланца Грин-Ривер состоит из двух разновидностей: желтого бесструктурного вещества, встречающегося в виде длинных тонких слоев или жилок, параллельных плоскости напластования, и коричневого или коричнево-черного вещества зернистой массы, беспорядочно заключенной в неорганическом материале. Кероген содержит 10% битума и 90% нерастворимого в органических растворителях материала.

Битум содержит C_{15}—C_{16}—C_{18}—C_{19}—C_{20}-цепные изопреновые углеводороды.

Кероген имеет неароматическую структуру, содержит дикарбоновые кислоты. Пиролиз при 500° С показал выход (%): смолы — 66, газа — 9, воды — 5 и углекислого остатка — 20. Кероген является макромолекулярным веществом, имеет линейно-конденсированное, насыщенное цикличное строение с гетероатомами кислорода, азота и серы. Элементарный состав (%): С — 80,5, Н — 10,3, N — 2,4, О — 5,8 и S — 0,1.

Содержание ОВ в горючих сланцах 8—50%. Распределение его неравномерно, выделяются пласты, богатые и бедные керогеном. Пласты сланцев не выдержанны, количество их в разрезе отдельных бассейнов достигает 70, а мощность варьирует от нескольких метров до 600 м и более. Выход смолы 3—15%. Теплота сгорания 3340—8373, в среднем 6280 кДж/кг.

Из всех известных месторождений горючих сланцев мира формация Грин-Ривер занимает особое место как по масштабам проявления сланцевого пласта и запасам смолы, так и по содержанию сопутствующих компонентов. В бассейне Пайсенс-Крик залегает нахколито-даусонитовый горизонт мощностью до 191 м. В этой зоне по предварительной оценке запасы следующие (млн. т): даусонита — 24 500, глинозема — 8500, нахколита — 27 000, кальцинированной соды — 17 000. В этом бассейне на значительной площади распространен самый богатый пласт горючих сланцев формации — пласт Мехогени. Мощность его превышает 610 м, выход смолы в среднем 11,4%.

Экономические расчеты показали, что на основе переработки горючих сланцев Грин-Ривер можно получить бензин, дизельное топливо, жидкий газ, аммиак, серу и многие другие продукты.

Запасы смолы в сланцах Грин-Ривер определены в 1200 млрд. т.

Описание приведено по данным Дж. Р. Дини [1, с. 77—78], Г. Ю. Диннина [1, с. 172—180], Д. К. Дункана [1, с. 36—39], П. М. Дугана [1, с. 348—357], У. Ч. Кульбертсона [1, с. 69—73], В. Б. Кэшна [1, с. 74—76], Г. В. Озерова, Е. И. Стефановой [11, с. 98—118], В. С. Файнберга [14].

Сапропелевый тип. P_2. Формация сузакских горючих сланцев Узбекистана и Таджикистана. Формация широко распространена на территории Узбекистана и Таджикистана, в предгорной части Гиссарского хребта.

Отложения эоцена представлены глинами, мергелями и горючими сланцами. Образование горючих сланцев Байсунского месторождения Узбекистана происходило в неглубоком морском бассейне. Месторождение расположено на северо-западном крыле Байсунской синклинали. На территории Таджикистана горючие сланцы сузакского слоя приурочены к Южно-Таджикской депрессии. В Узбекистане на Байсунском месторождении среди глин залегает пласт сланца мощностью 0,40—0,72 м, а в Таджикистане в аналогичных геологических условиях залегают два пласта горючих сланцев мощностью 1 и 2 м. Горючие сланцы близки по составу (%): влага — 1,6—11,2, зола — 62—89, сера — 4—5,9. Теплота сгорания 6280—13 400 кДж/кг. Выход смолы на сланец — 4—11,8%. Выход летучих веществ — 26—36%.

Основная масса ОВ сланцев состоит из смеси желтого и коричневого коллоидного вещества. По-видимому, желтое вещество сапропелево-гелевого, а ко-

ричневое — гумусового происхождения. Кроме того, содержатся кутикула, смоляные тельца, зерна пирита и округлые известковистые раковины. Образование горючих сланцев происходило в неглубоком морском бассейне, богатом водорослями, моллюсками, планктоном, рыбами.

Характерная особенность горючих сланцев сузакских слоев — повышенное содержание многих ценных химических элементов, например ванадия, молибдена, рения, вольфрама и др.

Сланцы распространены на обширной площади. При комплексной разработке сланцы данной формации могут оказаться прочной базой получения химических продуктов и извлечения ценных металлов, а на основе минеральной части — производства аглопорита, каменных литых изделий и др. Сланцесмоляные продукты пригодны для получения гербицидов и других продуктов для нужд сельского хозяйства. В зоне выветривания сланцы заметно беднее.

Запасы сланцев в пределах изученных площадей по Узбекистану 1392 млн. т, по Таджикистану — 2902 млн. т.

Описание приведено по данным Р. А. Волхонской [45], Н. Л. Николаева [4], Р. Н. Нишанходжаева [35, с. 24].

Сапропелево-гумусовый тип. P —N. Формация фушуньских угольно-сланценосных отложений Китая. Фушуньская формация угольно-сланценосных отложений КНР распространена на обширной площади на северо-востоке, в провинции Ляонин, и на юге, в провинции Гуандун и в Гуанси-Чжуанском автономном районе. В этих провинциях известны промышленные угольно-сланцевые месторождения, образованные в палеоген-неогеновый период, близкие по составу и качеству.

Палеоген-неогеновые отложения Фушунь представлены алевролитами, мергелями, пластами угля и горючих сланцев. Общая мощность кайнозойских отложений — около 1400 м. Залегают они в тектонической впадине непосредственно на гнейсах. Впадина и залегающие в ней породы имеют широтное простирание и пологое падение (25—40°). Полезная толща углей и сланцев нарушена многочисленными сбросами меридионального направления.

Отложения продуктивной толщи разделяются на две свиты: нижнюю и верхнюю (рис. 16). Нижняя свита, мощностью 240 м, залегает непосредственно на гнейсах и туфах с двумя пластами угля. Верхняя свита сложена основным пластом угля мощностью 10—200 м, горизонтом горючих сланцев мощностью 70—180 м и толщей известковистых мергелей мощностью 150—900 м. Средняя мощность сланцевой толщи 135 м.

Качество горючих сланцев (%): влага — 5, зола — 78—80, содержание ОВ в сланцах — 25; теплота сгорания 3300—6200 кДж/кг. Выход смолы 3—7, реже 10—15%. Смола высокопарафинистая (15—17% парафинов). Выход газа на 1 т сланца 42 м³. Химический состав золы (%): SiO_2 — 62,3, Al_2O_3 — 26,7, Fe_2O_3 — 6 1, CaO — 0,10, MgO — 1,8.

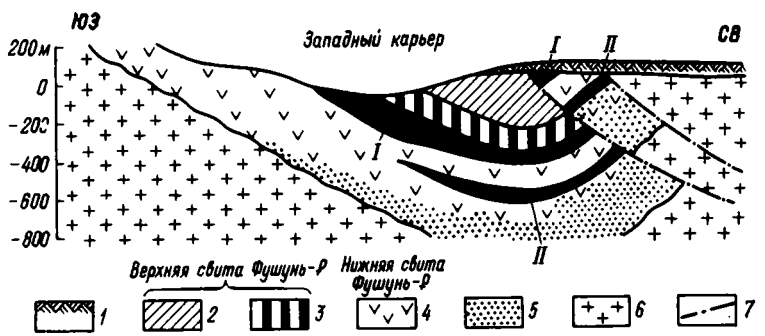


Рис. 16. Геологический разрез месторождения Фушунь, КНР. По И. И. Баженову.

1 — четвертичные отложения; верхняя свита Фушунь палеогена: *2* — зеленые аргиллиты и мергель, *3* — горючие сланцы; нижняя свита Фушунь палеогена: *4* — туфы и базальты; *5* — меловые отложения; *6* — гранито-гнейсы; *7* — нарушения *I* и *II* — верхний и нижний пласты угля.

В нижней части сланценосной толщи имеется много остатков растений.

В сланцах Фушуньского месторождения содержатся такие химические элементы, как торий — 0,2%, ниобий и тантал — 0,1—0,3%, молибден и вольфрам.

В течение многих лет сланцы подвергают термической переработке, в результате чего получают бензин, парафин, дизельное топливо и другие продукты. Близкие по составу сланцы известны также и в провинции Гуандун, Гуанси-Чжуанском автономном районе и др.

Прогнозные запасы горючих сланцев Фушуньского месторождения оцениваются в 360 млрд. т.

Описание приведено по данным Д. Т. Кузнецова [13, с. 135—138], А. К. Матвеева, Мэн Сюнь-цзе [47, с. 6], Г. В. Озерова, Е. И. Стефановой [11, с. 69—71].

«Торфяная» стадия водорослевых сланцев. Кайнозой. Q_4. СССР, Австралия. В современных лагунных (Австралия) и озерных (СССР) условиях происходит процесс образования балхашита и коронгита — представителей начальной стадии зарождения водорослевого керогена. Образование балхашита и коронгита происходит в водной среде с различным pH в аэробных условиях.

По данным Р. Ф. Кейна и других исследователей, образование коронгита и, вероятно, балхашита протекает в такой последовательности: сначала бактерии в аэробных условиях преобразуют водорослевый материал, что сопровождается возникновением масляной пленки на поверхности воды; скапливается желеобразная масса липидного состава, ОВ сгущается, полимеризуется и твердеет с превращением в плотную массу, одновременно уменьшается ненасыщенность, увеличиваются инертность и нерастворимость.

Накопление ОВ происходит в современных условиях вокруг лагун и высоких бассейнов озер в виде корочек, лепешко-, линзовидных и прочих форм скоплений темно-коричневого, серого, темно-серого до черного цвета, с запахом горелого жира при горении. В качестве примесей содержатся песчаные зерна, ветки и небольшие обломки раковин устриц. Р. Ф. Кейн отмечает, что молодой коронгит имеет ячеистое строение, но по мере старения вся масса характеризуется липидной природой матрицы слипшихся плюсок.

Элементарный состав (%): коронгита — С — 77,5, Н — 11,0, N+S — 0,60—1,5; балхашита — С — 73,76, Н — 10,61, О — 13,74, N+S — 1,59.

Р. Ф. Кейн указывает, что коронгит и балхашит представляют собой раннюю стадию образования водорослевого керогена и что их основными характерными чертами являются избыточная, липидная природа матрицы водорослевых плюсок и высокая химическая ненасыщенность.

Образования коронгита и балхашита самостоятельного промышленного значения не имеют. Они прежде всего представляют интерес для научных исследований.

Описание приведено по данным М. Д. Залесского [2], Р. Ф. Кейна [1, с. 193—201].

ФАЦИИ И РИТМЫ СЛАНЦЕНАКОПЛЕНИЯ

Сланценосные толщи большинства известных месторождений имеют сложное строение за счет повторяющихся в разрезе определенных комплексов пород, образованных в процессе седиментации осадков. В период сланценакопления имело место проявление макро- и микроритмов, что послужило частому переслаиванию слоев или прослоев горючего сланца и вмещающих пород. Количество слоев сланцев в разрезе некоторых сланценосных толщ нередко достигает нескольких десятков, они имеют различный состав и мощность. В одном случае слои расположены сближенно, в другом — разобщены межпластовыми прослоями пород различной мощности. Прослои так называемых пустых пород нередко содержат ОВ в повышенном количестве, иногда в виде незначительной примеси или оно почти полностью отсутствует. Пласты, слои и прослои сланцев непрерывно прослеживаются на всей площади сланценосной толщи или имеют прерывистое строение и изменчивые мощность и состав.

Характер проявления седиментационных ритмов зависит от многих факторов, прежде всего от физико-географических и, особенно, тектонических условий района сланценакопления. Выявление общей закономерности формирования полезной толщи представляет практический интерес для перспективной

оценки запасов сланцев определенного месторождения или бассейна.

Фация грин-риверских сланценосных отложений в эпоху эоцена образовалась в течение 4 млн. лет по Г. Ю. Диннину, 6 млн. лет по У. Ч. Кульбертсону [1], на площади около 14 млн. км² в четырех структурных бассейнах (Грин-Ривер, Уинта, Пайсенс-Крик и Вошейки) в озерных условиях. В общей сложности грин-риверские отложения по мощности колеблются от нескольких метров до 1 км. Они сложены осадками озерного и речного происхождения, среди которых выделяются и соленосные свиты.

В бассейне Грин-Ривер штата Вайоминг, по данным У. Ч. Кульбертсона, в образовании сланценосной формации довольно отчетливо выделяются четыре макроритма (снизу вверх):

1) люменский язык мощностью 0—125 м состоит из горючих сланцев, песчаников, глинистых сланцев, лигнита и моллюскового известняка. Площадь распространения 5—6 тыс. км²;
2) типтонский сланцевый блок мощностью до 100 м представлен горючим сланцем, туфом и известняком. Площадь распространения 24 тыс. км². Мощность пластов горючего сланца, расположенных в различных частях разреза толщи, 4,6—14 м. Выход смолы 5,7—11% на сланец. Прогнозные запасы сланцевой смолы оценены в 19 500 млн. т;
3) блок пика Уилкинса сложен мергелем, горючими сланцами, известняками, аргиллитами, песчаниками, туфами и участками троной. Мощность отложений блока от нескольких метров до 400 м. Горючие сланцы образуют свыше 70 пластов мощностью от нескольких сантиметров до 2,5 м. Выход смолы на сланец 4—19%. Потенциальные запасы смолы пика Уилкинса 19 400 млн. т. В продуктивной толще блока пика Уилкинса залегает более 35 пластов троны мощностью от нескольких сантиметров до 12 м. Площадь распространения троны 3600 км². Глубина залегания пластов 120—1100 м. В сланценосных отложениях блока пика Уилкинса присутствуют уран (до 0,15% U_3O_8) и фосфор (до 2,2% P_2O_5);
4) в верхней части формации Грин-Ривер залегают отложения сланцевого блока Лейни, которые распространены на обширной площади. Общая мощность 500 м. Отложения блока представлены горючими сланцами, преимущественно в нижней части блока, песчаниками, аргиллитами, а также пропластками мергеля и известняка. Выход смолы 4—10%. Ориентировочные запасы сланцевой смолы блока Лейни 1600 млн. т.

Осадконакопление формации Грин-Ривер в штате Вайоминг, по данным У. Ч. Кульбертсона, происходило в медленно погружающемся бассейне. Режим озер не был устойчивым: до начала типтонского периода озеро было пресноводным, затем водный режим изменился и пресноводная фация сменилась соленосной, происходило накопление троны (Na_2Co_3, $NaHCO_3 \cdot 2H_2O$). В эпоху пика Уилкинса происходило отложение пластов преимущественно речного осадконакопления.

В западной части Прибалтийского бассейна в кукерском горизонте среднего ордовика А. С. Рыымусокс [48] на основании фациальных различий отложений выделил четыре пачки (снизу вверх):

1) харьюская, состоящая из синевато- и зеленовато-серых, реже коричневатых тонкослоистых комковатых известняков с тонкими прослоями кукерсита;
2) кивиыльская, с мощными прослоями горючих сланцев, чередующимися с коричневато-серыми комковатыми известняками;
3) хумалаская, представленная тонким переслаиванием маломощных прослоев кукерсита и мергелистых синевато-серых и коричнево-серых известняков;
4) савалаская, состоящая из коричнево-серого комковатого известняка с многочисленными ходами червей и с редкими тонкими прослоями горючих сланцев.

Строение промышленного пласта горючих сланцев кукрузеского горизонта сложное. Довольно частое чередование слоев сланца и прослоев известняков различной мощности свидетельствует о частой смене ритмов сланценакопления. Процесс сланценакопления был длительным. Северо-Эстонский прогиб за время своего существования не оставался неподвижным. С. С. Бауков считает, что биологическая продуктивность в среднеордовикском море была большой. В сланценосной толще мощностью 20 м на площади 100 тыс. км² захоронено $C_{орг}$ в количестве не менее 200 млрд. т, в том числе 40—50 млрд. т сконцентри-

рование в слоях и примерно 150 млрд. т рассеяно в карбонатных породах [32, с. 17—39].

В сланценосных осадках кукерского горизонта среднего ордовика Прибалтийского бассейна довольно отчетливо выявляется ритмичность. Накопление ОВ происходило в течение длительного времени с ритмично чередующимися слоями горючего сланца и прослоев карбонатных пород, что придало сланценосной толще сложное строение (рис. 17): в ней насчитывается 28—30 слоев горючего сланца различной мощности и различного содержания ОВ.

С. С. Бауков приводит следующий обобщенный разрез промышленного пласта центральной площади Эстонского месторождения горючих сланцев Прибалтийского бассейна [4, с. 60]:

— слой горючего сланца, отчетливо разделяемый на два слоя: нижний и верхний A_1, коричневого и желтовато-бурого цвета, легкий, обычно без включений известняка, с фауной. Мощность в среднем 0,12 т. Слой A иногда отделен от слоя A' прослоем сапропелевого известняка мощностью 0,01—0,05 м. Слой A' представлен известково-глинистым сланцем зеленовато-бурого цвета, легко раскалывающимся на плитки, изредка с включениями сапропелевого известняка. Мощность в среднем 0,10 м;

— слой A—B — известняк сапропелевый («синяя плита»), глинистый. Мощность в среднем 0,13 м. Слой B — горючий сланец красновато-коричневого цвета, легкий, при ударе легко раскалывается на плитки, содержит остатки мелкой фауны и включения известняка. В сланце и известняке встречаются скопления кристаллов пирита. Мощность 0,40—0,70, в среднем 0,52 м;

— известняк B—C желтовато-серый, сапропелевый, плотный. Мощность в среднем 0,10 м. Слой C — горючий сланец желтовато-бурого цвета, плотный. В верхней части слоя наблюдаются проблематические ходы червей, заполненные известняком, в средней — сланец часто содержит включения и прослои известняка мощностью до 0,10 м, в нижней — сланец легкий, с обломками раковин, мощность в среднем 0,40 м;

— известняк C—D — «двойная плита», желтовато-серый, полукристаллический, без примеси ОВ. В нижней части слоя наблюдаются ходы червей, заполненные известковым и сапропелевым материалом. Мощность в среднем 0,25 м. Слой

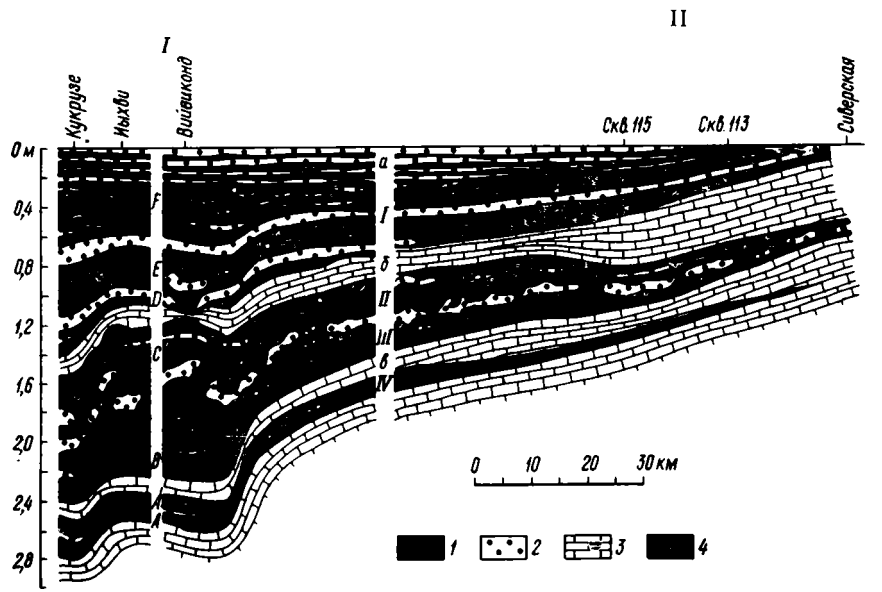


Рис. 17. Строение промышленной пачки горючих сланцев Прибалтийского бассейна (широтный профиль). По С. С. Баукову.

1 — горючий сланец-кукерсит; *2* — известняк с включениями кукерсита; *3* — известняк; *4* — сланец с конкрециями. *I* и *II* — Эстонское и Ленинградское месторождения.

D — горючий сланец зеленовато-бурого цвета, глинистый, с редкими включениями известняка. Мощность в среднем 0,10 м;

— известняк *D—E* желтовато-серый, сапропелевый. Мощность до 0,12 м. Слой *E* — горючий сланец желтовато-коричневого цвета. В верхней части слоя содержит включения известняка до 10—15% с вкраплениями пирита, в нижней — включений мало и сланец легкий. Мощность в среднем 0,5 м;

— известняк *E—F* чаще всего слит в один слой. Это желтовато-серый сапропелевый известняк. Мощность 0,10 м. Слой *F* — горючий сланец зеленовато-бурый, глинистый. В верхней части слоя сланец содержит обильные крупные и мелкие включения и прослои сапропелевого известняка (слой F_2), в средней включений меньше, в нижней почти совсем нет (слой F_1). Встречается фауна. Мощность 0,40—0,75 м.

Общая средняя мощность промышленной пачки 3,0—3,5 м. Суммарная мощность прослоев сланца 2,2—2,5 м.

На 1,1—1,2 м выше промышленной пачки залегают еще два прослоя сланца *G* и *H*. Из-за удаленности от промышленной пачки они в настоящее время практически не разрабатываются:

— слой *G* — горючий сланец красновато-коричневый, плотный, с включениями известняка и остатков фауны. Мощность 0,24 м;

— известняк *G—H* зеленовато-серый, скрытокристаллический, с мелкими включениями сапропелита. Мощность 0,25—0,30 м. Слой *H* — горючий сланец коричневато-бурый, плотный. В верхней части содержит небольшие включения известняка. Мощность 0,16 м.

Сланценосные отложения известны в южной предгорной части Главного Кавказского хребта. Кроме пяти известных месторождений горючих сланцев проявление сланценосности установлено в различных районах Грузии. Сланценосные толщи мезозойско-кайнозойского возраста, состоящие из песчано-глинистых, известняковых и мергелистых пород, содержащих горючие сланцы, несогласно залегают на размытых сильно дислоцированных древних образованиях фундамента. В. И. Конивец отмечает, что мезозойско-кайнозойский комплекс (юрские, меловые, палеогеновые и неогеновые отложения), выполняющий Закавказскую межгорную впадину, располагается между Большим и Малым Кавказскими хребтами в зоне интенсивных тектонических прогибаний [4, 49].

Из всех известных месторождений горючих сланцев наиболее изученным является Джварское. Сланценосные отложения юрско-мелового комплекса Джварского месторождения несогласно залегают в антиклинальной складке северо-восточного простирания на древних образованиях фундамента. В геологическом строении района месторождения, по данным К. Н. Паффенгольца [49], участвуют породы юрского осадочного комплекса (снизу вверх):

1) свита порфиритовая — порфириты, туфы, туфобрекчии, туфогенные песчаники, слюдистые песчаники и глинистые сланцы с прослоями туфогенных песчаников. Мощность 180—250 м;
2) сланценосная свита — листовые глинистые сланцы с прослоями туфов, аркозовых песчаников и горючих сланцев. Сланцы содержат глинисто-известковые конкреции. Мощность 130 м;
3) угленосная свита — песчаники, алевролиты и аргиллиты с прослоями и пластами углей;
4) пестроцветная толща — песчаники, глинистые породы и мергели.

Горючие сланцы тонкослоистые, черного цвета. В пелитовой основной массе содержатся ОВ, глинистые минералы и мелкие чешуйки биотита, мусковита, а также обломки кварца, полевого шпата. Площадь распространения сланцев — около 10 км². В. И. Конивец [4, с. 384] в сланцевой толще выделил три горизонта (табл. 23).

Палеоген-неогеновая сланценосная толща месторождения Мэсот Таиланда приурочена к прогибу межгорной впадины [11]. Залегание толщи полого-волнистое, лишь только на отдельных участках разреза падение ее достигает 30—40°. Породы свиты Мэсот, мощностью свыше 400 м, несогласно лежат на отложениях свиты Корат (триас — юра). В нижней части сланцевой толщи среди пресноводных известняков, песчаников и конгломератов залегают пласты угля, а в верхней совместно с известняками и песчаниками встречаются линзы и пропластки гипса и горючих сланцев.

Горючие сланцы распространены во многих районах Восточного Забайкалья. Образование сланценосных толщ связано с верхнемезозойским континентальным комплексом отложений. Угленосные

Таблица 23. **Количество и мощности пластов горючих сланцев Джварского месторождения [4, с. 384]**

Продуктивный горизонт	Мощность горизонта, м	Количество пластов	Мощность пластов, м	Суммарная мощность пласта, м	Расстояние между горизонтами, м	Состав породных прослоев
Верхний	10,20	5	0,70—2,45	7,55	17,40	Туфы
Средний	8,80	8	0,40—1,10	5,55	—	Туфы и песчаники
Нижний	14,85	9	0,30—1,15	6,40	30,00	Туфы и алевролиты
Итого	33,85	22	—	19,50	—	—

и сланценосные отложения верхнего мезозоя имеют преимущественно песчано-алевритовый и алеврито-аргиллитовый состав [4, с. 513—544]. В основании континентальной толщи средней юры залегают отложения калганского горизонта нижней юры, затем следуют среднеюрские угленосные отложения тургайского горизонта, на которых залегает верхнеюрский комплекс пород, а на последних согласно лежат нижнемеловые осадки. Мощность разреза верхнемезозойских осадков в различных районах 1050—3000 м.

Верхнемезозойские отложения накапливались в многочисленных ранее образованных впадинах мезозойской складчатости. В остаточных впадинах восточных окраин территории Восточного Забайкалья происходило накопление триасовых, нижне- и среднеюрских морских осадков, а в образованных межгорных троговых впадинах — мезозойских континентальных отложений, в том числе горючих сланцев и угля. Сланценосные отложения позднеюрского и раннемелового возраста залегают либо в виде самостоятельных толщ, либо внутри угленосных толщ, либо со стороны лежачего бока пластов угля.

Накопление угля и сланцев происходило в крупных пресноводных озерных водоемах в условиях умеренного теплого климата. Толща сланцев содержит остатки и отпечатки растений, ганоидных рыб, насекомых, пелеципод, гастропод, костей динозавров, остатки зеленовато-синих водорослей. Изменение климатических и тектонических условий в ранне-среднеюрский период вызвало обмеление водных бассейнов и способствовало накоплению в них гумусового материала. Наличие в разрезе полезной толщи пластов угля и пластов и линз горючих сланцев свидетельствует об изменении режима отложений.

ОВ горючих сланцев, как отмечает В. И. Конивец [4], представлено остатками мельчайших зеленовато-синих планктонных водорослей и незначительным количеством мелкого растительного детрита. Глинистая часть сланцев имеет каолиновый состав. Содержатся обломки кварца, полевого шпата, чешуйки слюд, хлорит, серицит.

Из числа известных многочисленных месторождений сланцев и угля позднемезозойского возраста Восточного Забайкалья наиболее типичным примером может служить Гусиноозерское месторождение. Описание приводится по данным В. И. Конивца [4, с. 524—527].

Гусиноозерская впадина является составной частью Гусиноозерско-Удинской депрессии. Во впадине на размытой поверхности сильно дислоцированных пород фундамента залегают континентальные угленосные отложения верхнего мезозоя. Синклинальная структура впадины осложнена вторичными тектоническими нарушениями, что привело к образованию в угленосной толще ряда мелких антиклиналей и синклиналей. Горючие сланцы залегают в нижней части разреза угленосной нижнехолбольджинской подсвиты. Пласты сланцев в виде небольших залежей залегают в кровле угольных пластов или подстилают пласты угля. Кроме того, наблюдается переслаивание тонких прослойков сланца и аргиллита. Мощность пластов сланца 0,12—2 м. Содержание ОВ в сланце

около 40%. Сланцы сернистые ($S_{общ}$ 6,1%). Гуминовых кислот содержится около 6%.

Образование горючих сланцев нижнего и среднего триаса Омолонского месторождения СССР происходило на обширной площади Омолонского массива Колымской платформы. По данным Г. Г. Попова [4], сланценосные отложения выполняли ранее образованные впадины различных размеров в Омолонском массиве и представлены преимущественно известково-глинистыми породами. Общая мощность сланценосных отложений нижнего триаса 20—100, среднего 10—140, верхнего 10—140 м.

Литологический состав разреза нижнетриасовых отложений не выдержан. Типичным является переслаивание темных глинистых известняков с темно-серыми или черными тонколистовыми глинистыми сланцами. На отдельных участках отложения состоят из светло- или темно-серых известняков с прослоями глинистых и известково-глинистых сланцев или светло-серых известняков и серых горючих битуминозных сланцев.

В отложениях среднего триаса Омолонского месторождения преимущественным распространением пользуются серые и темно-серые глинистые и песчано-глинистые сланцы, содержащие конкреции и линзы известняково-глинистого состава. В. М. Заводовский [4], изучавший триасовые отложения в среднем течении р. Левый Кедон, приводит следующий разрез (сверху вниз):

	Мощность м
1. Горючие сланцы, сильно разрушенные, с растительным детритом	2,2
2. Горючие сланцы темно-серые	0,4
3. Горючие сланцы серые, с фауной пелеципод и включениями фиброферрита	1,6
4. Горючие сланцы темно-серые, плотные, с фауной и включениями фиброферрита	1,5
5. Горючие сланцы буровато-серые	0,5
6. Горючие сланцы темно-серые и черные	1,0
7. Переслаивание буровато-черных и буровато-серых горючих сланцев и пиритизированных глинистых сланцев	1,1
8. Горючие сланцы темно-серые с линзами известняков	0,4
9. Горючие сланцы темно-серые	0,4
10. Горючие сланцы темно-серые с редкими конкрециями, с прослойками пиритизированных глинистых сланцев мощностью 0,01 м	1,4
11. Горючие сланцы темно-серые с большим количеством конкреций, с фауной пелеципод и аммонитов	1,7
12. Горючие сланцы темно- и светло-серые с редкими конкрециями, с фауной аммонитов и пелеципод	1,4
13. Горючие сланцы темно-серые с прослойками пиритизированных глинистых сланцев	0,6
14. Горючие сланцы с фауной пелеципод	0,55
15. Горючие сланцы темно-серые с фауной пелеципод	0,15
16. Горючие сланцы темно-серые с прослойками пиритизированных глинистых сланцев	3,1
17. Тонкое переслаивание пахучих известняков и буровато-серых горючих сланцев	3,1
18. Известняки светло-серые, пахучие, переслаивающиеся с единичными тонкими (0,01—0,02 м) прослойками горючих сланцев	2,8
19. Переслаивание темно-серых известняков с тонкими (0,02—0,03 м) прослойками горючих сланцев	3,3

По сведениям Г. Г. Попова, сланцы Омолонского месторождения состоят из коллоидальной массы желтовато-бурого цвета сапропелевого характера и в виде примеси содержат гумусовое вещество. Установлено присутствие сильно разло-

жившихся тел желтовато-бурого цвета и светлых буровато-желтых мелких пятен, сходных с водорослями. Гумусовое вещество присутствует в незначительном количестве. В студенистой массе водорослей обнаруживаются сильно разложившиеся желтовато-бурые тела, напоминающие по структуре водоросли. Распределение ОВ неравномерно. Участками преобладает гумусовый материал, участками — сапропелевый. Выход смолы на сланец невысокий — 2—4%, на горючую массу — 14—16%. Сланцы высокозольные — 78—87%.

Запасы сланцев не подсчитаны. Выходы сланцев и углей обнаружены во многих пунктах верхнего течения рек Левый и Правый Кедон, что, по данным Г. Г. Попова, указывает на широкое распространение горючих сланцев в этом районе.

АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ МАССЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

В природе непрерывно совершается материальный обмен между сушей и океаном. С суши приносится огромное количество дезинтегрированного грубо- и мелкообломочного материала, мельчайших взвешенных частиц и растворенных в воде веществ. Основная его масса накапливалась в условиях моря в шельфовой области. С удалением от источников выноса терригенного материала в морских отложениях происходило изменение осадков. В зависимости от физико-химических свойств поступающего материала изменяются и гидрохимические условия бассейнов, особенно в их прибрежной части или лагунах и впадинах. Эти особенности в известной мере и оказывали влияние на концентрацию осадков и их состав. Интенсивность развития гидрохимических процессов находится в прямой зависимости от концентрации водородных ионов в водной среде. Одни химические компоненты активно вступают и сравнительно быстро осаждаются в кислой среде, другие — в нейтральной, третьи — в щелочной.

Л. Б. Рухин [43] считал, что в пресноводных континентальных бассейнах в условиях кислой среды (pH<7) преимущественно образуется каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$), в условиях щелочной среды (pH>7) — монтмориллонит [$(Mg, Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5\,SiO_2 \cdot nH_2O$], а в водах с нейтральной реакцией — глинистые минералы группы гидрослюд. Минералогический и химический состав терригенного материала при равных условиях осадконакопления, несомненно, оказывал влияние на распределение ОВ в зарождающейся сланценосной толще. Накопление последнего связано с осадками преимущественно глинистого, карбонатного и песчанистого состава. Одни из них, например глины, обладают повышенной адсорбционной способностью, другие как бы пассивны.

Сланценосные толщи со значительным или преимущественным преобладанием глинистого вещества богаче ОВ, чем, например, алеврито-песчаные сланцы. Глинистые частицы, обладающие повышенной адсорбционной способностью, будучи привнесены в тонкодисперсном состоянии, более интенсивно воздействовали на осаждение ОВ. Процесс осаждения ОВ в этих условиях происходил тем интенсивнее, чем больше поступало в водную среду глинистого вещества. В месторождениях горючих сланцев с преимущественным содержанием глинистого вещества кероген равномернее распределен на всей площади распространения сланцевой толщи и залежи. Глинистое вещество как бы оказывало каталитическое воздействие на диагенез исходного ОВ.

В горючих сланцах, представленных минеральной частью глинистого состава, содержание ОВ 20—40% и даже больше. Этим они отличаются от других литологических разновидностей сланцев по составу минеральной части. В отдельных случаях с этим типом сланцев связана повышенная концентрация урана.

Горючие сланцы в некоторых районах мира генетически тесно связаны с образованием карбонатных пород. Более чистые разновидности карбонатных пород если и содержат ОВ, то в весьма небольших количествах. Обычно более повышенные концентрации керогена приурочены к глинистым известнякам. В этом случае, по-видимому, глинистое, а не карбонатное вещество играло основную адсорбционную роль в формировании сланценосной толщи.

Более высокая концентрация ОВ в горючих сланцах Прибалтийского бас-

сейна приходится на карбонатные породы повышенного содержания обломочного, глинистого материала. С. С. Бауков отмечает, что с повышением ОВ в слое заметно увеличивается и количество обломочного — глинистого материала. «Органическое вещество в осадке связано с обломочным (алевритовым) и глинистым материалом больше, чем с карбонатным органогенным» [32, с. 36].

Наглядным примером преимущественной приуроченности ОВ горючих сланцев к глинистым породам может служить Болтышское месторождение Украины [4; 32; 45]. Горизонт I (нижний) сложен аркозовыми песчаниками, алевритами, мергелями, доломитами, кремнистыми и глинистыми известняками, горючими сланцами. Глинистые слои сланцев встречаются в верхней части горизонта. Они переслаиваются прослоями глинистых известняков. Зольность сланцев высокая — более 75%. Теплота сгорания 4180—6280 кДж/кг. Выход смолы 6%.

Горючие сланцы II горизонта переслаиваются с глинистыми сланцами и глинисто-карбонатными прослоями. Содержание ОВ 30—40%. Теплота сгорания 8370—146 530 кДж/кг. Выход смолы 10—18%.

Горючие сланцы III горизонта встречаются спорадически в виде маломощных прослоев среди глинисто-карбонатной толщи. Качество сланцев невысокое. Теплота сгорания 4180—6280 кДж/кг.

Горючие сланцы IV горизонта залегают среди битуминозных глин, аргиллитов, аргиллитоподобных глин. Содержание ОВ 30—50%. Теплота сгорания 12 560—16 740 кДж/кг. Выход смолы 12—20%.

В отложениях алеврито-песчаного и карбонатного состава ОВ распределено неравномерно и содержание его незначительно (10—15, реже 20—25%). По-видимому, отложения данного состава обладали недостаточной сорбционной способностью. Количество ОВ заметно возрастает в прослоях сланцевой толщи преимущественно глинистого состава.

Наибольшее количество ОВ, по данным И. М. Озерова [45], приходится на пласты сланцев Болтышского месторождения, в которых преобладает глинистое вещество, но с увеличением в составе минеральной части сланцев количества окиси кальция и окиси магния содержание керогена заметно уменьшается (табл. 24). Аналогичная картина наблюдается и на других месторождениях, где чем выше процент глинистого материала, тем интенсивнее концентрация ОВ.

Таблица 24. **Зависимость концентрации ОВ от массовой доли глинистого материала Болтышского месторождения**

Пласты горючих сланцев IV горизонта	Мощность пласта, м	Теплота сгорания сланцев, кДж/кг	Массовая доля ОВ, %	Массовая доля основных химических компонентов, %	
				$SiO_2+Al_2O_3$	$CaO+MgO$
А	2,9	10006	33,9	88,5	1,7
Б	4,6	10090	34,3	87,9	2,4
В	3,0	10873	34,0	73,1	11,8
Г	3,0	7867	21,0	63,8	21,1

Некоторые исследователи считают, что ОВ горючих сланцев в момент накопления в осадке вступает в химическое соединение с минеральной массой. В качестве примера приводятся менилитовые сланцы украинских Карпат, для которых характерна тонкая диспергированность ОВ в массе глинисто-карбонатных и кремнистых образований.

Петрографические исследования ОВ не подтверждают активного химического взаимодействия как со стороны керогена, так и минеральных компонентов сланцев. Даже в условиях накопления менилитовых сланцев при наличии геля вулканического кремнезема образовывалась лишь тонкодисперсная смесь кремнистого и органического веществ. Гель

кремнезема в этих условиях, по-видимому, выполняет роль механического осадителя — сорбента. В результате возникает тонкодисперсная смесь ОВ и минеральной составляющей в основном глинисто-кремнеземистого состава.

Горючий сланец с физико-химической точки зрения представляет собой плотную твердую смесь основных двух компонентов (ОВ и терригенного материала), из них минеральная масса выполняла роль инертного связующего. Как глинистая, так и карбонатная составляющая часть сланцев заполняет все пространство между микрокомпонентами керогена, проникая во все их поры, без каких-либо признаков активного химического взаимодействия. В керогене, отмечает А. И. Гинзбург, принимают участие водоросли, как сохранившие свою структуру (талломоальгинит), так и превратившиеся в бесструктурное вещество (коллоальгинит). Она установила, что в горючем сланце коллоальгинит встречается в виде дисперсной смеси с глинистым веществом или с пелитоморфным карбонатом, создавая основу горючего сланца [36]. В менилитовых сланцах основная масса представляет собой тонкодисперсную смесь кремнистого и органического веществ с примесью гидрослюды и карбонатов.

В ОВ горючих сланцев большинства месторождений глинистое вещество преобладает над остальными минеральными компонентами. Лишь только в собственно карбонатных (прибалтийские) или преимущественно карбонатных горючих сланцах содержание глинистого вещества в керогене занимает сугубо подчиненное положение.

Глинистое вещество по своим структурно-механическим свойствам по сравнению с минеральной массой карбонатного и, особенно, силикатного состава более активно механически воздействовало на ускорение концентрации ОВ в осадке.

ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Накопление сланценосных отложений происходило в различных геотектонических условиях. В одних случаях накопление ОВ было тесно связано с геосинклинальным режимом, в других — с типично платформенными или промежуточными условиями.

Геосинклинальный тип месторождений горючих сланцев встречается в геосинклинальных областях палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Возникшие складчатые структуры при наличии благоприятных палеогеографических условий способствовали сланцеобразованию. Важную роль в накоплении ОВ в этих условиях играли межгорные впадины и краевые прогибы. Для геосинклинального типа месторождений характерны обширная (100 тыс. км^2 и более) площадь распространения сланценосных толщ, значительная (600—1000 м) мощность полезных толщ, большое количество пластов горючих сланцев, нередко выдержанных по разрезу, наличие равномерно распределенного ОВ во всех породах толщи с некоторым увеличением или уменьшением концентрации его в отдельных горизонтах, преимущественно пластовая форма залежей. Запасы горючих сланцев составляют десятки и сотни миллиардов тонн.

В качестве примера геосинклинального типа может служить месторождение Мидлэндской долины. Накопление осадочного комплекса пород, содержащих ОВ горючих сланцев, в Мидлэндской долине Шотландии тесно связано с развитием тектонических структур и вулканической деятельностью в палеозойскую эру. Формирование сланценосной толщи, по данным Д. Т. Гринсмита, совпадало с максимальным оседанием слагающих район пород [1]. Сланценосная толща шотландской свиты в нижней части разреза представлена глинистым известняком, а в верхней — известковистым песчаником визейского яруса нижнего карбона, содержащими пласты горючих сланцев.

С проявлением каледонской складчатости произошло образование сравнительно узкой тектонической зоны, носящей название Мидлэндской долины. Возникшая тектоническая впадина неоднократно обновлялась, что придавало ей каналообразную форму. Процесс накопления осадков был длительным, происходил в Мидлэндской долине в условиях дельтовых впадин и озерных участков и сопровождался изменением состава фаций. Сложное взаимодействие между озерной седиментацией и седиментацией

основных дистальных и второстепенных проксимальных дельт, отмечает Д. Т. Гринсмит, является основной причиной ритмичности пластов.

Длительные тектонические проявления и изменения палеогеографических условий осадконакопления в Мидлэндской долине, в том числе и горючих сланцев, оказывали влияние на довольно частую смену в разрезе толщ осадков морского и озерного происхождения различного петрографического состава. По данным Д. Т. Гринсмита, формирование сланценосных отложений в Мидлэндской впадине происходило в придельтовом озере в такой последовательности: сокращение территории озер и высыхание с образованием испаряющихся озер, в которых происходило отложение известково-магниевых илов; частичное восстановление режима озер за счет притока пресной воды, в результате чего создавались благоприятные условия для накопления водорослей и бактериального разложения; полное восстановление преддельтовых озер.

С периодом образования глинистого известняка совпало проявление интенсивной вулканической деятельности базальтовых лав в Мидлэндской долине, особенно в западной ее части. Поток лавы разделил долину на две части: бассейн Эршир (на западе) и бассейн Эдинбург (на востоке), связанные между собой узкими проливами, и в каждом из бассейнов установился свой режим проявления осадконакопления. Бассейн Эршир был доступен морским водам, а Эдинбург имел ограниченный доступ. Мощность сланценосной толщи в бассейне Эршир 400, в Эдинбурге — 800, в Вест-Лотиан, в непосредственной близости к Эдинбургу, 1800 м.

В сланценосной толще имеется девять основных горизонтов, в каждом из которых залегает до пяти сланцевых пластов мощностью 0,2—6 м. Максимальная мощность пластов приходится на центральную зону бассейна Эдинбург. Для пластов горючих сланцев наиболее характерны тонкая слоистость, изобилие водорослевых остатков и остатков высших растений. Фауна представлена остракодами, плеченогими брахиоподами, пластинчатожаберными и рыбами. Наличие в пластах сланцев брекчий, возникших в результате растрескивания ила и высыхания, позволяет считать, что образование сланцев происходило в мелководье в условиях полусухого климата.

Платформенный тип месторождений горючих сланцев приурочен к мелководным областям распространения древних и эпипалеозойских платформ. Сланценакопление в большинстве случаев происходило в мелководном морском бассейне в условиях сравнительно спокойного платформенного геотектонического режима во впадинах, прогибах, а в отдельных районах — в поднятиях и сводах платформенных структур. ОВ сапропелево-гумусового или гумусово-сапропелевого состава накапливалось в открытых или полузакрытых бассейнах нормальной солености и нормального газового режима в карбонатных, глинистых или карбонатно-глинистых илах. В отдельные геологические эпохи, например в поздней юре, накопление ОВ захватывало обширные площади. Развитие колебательных движений малой амплитуды приводило к проявлению ритмичности осадконакопления. Кроме того, вследствие неравномерности поднятия отдельных частей платформ возникали обособленные площади сланценакопления с определенным гидрохимическим режимом.

Форма залегания горючих сланцев пластовая, пластообразная и линзовидная. Залегание пластов горизонтальное или пологое. Глубина залегания сланценосных горизонтов от нескольких десятков метров до 1—1,5 км и более. Мощность сланценосных толщ от нескольких метров до 1 км. Количество пластов в разрезе сланцевой толщи 3—20 и больше. Промышленное значение чаще всего имеют значительно меньшее количество пластов (3—5, реже больше). В некоторых горизонтах насчитывается до 100 маломощных слоев горючих сланцев. Сближенное расположение их не исключает возможности промышленного использования всей сланценосной толщи или валовую выемку ее части. Мощность пластов сланцев от 10—40 см до 1—3 м, значительно реже 5—8 м. Во многих случаях пласты сланцев выдержанны по мощности.

Строение сланценосной толщи — от простого до сложного, с многочисленными межпластовыми прослоями пород (песчаники, глинистые сланцы, известняки, мергели), в той или иной степени содержащих ОВ. Качество сланцев в разрезе толщи различное. В некоторых месторождениях нижние пласты богаче ОВ, чем лежащие выше. Пласты сланцев выдержанны по мощности и

качеству с тенденцией постепенного изменения этих показателей к периферии залежи или бассейна.

В разрезе толщи отдельных месторождений содержатся пласты угля. Теплота сгорания сланцев 6280—10 467, редко 16747—18 850 кДж/кг. Выход смолы 10—20, значительно реже 25—30%. Запасы сланцев — от нескольких миллионов до десятков и даже сотен миллиардов тонн в крупных сланценосных бассейнах. В сланценосных толщах некоторых месторождений наблюдаются проявление дизъюнктивных нарушений, интенсивные размывы и карстообразование.

При наличии в горючих сланцах того или иного месторождения данного типа сопутствующих ценных компонентов, например урана, значительно повышается их промышленная значимость. Химический состав минеральной части горючих сланцев разнообразен — карбонатный, алюмосиликатный и алюмосиликатно-карбонатный, что позволяет рассчитывать на максимальное использование зольных отходов в производстве разнообразных строительных материалов.

Общесыртовский сланценосный район Волжского бассейна объединяет значительную группу месторождений горючих сланцев Саратовской, Оренбургской, Куйбышевской и других областей РСФСР [4]. Нижняя свита нижневолжского яруса верхней юры, содержащая 6—12 и более пластов горючих сланцев, залегает трансгрессивно на отложениях средней юры. Пласты залегают почти горизонтально. Форма пластовая и линзовидная. В разрезе пласт сланца нередко состоит из нескольких пачек, разделенных прослоями сапропелевых глин. В каждой из пачек залегают по 2—3 пласта и более, мощностью 0,10—2,5 м. Пласты прерывистого строения. Площадь отдельных месторождений 20—30 км^2. Зольность 60--80%. Выход летучих веществ 10—30%; сланцы сернистые ($S_{общ}$ 0,3—3,7%). Теплота сгорания 4180—14 500 кДж/кг и более. Элементарный состав ОВ (%): С — 60—80, Н — 7—8,0. Выход смолы 9—18%, реже больше.

В сланцах преобладает сапропелевое вещество желтого цвета, образующее скопления линзовидной и удлиненной формы. Присутствует гумусовый материал красновато-бурого цвета, смешанный с глинистой тонкодисперсной массой. В зависимости от содержания тех или иных исходных компонентов ОВ изменяется и качество горючего сланца.

На Чернозатонском месторождении приуральской группы Волжского бассейна Г. В. Явхута [4, с. 289—292] выделяет две разновидности сланцев: сланцы коричневого цвета (нижняя пачка) и сланцы серого цвета (верхняя пачка), которые значительно различаются по составу и качеству (табл. 25).

Общесыртовский район является одним из перспективных сланценосных районов Волжского бассейна.

На территории Иркутского угольного бассейна известно немало месторождений горючих сланцев, приуроченных к юрским угленосным отложениям [4]. Бассейн расположен в пределах южной части Среднесибирского плоскогорья. Угле- и сланценосные отложения юры несогласно залегают на дислоцированных и размытых породах фундамента.

В пределах бассейна среди юрского комплекса осадочных образований выделено три свиты: заларинская (J_1), мощностью 30—150 м, состоит из конгломе-

Таблица 25. **Качественная характеристика горючего сланца Чернозатонского месторождения [4]**

Разновидности сланцев	Массовая доля, %				Теплота сгорания сланца, кДж/кг	Выход смолы на сланец, %	Состав ОВ, %			
	W^a	A^c	CO_2	$S_{общ}$			С	Н	S	N+O
Сланец коричневый (нижняя пачка)	6,4	32,04	10,1	7,4	19 680	24,6	66,49	7,02	8,44	18,1
Сланец серый (верхняя пачка)	4,7	56,40	8,1	8,2	12 140	14,03	62,29	6,88	5,44	25,39

ратов и эффузивов и относится к фации горного руслового аллювия; черемховская (J_1—J_2), мощностью до 300 м, представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, углями и сланцами, которые соответствуют аллювиальным фациям; присаянская (J_2), состоит из песчаников, аргиллитов, гравелитов и угля.

Юрская формация приурочена к Присаянскому прогибу, который является частью крупного Канско-Ачинского прогиба Сибирской платформы. В разрезе ее наблюдается чередование аллювиальных, пролювиальных и болотных отложений. Горючие сланцы входят в состав угленосной толщи, состоящей из богхедовых и сапропелевых углей, углистых и сапропелевых сланцев. Пласты и прослои сланцев залегают преимущественно в средней части угленосной толщи самостоятельно или внутри пластов угля. Мощность продуктивных пачек 15—20 м мощность прослоев и пластов горючих сланцев в пачках 0,10—0,60, реже 1,0—1,5 м.

Горючие сланцы Иркутского бассейна являются полиаморфными, это смешанный сапропелево-гумусовый тип, содержащий включения растительного детрита и типично сапропелевого материала. В продуктивной толще Алюйского месторождения Ю. П. Деевым выделены чисто сапропелевые разности, сапропелево-гумусовые и гумусовые образования. Основная масса сланцев состоит из уплотненного скопления сплюснутых очень мелких комочков от бледно-желтой до бурой окраски с высокой степенью ослизнения вещества. Гумусовый материал представлен мелкими комочками бурых коллоидальных сгустков, обтекаемых флюидальной основной массой сапропелевого вещества породы. Элементарный состав ОВ (%): С —72—74, Н —7,9—8,6. Выход летучих —62,5, выход смолы на сланец—4,5—11,5%. Зольность—около 60%.

Промежуточный тип месторождений горючих сланцев образовался в переходных условиях —от геосинклинальной области к континентальным платформам. Характерными особенностями данного типа является огромная площадь распространения сланценосных отложений, изменчивость литологического состава продуктивной толщи, наличие значительного количества маломощных пластов и прослоев горючих сланцев, непостоянство их мощности и невыдержанность по площади. Мощность сланцевой толщи от 10—55 м и более. Количество пластов и прослоев 3—50 и более, мощностью обычно 0,10—0,70 м, за редким исключением больше. Отдельные пласты или прослои сланцев по простиранию или падению замещаются вмещающими породами.

Состав горючих сланцев в пределах одного и того же бассейна и месторождения различный: карбонатные, кремнисто-битуминозные, известковисто-глинистые, известковисто-кремнистые. Содержание ОВ 10—15, очень редко 20—25%. Кероген образует мелкие включения, тонкие прожилки, концентрации линзовидной формы и т. д. ОВ в толще распределено неравномерно. В большинстве случаев сланцы пиритизированны.

ОВ сапропелево-гумусового и гумусово-сапропелевого состава. Элементарный состав (%): С —63—73, Н —7—10, S —0,3—2, О —10—15 и N —2—8. Теплота сгорания 4186—8373 кДж/кг. Выход смолы 3—10%. Содержание фенолов в смоле некоторых месторождений 7—10%.

Горючие сланцы франского яруса среднего девона Южного Приуралья (доманиковые отложения) приурочены к переходной зоне — от Русской платформы к Уральской складчатой зоне [4]. Доманиковые отложения представлены переслаивающимися известняками, известково-глинистыми и горючими сланцами, мергелями и кремнями, в различной степени содержащими ОВ. В районах Ухтинской складки (Коми АССР) мощность доманиковой сланценосной толщи 47,7 м. В толще насчитывается 248 прослоев осадочных пород, в том числе 163 пласта и пропластка горючих сланцев. Последние тонкоплитчатые, кремнистые, известково-кремнистые и известковисто-глинистые. Мощность прослоев сланцев 0,03—0,72 м. Наибольшее количество ОВ содержится в черных сланцах, меньше в темно-коричневых, наименьшее — в светлых.

ФОРМА ЗАЛЕЖЕЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Возникшие в определенные геологические периоды региональные и локальные структуры горных пород под воздействием тектонических или иных проявле-

ний оказывали влияние на форму и размеры сланценосных отложений. На возникновение определенной формы залежей горючих сланцев влияла также физико-географическая среда определенного периода. Характерными типами залежей горючих сланцев являются пластообразный, линзообразный, мульдообразный, кальдеровидный и др. Сланцы встречаются в виде пластов, слоев, прослоев, выдержанны в залегании с изменчивой мощностью по простиранию и падению. Пласты сланцев расположены сближенно или отделены друг от друга прослоями пустых пород. ОВ равномерно или неравномерно с четкими границами с вмещающими породами или с постепенными переходами распределено в отложениях всей толщи.

Сланценосные толщи, а также залегающие в них залежи в одном случае без резкого изменения в строении и состава распространены на значительной площади, в другом имеют прерывистое строение, претерпели тектонические нарушения и спокойно залегают без видимых признаков смещения. В некоторых залежах, особенно залегающих в известняках, доломитах или переходных между ними разновидностях пород, наблюдается проявление карста.

Пластообразный тип залежей горючих сланцев, имеющих горизонтальное или пологое залегание. Залежи представлены одним или несколькими пластами или слоями. Одни из пластов сланцев выдержанны по мощности и прослеживаются без каких-либо признаков изменения, другие имеют прерывистое строение или подвергнуты тектоническим нарушениям.

Айювинское месторождение верхнеюрских горючих сланцев РСФСР приурочено к пологой синеклизе. Залегание сланценосной толщи почти горизонтальное (рис. 18). Горючие сланцы не имеют резких контактов с вмещающими их породами — мергелями и глинами. Общая мощность сланценосной свиты — 19 м. Пласты горючих сланцев хорошо выдержанны по мощности (0,6—7,0 м) на всей площади распространения. Разрез сланценосной толщи по р. Айюве, по данным В. В. Богданова [4]:

	Мощность, м
Горючий сланец	0,03
Зеленый мергель	0,90
Горючий сланец, IV пласт	0,85
Зеленый мергель	1,2
Горючий сланец, III пласт	0,90
Глина темная, мергелистая	1,2
Горючий сланец, II пласт	0,95
Глина темно-серая	1,50
Горючий сланец, I пласт с прослоями глины	7,0

В Прибалтийском бассейне сланценосные толщи диктионемового сланца пакерортского горизонта нижнего ордовика и горючих сланцев кукерского горизонта среднего ордовика повторяют рельеф кристаллического фундамента. Основной структурной формой является моноклинальное залегание палеозойских осадочных пород с падением слоев на юг и юго-восток 1,5—3 м на 1 км. Промышленная пачка горючих сланцев сохраняет на всем протяжении по простиранию свое строение, несмотря на внутреннюю сложность литологического состава промышленного пласта (см. рис. 5, 6). Моноклинальное залегание пород ордовика осложнено нарушениями типа ступенчатых сбросов или флексур-сбросов. Нередко такие трещины способствовали развитию карстовых процессов (рис. 19).

В Бразилии в сланценосной толще формации Ирати пермского возраста среди аргиллитов и известняков залегают два пласта сланцев (рис. 20).

Форма залежей горючих сланцев формации Ирати Бразилии — пластовая, залегание пологое. В разрезе сланценосной толщи залегают два пласта сланцев, отделенные друг от друга слоями известняков, кремнистого или глинистого сланца или монтмориллонитовых глин. Форма пластов сланцев, как и вмещающих известняков и доломитов, пластообразная, залегание полого-волнистое. Верхний и нижний пласты разделены прослоями известняков, доломитов, аргиллитов, глин различной мощности, содержащими тонкие прослои горючего сланца. Участками пласты представлены серией тонких сближенно расположен-

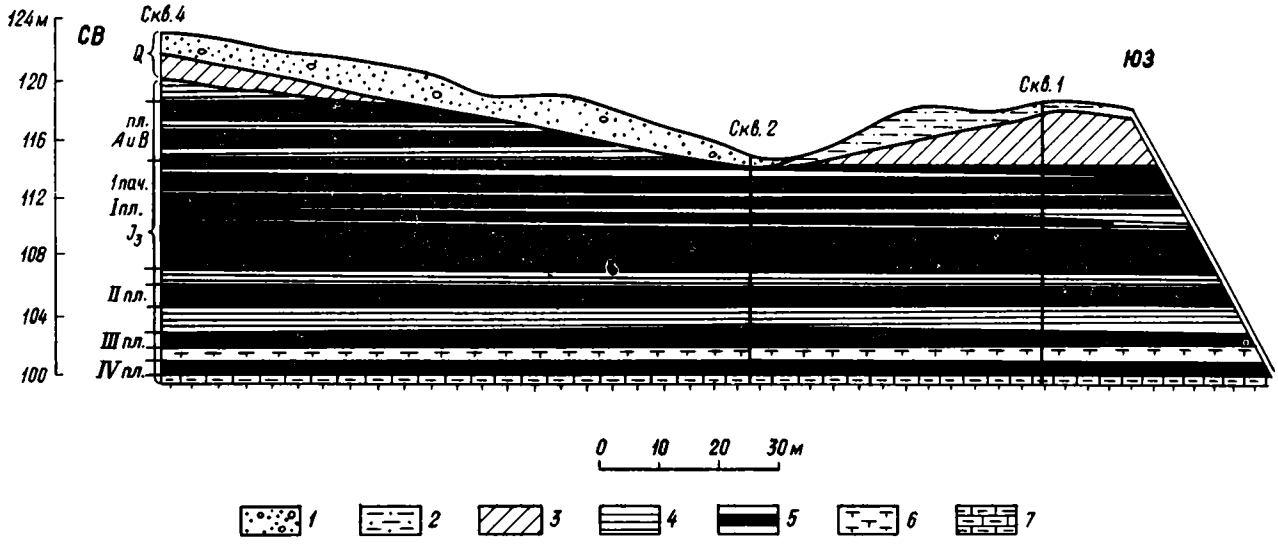


Рис. 18. Геологический разрез Айювинского месторождения горючих сланцев. По В. К. Попову.

1 — песок с гравием; *2* — песчаные глины; *3* — глины; *4* — глины и глинистые сланцы; *5* — горючие сланцы; *6* — глины известковистые; *7* — мергель.

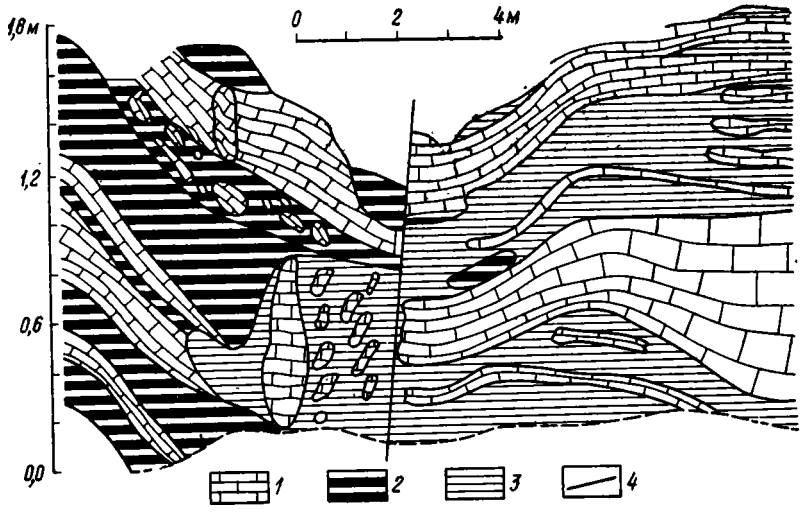


Рис. 19. Схема закарстованности в промышленном пласте горючих сланцев по тектоническим нарушениям на Ленинградском месторождении. Шахта № 2 (по шахтной геологии). По В. А. Котлукову.

1 — известняк; *2* — сланец; *3* — глина; *4* — тектоническое нарушение.

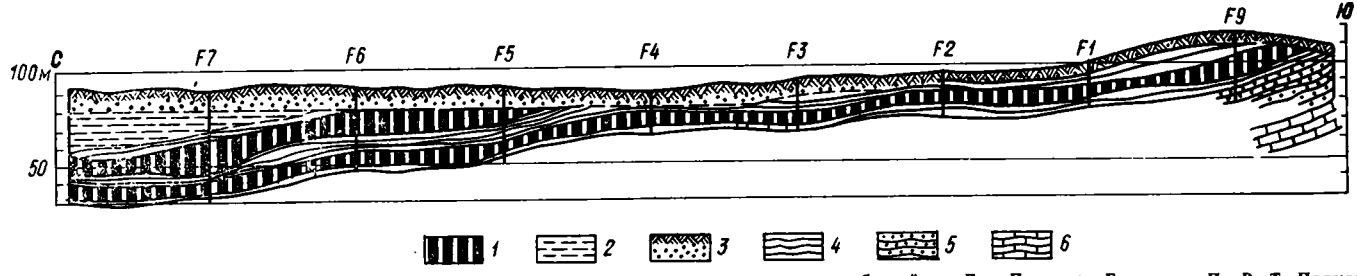


Рис. 20. Геологический разрез сланцевого бассейна Дом-Педрито Бразилии. По В. Т. Падула.

1 — горючий сланец формации Ирати; *2* — серо-голубой сланец формации Сьерра-Алта; *3* — почва формации Палермо; *4* — небитуминозный сланец; *5* — алеврит и алевритовый сланец; *6* — известняк.

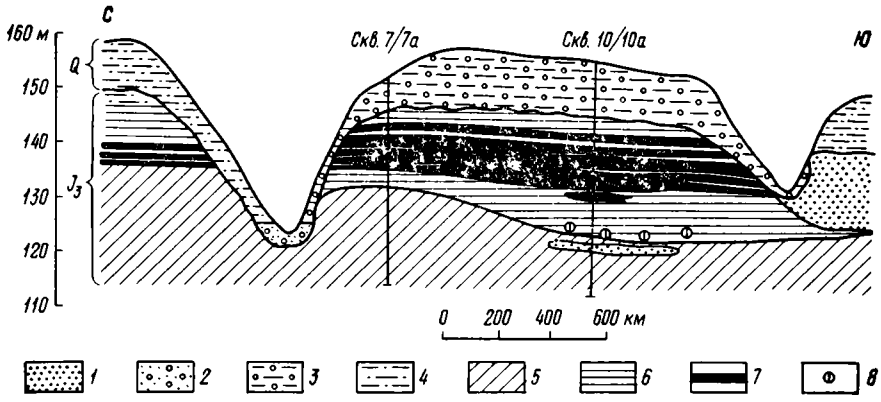


Рис. 21. Геологический разрез Ибского месторождения горючих сланцев Тимано-Печорской области СССР. По Ю. А. Захарченко, Г. И. Малышевой.

1 — песок; *2* — песок с включениями валунов; *3* — глина с включениями валунов и гальки; *4* — песчаные глины; *5* — глина; *6* — глина битуминозная; *7* — горючие сланцы; *8* — включения фосфоритов.

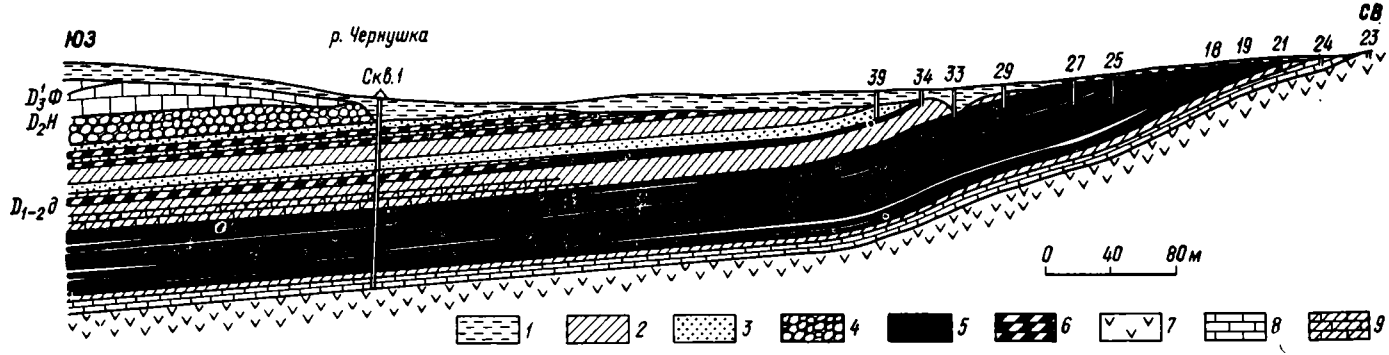


Рис. 22. Геологический разрез сланценосной толщи по р. Чернушке Дмитриевского месторождения Кузнецкого бассейна. По А. В. Тыжнову.

1 — наносы; *2* — аргиллиты; *3* — песчаник; *4* — конгломерат; *5* — горючий сланец; *6* — углистый сланец; *7* — миндалефирпорфирит, базальт; *8* — известняк; *9* — мергель.

ных прослоев сланца (до 80), переслаивающихся с прослоями вмещающих пород различного состава. Мощность пластов как по простиранию, так и по падению изменчива: верхний —9—6,5 м, нижний —4,5—3,2 м и менее. Пласты сланцев с меняющейся мощностью прослеживаются по простиранию на сотни километров. Содержание ОВ 12—28% [1, с. 60—68].

Сланценосные отложения нижневолжского яруса верхней юры Ибского месторождения Сысольского района Коми АССР по литологическому составу хорошо выдержанны на всей площади района. Мощность продуктивной толщи 90 м. В ней выделено две зоны — известковистых глин и глинистая. В первой (верхней) залегает один пласт горючего сланца, во второй — четыре [4]. Пласты горючих сланцев выдержанны по мощности и разделены прослоями пустых пород. Мощность пласта I на отдельных участках 0,20—2,0, в среднем —0,50 м; пласта II—0,25—1,7, в среднем —0,80 м; пласта III—0,30—2,20, в среднем—1,15 м; пласта IV—0,25—4,0 в среднем —2,30 м (рис. 21). Пласт V, залегающий в известковистых глинах, имеет ограниченное распространение.

Сланценосная толща Дмитриевского месторождения Кузнецкого бассейна РСФСР залегает среди отложений эйфельского яруса среднего девона [4]. В юго-восточной части месторождения толща мощностью 50 м сложена аргиллитами, конгломератами, среди которых залегает пачка битуминозных известняков и горючих сланцев (рис. 22). На северо-восточной окраине бассейна под воздействием активных тектонических процессов толща собрана в складки и разбита сбросами.

Кашпирское месторождение горючих сланцев нижневолжского яруса верхней юры расположено в восточной части Русской платформы [4], а в геотектоническом отношении — в пределах Волжско-Камской антеклизы, осложненной несколькими сводами, разобщенными впадинами. Сланценосная толща залегает полого, почти горизонтально (рис. 23). Она сложена глинами, мергелями и горючими сланцами (J_3v_1). Строение толщи сложное (см. рис. 13). Граница с вмещающими глинистыми породами неотчетливая. По литологическому составу сланценосная толща разделяется на два горизонта: нижний (зона Dorsoplanites panderi) сложен серыми мергелистыми глинами и пластами горючего сланца мощностью 7—15 м, верхний (зона Virgatites virgatus) — темно-зелеными известковистыми песчаниками с желваками фосфоритов мощностью 0,4—0,6 м. По данным Г. В. Явхута, в пределах Кашпирского месторождения сланценосная свита нижней зоны залегает на глубинах 16—328 м, имеет мощность 5—7 м и включает три пласта горючих сланцев (снизу вверх):

1) пласт III (0,3 м), строение от простого до сложного с невыдержанной мощностью. На некоторых участках состоит из двух пачек (0,07—0,2 м), отделенных друг от друга прослоем известковистой глины (0,2—0,4);

2) пласт II (0,4—4,2 м) состоит из трех пачек — нижней (0,05—0,58 м), средней (0,14—0,95 м), верхней (0,08—0,5);

3) пласт I (0,1—0,8 м) распространен повсеместно, строение от простого до сложного. На отдельных участках в пласте содержатся породные прослои.

Мульдообразный тип залежей горючих сланцев встречается не так часто. Образование его тесно связано с тектоническими структурами, возникшими в подстилающем комплексе пород до начала накопления ОВ, или в процессе сланценакопления, или же за счет характера палеорельефа дна бассейна.

Байсунское месторождение горючих сланцев Узбекской ССР представлено одним пластом горючего сланца, приуроченного к северо-западному крылу Байсунской синклинали. Залегает пласт среди морских отложений (глин и мергеля) сузакской свиты нижнего эоцена. Накопление сланценосной толщи происходило в геосинклинальных условиях. Пласт горючего сланца имеет простое строение, прослеживается без перерыва на десятки километров. Угол падения пласта изменяется от 8 до 35°, а на отдельных участках Байсунской синклинали доходит до 60—80°. Мощность пласта сланцев 0,4—0,9 м (рис. 24).

Озинковское месторождение горючих сланцев нижневолжского яруса верхней юры, расположенное на территории РСФСР в области склона древней Русской платформы, приурочено к трем куполовидным соленосным структурам [4]. Сланценосная свита, мощностью 48 м, имеет мульдообразный характер залегания. На крыльях купола углы падения сланценосных отложений увеличиваются до 25°, а в сводовой части соляного ку-

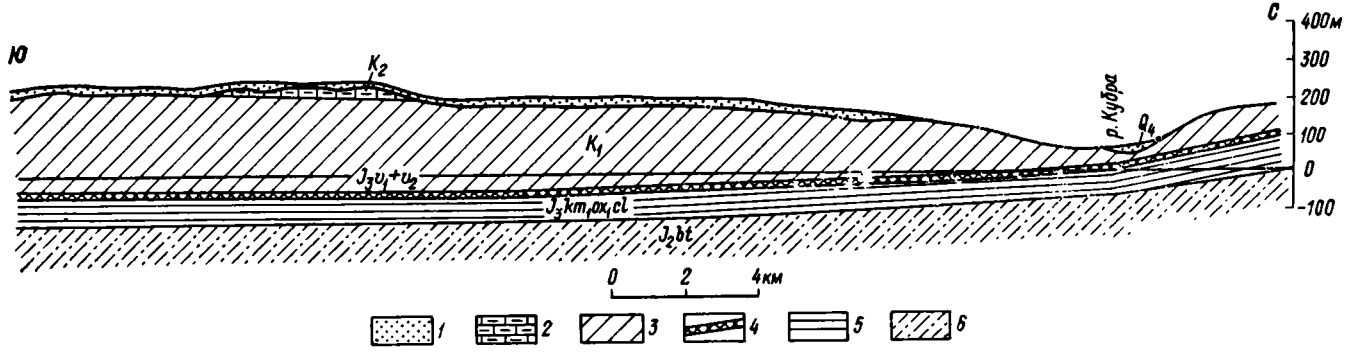


Рис. 23. Схематический геологический разрез по Кашпирскому месторождению. По Г. В. Явхута.

1—6 — отложения: *1* — новочетвертичные, *2* — верхнемеловые, *3* — нижнемеловые, *4* — верхнеюрские — верхне- и нижневолжский ярусы, внизу горизонт черных сланцев, *5* — верхнеюрские — келловейский, оксфордский, кимериджский, нижневолжский и верхневолжский ярусы, *6* — среднеюрские — батский ярус.

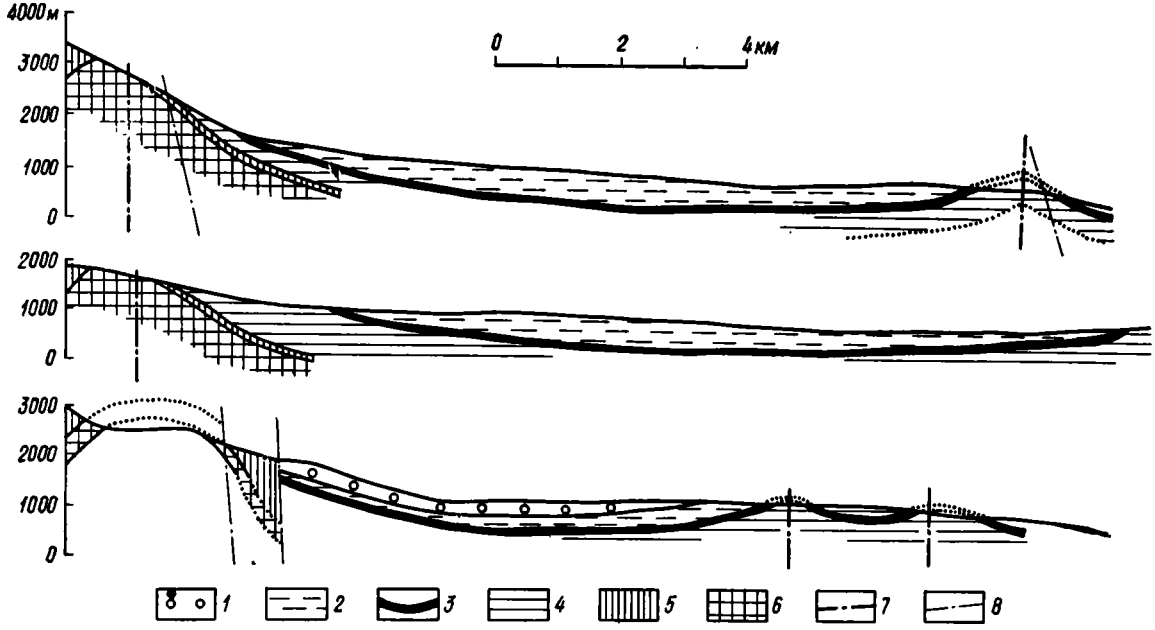


Рис. 24. Геологические разрезы Байсунского месторождения горючих сланцев. По Т. А. Сикстель.

1—6 — отложения: *1* — четвертичные, *2* — верхнепалеогеновые и неогеновые нерасчлененные, *3* — нижнепалеогеновые — бухарские слои, *4* — неогеновые, *5* — меловые, *6* — юрские; *7* — оси складок; *8* — разрывы.

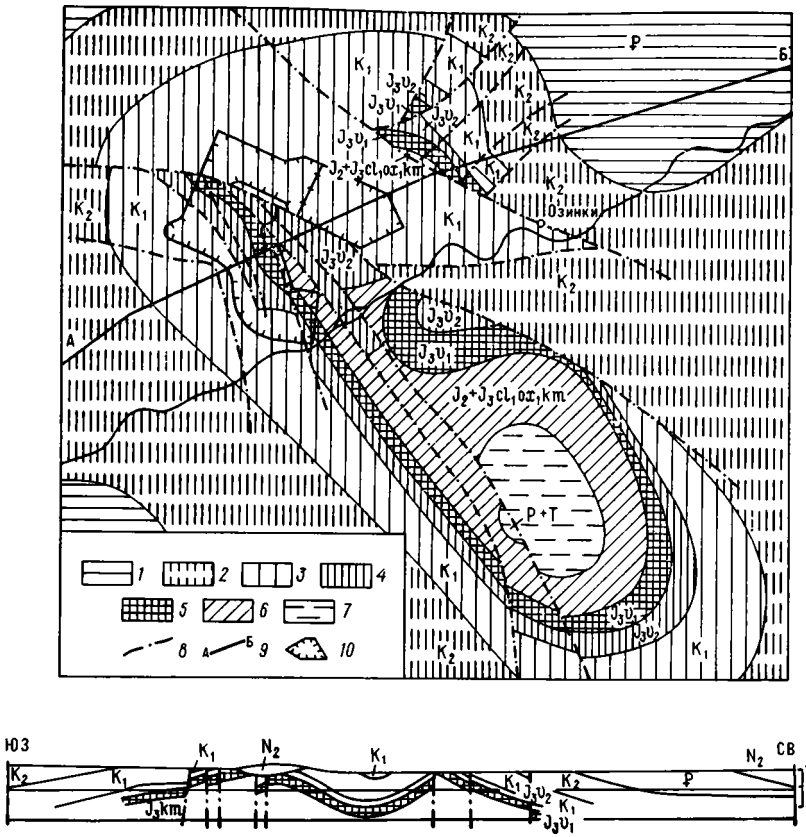


Рис. 25. Геологическая карта Озинковского месторождения горючих сланцев. По С. С. Баукову.

1—7 — отложения: *1* — палеогеновые, *2* — верхнемеловые, *3* — нижнемеловые, *4* — верхневолжский ярус верхней юры, *5* — нижневолжский ярус верхней юры, *6* — средне-верхнеюрские — батский, келловейский, оксфордский и кимериджский ярусы, *7* — пермские+триасовые; *8* — тектонические линии; *9* — линия разреза; *10* — шахтное поле.

пола не превышают 10°. Залегание пластов сланца спокойное, но на отдельных участках наблюдаются разрывные нарушения. В разрезе свиты отмечается циклическое строение: горючий сланец — глинистый горючий сланец — сапропелевая глина — мергелистая глина. Эти циклы, мощностью 2,5—7,5 м, повторяются шесть раз. В свите залегают восемь пластов горючего сланца мощностью 0,25—4,2 м (рис. 25). Пласты сланцев сложного строения, состоят из нескольких пачек, которые в свою очередь нередко разделены на отдельные слои глинами сапропелевого или мергелистого состава. Образование горючих сланцев происходило вблизи берега мелководного открытого моря в подводных впадинах. Цикличность в литологическом составе сланценосной свиты указывает на пульсирующий характер колебательных движений в период накопления ОВ. Качество пластов сланца различное. Теплота сгорания 3930—12 560 кДж/кг. Выход смолы 5—14%. Сланцы многосернистые ($S_{общ}$ 3,8—12%).

Мульдообразный характер залегания имеет сланценосная толща нижневолжского яруса верхней юры Савельевского месторождения Волжского бассейна. Площадь месторождения приурочена к большому брахиантиклинальному под-

нятию с рядом мульдообразных понижений, осложненных сбросами. В центральной части мульды угол падения 1—3°, на краях 15—20°. Литологический состав продуктивной свиты однообразен — на глины приходится 82, на горючие сланцы 18%. Пласты имеют сложное строение— мощность увеличивается от периферии к центру мульды, представлены несколькими слоями, разделенными прослоями сапропелевой глины.

Фушуньская сланценосная свита палеоген-неогена месторождения Фушунь Китая приурочена к Южной и Северной синклиналям. Строение ее сложное. Основанием осадочного комплекса пород мелового и третичного возраста служат гранито-гнейсы [50]. Сланценосная толща состоит из нескольких горизонтов, содержащих пласты угля и горючего сланца. Последние залегают в верхней части фушуньской свиты, т. е. являются кровлей нижерасположенных пластов угля (рис. 17).

Линзообразный тип залежей горючих сланцев чаще всего приурочен к речным дельтам, дельтовым лагунам, озерам и впадинам с меняющимся режимом накопления ОВ и приноса минеральной массы. Размеры таких залежей различны как по площади распространения, так и по мощности. Иногда одна линза по простиранию сменяется другой. В пределах таких линз имеется или несколько слоев горючих сланцев, разделенных прослоями карбонатных пород, глин, или пород другого состава. Строение залежей чаще сложное. Отдельные пласты как бы расщепляются и постепенно переходят во вмещающие породы. Слои сланцев не выдержанны. Одни из них прослеживаются и сохраняют качество на значительной площади, другие не выдержанны по мощности и составу.

Сланценосные отложения продуктивного горизонта нижневолжского яруса верхней юры Дергуновского месторождения Волжского бассейна приурочены к западной, опущенной, зоне юго-восточного склона Русской платформы, осложненной пологими структурами второго порядка. Мощность продуктивного горизонта 2—56 м. Залегает он почти горизонтально и содержит до четырех пластов сланцев сложного строения (рис. 26). Каждый пласт состоит из 3—7 слоев сланца, разделенных прослоями глин. Как пласты, так и, особенно, слои сланцев не выдержанны по мощности, выклиниваются, сменяются новыми слоями. Последние имеют линзовидную форму. Пласт P_1, мощностью 14 м, залегающий в нижней части разреза горизонта, состоит из семи слоев горючего сланца мощностью 0,17—5,3 м, разделенных прослоями глин. Пласт P_2, мощностью 18 м, состоит из четырех слоев сланца мощностью 0,17—5,1 м. Пласт P_3, мощностью до 1,5 м, состоит из трех слоев сланца мощностью 0,13—1,225 м. Верхний пласт P_4, средней мощностью 6,12 м, включает три слоя сланцев мощностью 0,2—1,05 м [4].

Чаше- или блюдцеобразный тип залежей горючих сланцев меньше распространен. Накопление ОВ происходило во впадинах тектонического происхождения, кальдерах, межгорных бассейнах или впадинах оседания. В плане залежи могут иметь замкнутую овальную форму или быть вытянуты в одном из направлений. В большинстве случаев это впадины крупных размеров по площади и на глубину. Сланцевые залежи имеют значительную мощность, разнообразный сложный литологический состав пород и отличаются неоднородностью петрографического и химического состава. В отдельных случаях залежи такого типа обладают крупными запасами горючего сланца и содержат некоторые пласты или горизонты высокого качества.

Болтышское месторождение горючих сланцев приурочено к глубокой впадине в докембрийских кристаллических породах Украинского массива. По мнению одних исследователей, образование впадины связано с проявлениями тектонических нарушений в виде ступенчатых сбросов, по мнению других — впадина представляет собой кальдеру обрушения на месте вулкана. Впадина имеет округлую замкнутую форму диаметром 20—25 км и глубиной свыше 500 м (рис. 27). Площадь ее около 400 км^2. Склоны впадины пологие. Форма сланценосной толщи чаше- или блюдцеобразная. Дно впадины почти горизонтальное. В центре впадины зафиксирован выступ гранитов, что также повлияло на строение залежи. Слои сланцев образуют пологое куполообразное поднятие. К бортам впадины мощность залежи постепенно уменьшается, и затем она выклинивается.

Заполнение впадины осадками прибрежно-морского и прибрежно-континентального характера, содержащими ОВ, происходило в условиях мелкого моря от раннего палеогена до позднего эоцена. Продуктивная толща сложена

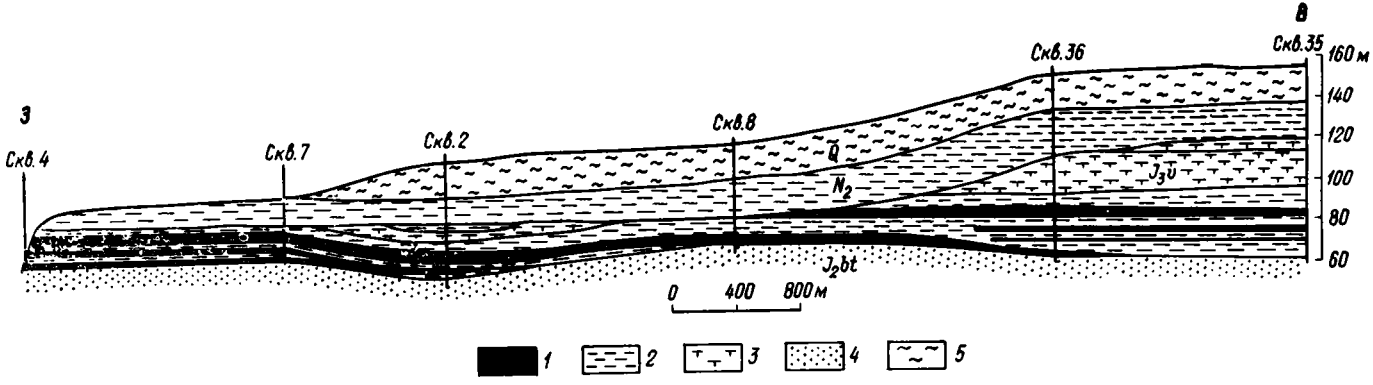


Рис. 26. Схематический геологический разрез по Дергуновскому месторождению. По И. И. Зяблицкому.

1 — горючий сланец; *2* — глина; *3* — известковистая глина; *4* — песок; *5* — суглинок.

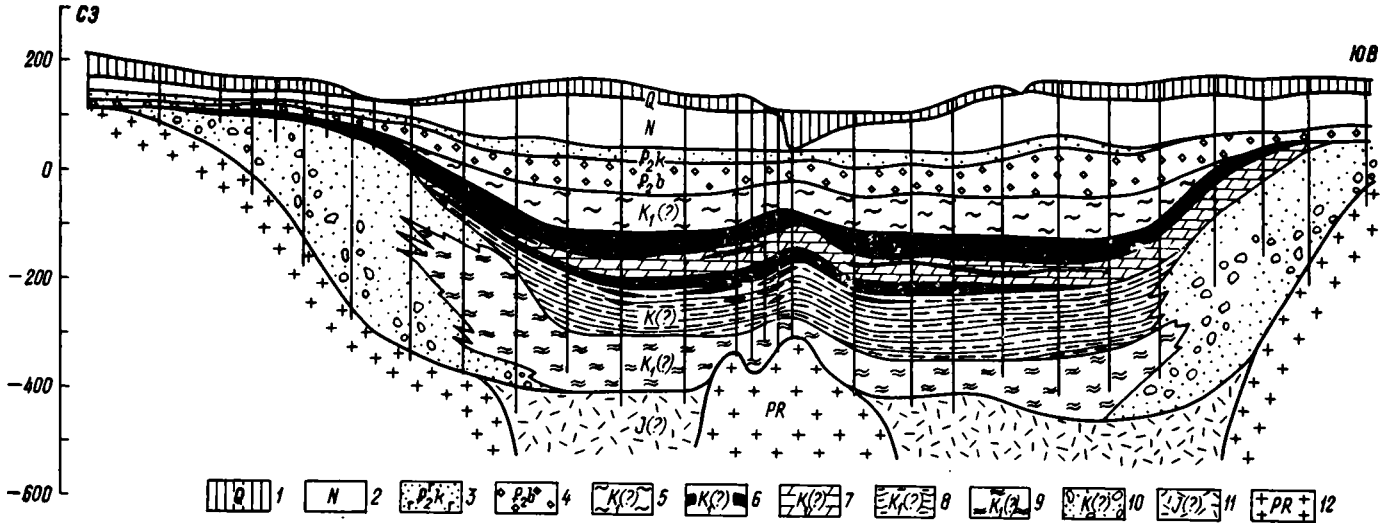


Рис. 27. Геологический разрез Болтышского месторождения горючих сланцев. По Ю. Б. Басс, В. К. Грабовскому.

1 — суглинки, красно-бурые глины, пески (четвертичная система); *2* — пески светлые с прослоями глин и песчаников (неогеновая система); *3* — мергель, пески кварцево-глауконитовые (киевская свита); *4* — глины темные, пески углистые, алевриты (бучакская свита); *5* — глины аргиллитоподобные, темно-серые, слюдистые (меловая система?); *6* — горючие сланцы с прослоями битуминозных глин (меловая система?); *7* — битуминозные глины с прослоями мергелистых глин (меловая система); *8* — глинистые сланцы тонколистоватые, с прослоями алевритов (меловая система?); *9* — алевриты, алевролиты, песчаники (меловая система?); *10* — крупнозернистые пески с глыбами и обломками кристаллических пород; *11* — эффузивы кислого состава (юрская система?); *12* — граниты, мигматиты, гнейсы (протерозойская группа).

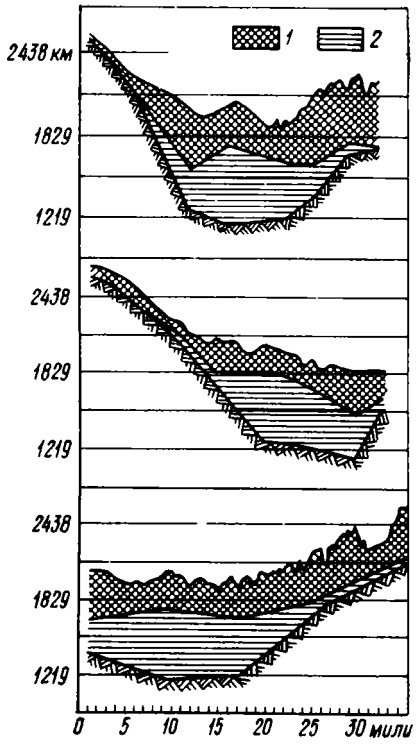


Рис. 28. Геологические разрезы бассейна Пайсенс-Крик. По И. Р. Доннелу.

1 — перекрывающие породы; *2* — сланец с выходом смолы более 105 л/т.

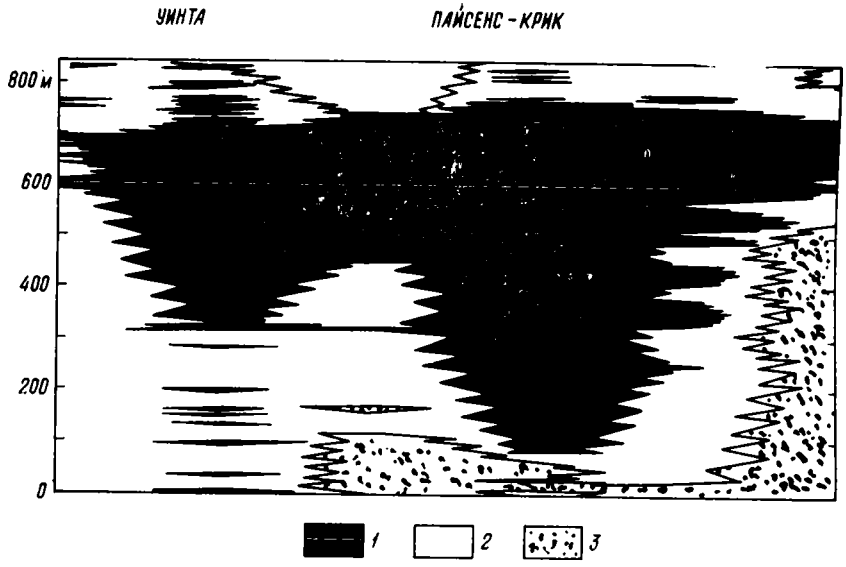


Рис. 29. Обобщенный воспроизведенный разрез вдоль бассейнов Пайсенс-Крик и Уинта, США. По В. Б. Кэшну.

1 — горючий сланец — мехогенский пласт; *2* — озерные отложения (кроме горючего сланца); *3* — наносы.

глинами, алевритами, горючими сланцами, песчаниками и карбонатными породами. В ней выделено пять горизонтов сланцев [45; 57]. В 30 км к северо-западу от Болтышской впадины имеется Ротмистровская впадина, сланцевые отложения которой сходны с горючими сланцами Болтышского месторождения.

Палеоген-неогеновые угольно-сланцевые отложения Новодмитриевского месторождения Украины залегают во впадине, образовавшейся над соляным штоком в западной периклинальной части Петровского купола. Глубина впадины — около 1 км. В центральной части впадины углы наклона пластов и слоев горючих сланцев 2—5°, а у бортов в нижней части впадины 40—60°. Мощность продуктивной толщи харьковской и полтавской свит составляет 600 м. В них выделено четыре сланценосных горизонта (снизу вверх): первый — над I и II угольными залежами, второй — II и IV, третий — между IV и V, четвертый — выше V угольной залежи. Пласты и слои сланцев не выдержанны по мощности (0,2—1 м). Суммарная мощность пластов горючих сланцев в среднем 2,3 м. Теплота сгорания 4600—16 700 кДж/кг. Выход смолы 4,3—9,2%.

Кальдеровидный морфологический тип горючих сланцев представляет собой или отдельную обособленную, или серию близрасположенных впадин различных размеров, образованных в результате медленного погружения и постепенного заполнения морскими, озерными или речными осадками, или теми и другими. Впадины на соответствующих этапах развития могли соединяться и разобщаться под влиянием горообразовательных процессов. Частая смена фаций привела к сложному строению залежей сланцев. Нередко морские отложения сменялись озерными, а последние речными. Представителем данного типа могут служить месторождения штатов Колорадо, Юта и Вайоминг США [1, с. 69—78].

Сланценосные отложения формации Грин-Ривер залегают в четырех структурных бассейнах — тектонических впадинах (см. рис. 16). Мощность отложений 100—1000 м. Горючие сланцы переслаиваются глинистыми известняками, глинистыми сланцами, аргиллитами, известняками, песчаниками, туфами, трововыми, водорослевыми, остракодовыми и моллюсковыми известняками, а также речными пластами васачской формации. Сланценосная толща в отдельных районах имеет котловинообразную форму (рис. 28, 29).

ТИПЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Изучению состава и свойств горючих сланцев посвящено много научно-исследовательских работ ученых различных стран мира, в том числе СССР (работы А. С. Фоминой, В. А. Проскурякова, А. Я. Аарна, С. С. Баукова, В. А. Котлукова, И. Клесмента, Д. К Виторовича, Р. Ф. Кейна, Г. Ю. Диннина и других авторов). Изучению петрографического состава горючих сланцев месторождений СССР посвящены исследования А. И. Гинзбург.

Однако до сих пор не создана единая промышленно-генетическая классификация горючих сланцев, что отражается на прогнозной оценке сланценосных районов и отдельных месторождений, а также на выборе методов поисков и разведки соответствующих генетических типов.

А. Ф. Добрянский [1947 г.] в основу классификации керогенсодержащих пород сланцев положил такой показатель, как элементарный состав ОВ, и выделил пять классов:

1) до 60% углерода, до 7,3% водорода, выход смолы 18—25%, теплота сгорания 24 280—26 400 кДж/кг; сланцы сапропелевые;

2) 60—65% углерода, 7,3—7,8% водорода, выход смолы 25—30%, теплота сгорания 26 370—28 470 кДж/кг; сланцы переходные — от сапропелевых к сапропелитовым, т. е. к более карбонизованным;

3) 65—70% углерода, 7,8—8,3% водорода, выход смолы 18—22%; теплота сгорания 28 470—31 400 кДж/кг; сланцы аналогичны второму классу, многосернистые;

4) 70—75% углерода, 8,3—8,9% водорода, выход смолы 45—57%, теплота сгорания 31 400—35 500 кДж/кг; сланцы сапропелевые, переходные к богхедам, т. е. к более карбонизованным;

5) 75—80% углерода, 8,9—9,3% водорода, выход смолы до 67%, теплота сгорания 35 500—39 500 кДж/кг; сланцы-кукерситы и многие богхеды.

В 1968 г. на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев (г. Таллин) были предложены две классификации сланцев.

Л. Е. Шлаттер [1, с. 161—166] в основу предложенной классификации положил такой оценочный критерий, как выход сланцевой смолы. Он считает, что генетический признак при недостаточной изу-

ченности горючих сланцев не может дать четкого ответа о промышленном значении сланцев.

И. М. Озеров, В. Ф. Полозов [1, с. 167—171] на основе генетических признаков разработали промышленную классификацию горючих сланцев. В каждом генетическом виде сланцев — сапропелевом и сапропелево-гумусовом — они выделили промышленные классы, группы и виды сланцев и определили основные направления их промышленного использования.

В. А. Котлуков [1, с. 25—35] на основе изучения состава горючих сланцев многих месторождений СССР считает, что кероген большинства месторождений сложен микрокомпонентами группы альгинита: талломоальгинитом — сохранившим микроструктуру водорослей и коллоальгинитом — бесструктурным коллоидным веществом. В качестве примеси до 20—50% присутствуют микрокомпоненты — витринит, меньше фюзинит и другие остатки высших растений.

А. И. Гинзбург, В. А. Котлуков [32] на основании изучения петрографического состава горючих сланцев многих месторождений СССР разработали предварительную схему классификации керогена горючих сланцев, в которой выделили три класса: собственно сапропелиты, гумито-сапропелиты и сапропелито-гумиты.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ТИПЫ

Изучение петрографического состава горючих сланцев мира в отличие от углей находится в начальной стадии. Изучен кероген сланцев немногих месторождений. В СССР сланцепетрографические исследования проводятся Всесоюзным научно-исследовательским геологическим институтом (ВСЕГЕИ) под руководством А. И. Гинзбург [32; 36; 51; 52]. В зарубежных странах этому направлению в науке о горючих сланцах уделяется мало внимания, в то же время оно имеет большое значение для суждения о генезисе керогена и для перспективной оценки месторождений. Имеющиеся весьма ограниченные данные по петрографическому составу горючих сланцев, в основном месторождений СССР, позволяют лишь в первом приближении составить представление о сланцеобразующих микрокомпонентах различных генетических типов керогена.

А. И. Гинзбург установила неоднородность петрографического состава керогена различных месторождений. Преимущественное преобладание того или иного микрокомпонента в керогене позволило составить предварительную схему генетической классификации горючих сланцев (табл. 26). В состав керогена сланцев входят талломоальгинит, коллоальгинит, сорбомикстинит, микстинит. Кероген состоит преимущественно из микрокомпонентов группы альгинита, подчиненное положение занимают микрокомпоненты группы витринита, в небольшом количестве присутствуют фюзинит, липоидинит, а также склероции (описание приводится по А. И. Гинзбург).

К талломоальгиниту А. И. Гинзбург относит одноклеточные колониальные водоросли, сохранившие свою структуру неясной система-

тической принадлежности, возможно сине-зеленые водоросли. Они представляют колонию таллом, состоящую из многих одноклеточных организмов различных форм и размеров. В проходящем свете водоросли имеют светло-желтый, рыже-зеленоватый или коричневато-желтый цвет. Размеры водорослей 1,01—1,5 мм. В скрещенных николях водоросли изотропны. Показатель преломления талломоальгинита в кукерситах — 1,554.

Коллоальгинит — бесструктурное вещество. В керогене встречается в дисперсной смеси с глинистым веществом или с пелитоморфным карбонатом, реже образует самостоятельные линзы и полоски непосредственно в минеральной или органо-минеральной массе. Глинистое вещество является как бы сорбентом коллоальгинита, и последний можно рассматривать как сорбоколлоальгинит. Карбонатно-коллоальгинитовому веществу свойствен желтый цвет, глинисто-коллоальгинитовое вещество нередко приобретает кирпичный оттенок. Коллоальгинит в ультрафиолетовом свете люминесцирует. Показатель преломления в сланцах буроугольной стадии углефикации 1,579—1,615. Отражательная способность в воздушной среде 2,5—5,2%.

Сорбомикстинитовый тип керогена представляет собой бесструктурное вещество буроватого, красновато-коричневого и коричневато-желтого цвета. Вещество сорбомикстинита по оптическим и химическим показателям находится между витринитом и коллоальгинитом. А. И. Гинзбург относит сорбомикстинит к нерасчлененному комплексу витринита и коллоальгинита и выделяет две разновидности: сапрогумосорбомикстинит — молекулярно-дисперсную смесь с преобладанием витринита и гумосапросорбомикстинит — коллоальгинит. Сорбомикстинит, по данным А. И. Гинзбург, представляет собой гумусово-сапропелевую или сапропелево-гумусовую молекулярно-дисперсную смесь, присутствующую в породе в сорбционной связи с ее минеральной частью. В зависимости от наличия в керогене витринита, фюзинита и липоидита А. И. Гинзбург рекомендует кероген сланцев относить к витринитовой, фюзинитовой или липоидитовой группе.

В генетической классификации А. И. Гинзбург [32] выделяет три основных генетических класса керогена горючих сланцев:

1) собственно сапропелиты — талломоальгинит, коллоальгинит и гумосапросорбомикстинит. Микрокомпоненты из группы витринита и фюзинита присутствуют в количестве не более 10%. В зависимости от преобладания того или иного микрокомпонента кероген относится к определенному типу. Выход летучих веществ 80—95%. Содержание водорода высокое — 8—11%;

2) гумито-сапропелитовый — сочетание псевдовитринита с коллоальгинитом, талломоальгинита с сапрогумосорбомикстинитом и коллоальгинита с сапрогумосорбомикстинитом. Микрокомпоненты группы витринита и фюзинита присутствуют до 10%. Выход летучих веществ 70—80%. Содержание водорода 7—8%;

3) сапропелито-гумитовый — сапрогумосорбомикстинит и витринит, а также талломоальгинит и коллоальгинит. В некоторых место-

Тип керогена по соотношению керогенобразующих и второстепенных компонентов	Микрокомпонентный состав, %					
	альгинит		сорбомикстинит*			псевдовитринит**
	талломоальгинит	коллоальгинит	гумосапросорбомикстинит	сапрогумосорбомикстинит	витринит	
Сапропелиты						
Талломоальгинитовый	75—100	0—25	0—25	0	0—10	0
Коллоальгинито-талломоальгинитовый	50—75	25—50	0—10	0	0—10	0—10
Гумосапросорбомикстинито-талломоальгинитовый	50—75	0—10	25—50	0	0—10	0—10
Талломоальгинито-гумосапросорбомикстинитовый	25—50	0—10	50—75	0	0—10	0—10
Коллоальгинитовый	0—25	75—100	0—10	0	0—10	0—10
Талломоальгинито-коллоальгинитовый	25—50	50—75	0—10	0	0—10	0—10
Гумосапросорбомикстинитовый	0—25	0—25	75—100	0—10	0—10	0—10
Гумито-сапропелиты						
Псевдовитринито-коллоальгинитовый	0—10	50—75	0	0	0	25—50
Коллоальгинито-псевдовитринитовый	0—10	25—50	0	0	0	50—75
Талломоальгинито-сапрогумосорбомикстинитовый	25—50	0—10	0—10	50—75	0—10	0—10
Сапропелито-гумиты						
Витринито-сапрогумосорбомикстинитовый	0—25	0—25	0	50—75	25—50	0—10
Витринито-коллоальгинитовый	0—10	50—75	0	25—50	25—50	0—10
Сапрогумосорбомикстинитовый	0—10	0—10	75—100	0	0—10	0

* Сорбомикстинит — микрокомпонент, представляющий собой нерасчлененную гумусово-сапропелевую или сапропелево-гумусовую молекулярно-дисперсную смесь, присутствующую в породе в сорбционной связи с ее минеральной частью. По химическим и некоторым петрографическим признакам выделяются гумосапросорбомикстинит и сапрогумосорбомикстинит. Первый представляет собой молекулярно-дисперсную смесь с преобладанием витринита, второй — коллоальгинита; крайние члены сорбомикстинита, в тех случаях, где практически отсутствует витринитовая составляющая или, наоборот, альгинитовая, к компоненту микстинит нами не относятся, так как

Таблица 26. **Предварительная схема классификации керогена горючих сланцев (по А. И. Гинзбург [32])**

Химические показатели, %		Обобщенная характеристика условий образования	Месторождения и бассейны, в которых распространены различные типы керогена
$V^г$	$H^г$		
—	—	Море, элиторальная и сублиторальная его части, реже большое озеро; исходный материал керогена — преимущественно фитопланктон	Прибалтийский (кукерсит), Болтышское. Новодмитриевское
—	—		
80—93	8,5—11		Болтышское
—	—		»
—	—		—
—	—		Припятское, Волжское, Болтышское, Новодмитриевское
—	—		—
—	—	Море, элиторальная его часть, исходный материал керогена — фитопланктон и образования неясной природы, условно называемые псевдовитринитом, фитобентос, морские травы (в небольшом количестве), измененные высшие растения	Байсунское, Урта-Булак
70—80	7—8,5		Не установлены
—	—		То же
—	—	Самая прибрежная часть моря или озера; исходный материал керогена — фитопланктон в сочетании с высшими растениями	Карпаты, Новодмитриевское
50—70	6—7		Карпаты
—	—		—

они представляют собой молекулярно-дисперсное однокомпонентное образование и могут обозначаться как сорбоколлоальгинит и сорбовитринит.

** Образования неясной природы, которые по цвету и морфологии, а также по очертанию больше всего напоминают витринит. На данной стадии изученности назовем их псевдовитринитом. К ним, вероятно, относятся гидротрофные растения, а возможно, и фитобентос.

Таблица 27. **Химическая характеристика ОВ сланцев Болтышского месторождения (по данным А. И. Гинзбург, И. М. Озерова и других авторов)**

Петрографический тип сланцев (снизу вверх)	Горизонт (мощность, м)	Литолого-петрографический состав	Содержание ОВ, %	Теплота сгорания сланца, кДж/кг	Выход смолы на сланец, %	Элементарный состав ОВ, %				
						C	H	N	S	O
Коллоальгинитовый	I (200)	Аркозовые песчаники, алевриты, мергели, глинистые сланцы. Коллоальгинит 90—95, витринит до 10%	25—30	4100—5400	До 10	76,7	9,0	1,5	0,5	12,3
Талломоколлоальгинитовый	II (20)	Сланцы глинистые, прослои глинисто-карбонатного состава	30—50	8300—14 600	10—28	76,5	10,0	0,7	4,3	8,5
Микстинито-талломоальгинитовый	III (35—60)	Мергелистые глины, известняки, горючие сланцы глинистые	До 25	4100—5400	До 10	74,0	8,9	16,1		—
Талломомикстинитовый	IV (50)	Горючие сланцы, битуминовые глины, аргиллиты	30—50	10 500—16 700	12—25	76,0	9,4	0,9	2,1	
Микстинитовый	V (80)	Глины, алевриты с неравномерным содержанием керогена	5—15	5400	6	73,0	8,6	2,2		16,8

рождениях такие сланцы являются переходными к углистым породам. Выход летучих веществ 50—70%. Содержание водорода 6—7%.

Из минеральных компонентов в горючих сланцах встречаются группы минералов: карбонаты, окислы, силикаты, алюмосиликаты и сульфиды.

Керогены горючих сланцев, образованные в различные геологические эпохи в определенных условиях, отличаются друг от друга по микрокомпонентному составу органического и минерального вещества. Они отличаются даже в пределах одного и того же месторождения, поскольку в процессе накопления ОВ нередко изменялись условия осадконакопления, что оказывало влияние на развитие того или иного микрокомпонента и на химический состав керогена. Но тем не менее устанавливается определенная закономерность в развитии биохимических процессов и своеобразии преобразования исходного ОВ. Это весьма наглядно можно проследить на примере Болтышского месторождения (Украина, табл. 27). Смена условий сланценакопления оказала влияние на развитие ОВ и на интенсивность его диагенеза.

Микрокомпоненты органического и минерального вещества распределяются в сланценосной толще в различных сочетаниях и соотношениях. В одном случае преобладает коллоальгинит, в другом — талломоальгинит или микстинит, что свидетельствует о неоднородности петрографического состава керогена сланцев.

По петрографическому составу в разрезе полезной толщи одного и того же месторождения нередко находятся несколько типов:

Припятский бассейн — известково-глинистый коллоальгинитовый, известковистый коллоальгинитовый, алеврито-известковистый коллоальгинитовый;

Волжский бассейн — известковистый коллоальгинитовый, глинистый коллоальгинитовый, алеврито-глинистый коллоальгинитовый;

Болтышское месторождение — глинистый коллоальгинитовый, глинистый сорбомикстинито-талломоальгинитовый, глинистый талломоальгинито-сорбомикстинитовый, глинистый сорбомикстинитовый;

Карпаты, менилитовые сланцы — глинистый псевдовитринито-сорбомикстинитовый, глинистый сорбомикстинитовый, алеврито-глинистый витринито-сорбомикстинитовый, глинистый витринито-сорбомикстинитовый.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ

Процесс превращения исходного ОВ в осадке весьма длителен и сложен. Скорость отложения водорослевого керогена, как отмечает У. Брэдли, составляет в среднем менее 1 мм в столетие в пересчете на сухое вещество. Развитие активности биогенного процесса в каждом конкретном случае находится в зависимости от многих факторов, и прежде всего от палеогеографических условий и, как следствие, от фациальной среды. В одном случае процесс диагенеза липидного вещества достигает максимального предела насыщения атомов угле-

рода, в другом — нет. На развитие диагенеза исходного ОВ и на преобразование возникающих промежуточных «полупродуктов» — веществ оказывают влияние pH водной среды, принос гумусового вещества и другие факторы. Следовательно, на основе одного и того же исходного вещества, дающего начало органической составляющей отложений, в разных фациальных обстановках в итоге происходящих в водной среде биохимических процессов могут возникнуть различные по качеству конечные преобразования. Поэтому кероген горючих сланцев различных месторождений различается по степени сланцефикации, хотя всех их роднит материнское сапропелево-водорослевое начало происхождения.

Первоначально образовавшееся вещество в процессе диагенеза претерпевает существенные изменения с проявлением конденсации, полимеризации и отщепления части вещества, т. е. взамен первоначальных связей возникают новые. Процесс эволюции захороненного ОВ в осадке с погружением на значительные глубины проходит несколько стадий метаморфизма. Липидные компоненты постепенно переходят в нерастворимые продукты. Р. Ф. Кейн [12, с. 34—66] считает, что главными предшественниками керогенов горючих сланцев были водорослевые липиды в форме либо углеводородов, либо жирных кислот, частично декарбоксилированных до углеводородных радикалов, с образованием керогенов.

На то, что первоначально образовавшееся вещество не могло оставаться неизменяемым в процессе диагенеза, указывает А. С. Фомина [1, с. 184—194]. Окружающая среда оказывала влияние на процесс конденсации, полимеризации и сгущения части веществ, в том числе и газов, в результате чего исчезала часть первоначальных связей и возникали новые. В процессе диагенеза исходного органического материала под влиянием многочисленных физико-химических факторов среды в конечном продукте керогена в основном липидного состава в каждом конкретном случае образовывались продукты различного качества. Болтышские горючие сланцы более парафинистые, диктионемовые сланцы Прибалтийского бассейна характеризуются высоким содержанием азота, а кукерситовые сланцы высокофенольные, одни из сланцев высокосернистые, другие малосернистые или содержат повышенный процент битумных веществ и т. д.

Методами хроматографии и спектрального анализа, как отмечает Г. Ю. Диннин [1], установлено, что «экстрагированный битум грин-ривер-ских сланцев содержит C_{15}, C_{16}, C_{18}, C_{19} и C_{20} — цепные изопреновые углеводороды, которые родственны фенольной группе молекулы хлорофилла. Количество C_{20} уменьшается с глубиной формации Грин-Ривер, а количество остальных четырех изопреновых соединений увеличивается с глубиной» [1, с. 178]. В битуме обнаружены циклоалканы — пятицикличный тритерпан, а также C_{27}—C_{29} — стераны, C_{40} — пергидрокаротин, C_{10}—C_{35} — жирные кислоты и C_{14}—C_{21} — изопреновые кислоты. В заключение Г. Ю. Диннин приходит к выводу, что кероген формации Грин-Ривер является главным образом гетероцикличным материалом, соединенным или связанным с небольшим

количеством углеводородного материала, содержащего алканы с прямой цепью, цикличные алканы и ароматические группы. Кероген сланца Грин-Ривер он считает макромолекулярным веществом, имеющим большей частью линейно конденсированное, ненасыщенное циклическое строение с гетероатомами кислорода, азота и серы. Прямоцепные и ароматические структуры составляют сравнительно небольшую часть общей структуры керогена.

М. Сабан и Д. К. Виторович провели исследования ОВ горючих сланцев месторождения Алексинац Югославии и пришли к заключению, что исходным материалом керогена были высшие растения. В битуме установлены: *n*-алканы C_{13}—C_{37} с преобладанием нечетных молекул над четными в области C_{25}—C_{37} (CP = 1,73); изопреноидные углеводороды пристан и фитан; циклопарафины (прегидро-β-каротен, пентациклические тритерпаны типа гопана и гомогопана); алифатические монокарбоксиловые (C_6—C_{12}), бикарбоксиловые (C_7—C_{18}) кислоты; алифатические γ-лактоны (C_7—C_{15}); циклические γ-лактоны; алифатические изопреноидные кетоны. Авторы приходят к заключению, что сланцы этого месторождения — биогенного происхождения и что при захоронении ОВ испытывало многочисленные преобразования.

Исследования керогена австралийского торбанита показали, что кислотные и нейтральные фракции экстракта содержат неразветвленные ненасыщенные кислоты C_{12}—C_{27}, углеводороды C_{13}—C_{29} с прямой цепью атомов С, циклогексилалканы, пентациклотритерпены, нафталин, антрацен, дифенил, трифенил, перилен и т. д. Возможно, что все эти вещества являются продуктами жизнедеятельности микроорганизмов вида *Botryococcus braunii* [53].

Процесс преобразования исходного вещества коронгита, по данным Р. Ф. Кейна, длителен и сложен. С отмиранием альговых колоний вся масса их характеризуется липидной природой матрицы слипшихся плюсков. Их высокая химическая ненасыщенность в дальнейшем уменьшается, а нерастворимость увеличивается. Вещество постепенно уплотняется и приобретает постоянный элементарный состав (%): С — 77—78, Н — 10—11, О — 10—13, S — 1,5. Р. Ф. Кейн [1] считает, что в процессе превращения водорослевых остатков в кероген бо́льшая часть основных химических реакций происходит в первые несколько лет.

Х. Т. Раудсепп [27] связывает образование керогена кукерсита с активной окислительной полимеризацией жировых компонентов отмерших организмов. Жировые компоненты постепенно окислялись, полимеризовались, отвердевали, приобретали, по его представлению, округлую форму, подвергаясь с поверхности гидролизу и покрываясь пленкой кальциевых солей. Кероген кукерсита состоит из элементарных частиц, соединенных между собой кислородными связями. Элементарные частицы содержат ароматические ядра, соединенные в свою очередь с помощью эфирных связей с соседними алифатическими цепями. На основе полученных данных исследования химического строения керогена прибалтийских сланцев Х. Т. Раудсепп счи-

тает доказанным алифатический характер керогена. Продуктами окисления керогена оказались одно- и двухатомные алифатические карбоновые кислоты. Р. Э. Вески и др. [54], исследуя ОВ сланца Кашпирского месторождения путем окисления азотной кислотой, установили наличие алифатических моно- и дикарбоновых кислот, а также широкий спектр бензокарбоновых кислот от бензойной до меллитовой с преобладанием бензойной и фталевых кислот.

А. Ф. Добрянский [3] рассматривал кероген как смесь громадного количества веществ, обладающих близкими признаками, теряющимися в массе этих индивидуальных качеств. Конечным продуктом превращения керогена сланца являются смолистые вещества типа мальт или кислородсодержащих асфальтенов. Для типичного керогена он допускает содержание водорода не более 9—9,2, углерода 75—78%. Основной материал керогена — гумусовые кислоты. Они играли большую роль в образовании керогена горючих сланцев.

Горючие сланцы неоднородны по количественному и петрографическому составу, прежде всего за счет сопутствующих компонентов и фитопланктона и степени сланцефикации ОВ. По этим основным признакам горючие сланцы подразделяются на сапропелевый, сапропелево-гумусовый, гумусово-сапропелевый и остаточно-сапропелевый (коронгито-балхашитовый) типы.

Сапропелевый тип горючих сланцев встречается редко, но для него характерны большая площадь распространения, однородность петрографического и химического состава водорослевого ОВ. Образование сланцев происходило преимущественно в прибрежно-морских условиях нормального режима морской воды в прогибах или впадинах и значительно реже в озерных и тем более речных условиях. Отсутствие (или почти отсутствие) гумусовых примесей и незначительное (до 10%) содержание азота являются типичной особенностью сапропелевого типа горючих сланцев. Содержание ОВ или преобладает над содержанием минеральной массы или равно ему. Минеральная часть сланцев имеет преимущественно карбонатный, глинистый или алеврито-известковистый состав.

Например, ОВ горючих сланцев Прибалтийского бассейна обладает высокими качественными показателями. У них выход летучих веществ 75—84%, элементарный состав керогена (%): С—75—80, Н—8,5—9,5, N—0,2—0,5, О—10—15, S—1—2. Теплота сгорания 8370—16740 кДж/кг, выход смолы на сланец 20—30, на ОВ — более 50%. Термическая переработка сланцев позволяет получать обширный ассортимент химических продуктов. Зола пригодна для производства различных строительных материалов.

Сланцевая смола прибалтийских сланцев содержит высокий процент фенолов — свыше 20%. Элементарный состав горючих сланцев Ленинградского месторождения и выход смолы на горючую массу приведены в табл. 28.

Сланцевые смолы полукоксования сланцев отдельных месторождений различаются между собой по фракционному, элементарному и групповому составу (табл. 29).

Таблица 28. **Элементарный состав сланцев Ленинградского месторождения и выход смолы по данным Е. Н. Шаховой [1, с. 115—139]**

Индекс слоев	Западный участок			Центральный участок		
	С	Н	Выход смолы, %	С	Н	Выход смолы, %
I	76,0	10,5	66,1	71—81,6	10,3—11,3	49—98,0
II	80,4	9,9	64,3	63,5—81,7	10,1—10,8	42,5—73,1
III	80,3	10,1	67,2	74—85,3	9,9—10,7	61,5—74,7
IV	77,5	10,1	53,0	—	—	56—71,1

Продолжение табл. 28

Индекс слоев	Поисковая площадь		
	С	Н	Выход смолы, %
I	65,3—75,7	6,8—10,3	38,5—68,8
II	64,4—71,8	7,5—10,3	54,2—68,0
III	74,6—82,5	9,3—9,8	44,3—68,5
IV	—	—	42,9—61,0

Запасы горючих сланцев данного типа месторождений — от нескольких миллиардов до десятков миллиардов тонн. Сланцы пригодны для химико-технологической переработки и сжигания на электростанциях, поскольку качество их высокое.

Сапропелево-гумусовый тип сланцев имеет преимущественное распространение. Отличительная особенность сланцев данного типа — заметно меньшее, чем в сапропелевом, содержание ОВ (20—25%). В большинстве случаев преобладает сапропелевое вещество, хотя в сланцах отдельных месторождений или пластах одного и того же месторождения нередко преобладает гумусовый материал. Основная масса керогена имеет талломоколлоальгинитовый, или коллоальгинитовый, или колоальгинит-сорбомикстинитовый состав. Содержание гумусового вещества 10—30%. Сланцы данного типа содержат гуминовые кислоты. Почти все петрографические разновидности сланцев, кроме микрокомпонентов группы альгинита, содержат микрокомпоненты группы витринита. Вследствие непостоянства состава ОВ изменяется и качественная характеристика сланцев как по разрезу, так и на площади их распространения (табл. 30).

В. Ф. Полозов [58] в разрезе сланценосной толщи месторождения Общий Сырт Волжского бассейна выделил семь пластов горючего сланца, различающихся не только по внешнему виду, но и по элементарному составу ОВ и химическому составу минеральной части: сланец серовато-зеленый глинистый, серовато-коричневый, зеленовато-коричневый, зеленовато-серый сильноглинистый, светло-зеленый и зеленовато-серый сильноглинистый. Все пласты сланцев многозоль-

Таблица 29. **Характеристика сланцевых смол Ленинградского и Болтышского месторождений**

Показатели	Ленинградское	Болтышское
Выход смолы в лабораторной реторте, %	22	13
Выход смолы в расчете на ОВ, %	70	50
Фракционный состав:		
н. к., °С	130	90
перегоняется, об. %:		
до 150° С	—	7,0
200° С	3,5	19,0
300° С	25,0	46,0
325° С	35,0	57,0
350° С	44,0	67,0
Элементарный состав, %:		
С	83,0	83,6
Н	9,5	11,6
S	1,1	1,2
N	0,1	1,1
О (по разности)	6,3	2,5
Групповой состав, %:		
фенолы + карбоновые кислоты	21,0	1,9
основания	0,1	4,0
парафиновые углеводороды	—	8,0
нейтральные кислородные соединения	45,0	30,0
Теплота сгорания, кДж/кг	40 160	42 840

ные (68—76%); массовая доля ОВ 17—24%; теплота сгорания 3300—15 900 кДж/кг; выход смолы на сланец 4—22%. Сланцы сернистые. Зола сланцев некоторых пластов содержит 27,7% окиси кальция.

Теплота сгорания сланцев изменяется в широких пределах даже в одном и том же пласте месторождения — от 4000—5000 до 10 460—16 740 кДж/кг. Выход смолы на сланец в большинстве случаев 15—20, в среднем 10—15%. Характерной особенностью данного типа сланцев является повышенное содержание сернистых соединений. Форма залежей чаще пластовая или пластообразная, реже линзовидная. Строение полезной толщи от простого до сложного. Нередко в разрезе сланцевой толщи мощностью 5—50 м залегает несколько слоев или большое количество маломощных прослоев сланцев, не выдержанных по мощности и по простиранию. Кроме того, вмещающие породы — глина, мергели — обогащены ОВ и нередко представляют собой тонкодисперсную смесь глинистого вещества и керогена.

Горючие сланцы отдельных пластов, слоев или прослоев отличаются друг от друга составом ОВ и минеральной составляющей: тонкослоистые, тонкоплитчатые неясногоризонтальнослоистые, слабо-

Таблица 30. **Сравнительная характеристика сланцев сапропелево-гумусового типа [4, 58]**

Месторождение	A^c, %	CO_2, %	$S_{общ}$, %	Теплота сгорания, кДж/кг	Выход смолы на сланец, %	Исследователи
Айювинское	44,9—74,0	1,0—19,0	0,8—4,9	3770—15 170	4—16,9	В. В. Богданов
Новосеменовское	42,9—88,5	3—16,7	0,4—17,7	4180—17 800	3,7—23,0	Г. В. Явхута
Туксайское	43—58,2	—	3,8—6,7	8370—3169	12,9	Он же
Чернозатонское	26—70	8—10,1	1,0—8,9	5860—17 700	12,9—24,0	»
Озинковское	48—82,1	3—21,1	5—14,5	3100—12 760	5,2—14,5	»
Кашпирское	45—68,6	5,6—18,2	0,9—5,0	5450—12 560	5—25,0	Ю. И. Корнилова
Общий Сырт (Александро-Сергеевский участок)	43—75,3	3,7—11,7	2,0—6,6	—	4,4—22,3	В. Ф. Полозов

или сильнокарбонатные глинистые, мергелистые, желтовато-коричневые, темно-коричневые, темно-серые, светло-серые и др. Отдельные пласты сланцев расположены сближенно, или замещаются глинами, или состоят из нескольких (3—4) пачек горючего сланца, отделенных друг от друга межпластовыми породами — прослоями вмещающих пород. Элементарный состав горючих сланцев даже в пределах одного и того же пласта довольно значительно изменяется, что объясняется непостоянством петрографического состава прежде всего за счет наличия гумусового материала. Запасы сланцев отдельных месторождений значительны — многие миллиарды тонн.

В Западной Европе образование большей части месторождений горючих сланцев связано с отложениями юрского возраста и распространены они на большой территории. Сланценосный горизонт морского лейаса Западной Европы прослеживается по простиранию вдоль края мезозойско-третичных бассейнов, образовавшихся внутри мегатектонической структуры Западной Европы. Л. Е. Шлаттер [1] отмечает, что пласты горючих сланцев лейаса имеют региональное распространение.

Сланценосная толща прерывисто прослеживается от Испании до Великобритании и содержит несколько пластов горючих сланцев различной мощности и качества. В основной своей массе сланцы бедны ОВ. Теплота сгорания 5000—8370 кДж/кг, выход смолы 5—10%.

В ФРГ в районе Дотернхаузена и Брауншвейга широко распространены так называемые посидонские сланцы, залегающие в горизонте лейасовых морских пород [1, с. 418—430, 441—446]. Сланценосная толща заключает несколько пластов горючих сланцев различной мощности (5—15 м). Выход смолы 3—15%, теплота сгорания 3770—8370 кДж/кг. Содержание ОВ 14—18%. Сланцы верхних горизонтов бедны керогеном (5—8%), тогда как в сланцах глубоких горизонтов

содержание его достигает 18% и теплота сгорания сланцев увеличивается до 7530—8370 кДж/кг. Выход смолы для верхних слоев сланца 4—6%. Такие сланцы имеют тонкую слоистость, легко расщепляются на тонкие листы и при длительном выветривании превращаются в рыхлую массу и разбухают.

Основная масса горючих сланцев приходится на минеральную массу, представленную глинистыми минералами с частицами 0,1— до 10 мкм (иллит, каолинит, монтмориллонит), а также кварцем и карбонатами. Кроме того, установлено присутствие боросиликата. В сланцах присутствуют пирит, марказит и фосфаты. Химический состав минеральной части сланцев (%): SiO_2 —12—51; Al_2O_3 —9—12; Fe_2O_3 —6—7; CaO —18—60; SO_3 —9—10; MgO —1,4—2,0. ОВ находится в тонкой смеси с глинистыми минералами.

В сланцах встречаются форменные углистые микрокомпоненты типа витринита, экзинита и фюзинита размером 20—100 мкм. ОВ коричневого цвета экстрагируется растворителями — в эфире, метаноле, бензоле и четыреххлористом углероде (6—8%). Элементарный состав ОВ (%): C — 81,8; H_2 — 8,8; S — 0,6; N_2 — 1,5; Cl — 0,1; O_2 — 7,8. Выход продуктов полукоксования сланцев верхнего горизонта в реторте Фишера в среднем (%): смола — 5,2; вода — 2,6; полукокс — 89,5; газ + потери — 2,7. Запасы сланцевой смолы юрских горючих сланцев лейаса ФРГ составляют 285 млн. т.

Горючие сланцы месторождения Северак-ле-Шате во Франции имеют аналогичный состав. Общая мощность сланцевой пачки 10—15 м, среди которой залегают четыре пласта сланцев. Мощность пластов сланцев 0,9—5,6 м. Выход смолы 4—5%. Запасы смолы — около 40 млн. т. Месторождения горючих сланцев лейаса Англии также бедны ОВ. Выход смолы —2,3—9,2%. Швейцарские горючие сланцы лейаса показали выход смолы около 12%.

Гумусово-сапропелевый тип горючих сланцев встречается не так уж редко. В основной массе сланцы данного типа бедны ОВ. Содержание последнего не выше 20%. Соотношение гумусового и сапропелевого материала близко 1 : 1 с заметным преобладанием гумусового. Теплота сгорания 4180—8370 кДж/кг. Выход смолы редко превышает 10%. По петрографическому составу сланцы относятся к витринито-коллоальгинитовому и витринито-сорбомикстинитовому типу.

Гумусово-сапропелевый тип горючих сланцев чаще тесно связан с угленосным комплексом пород. Пласты или слои горючего сланца залегают в лежачем или висячем боку пластов угля или переслаиваются слоями угля. В этих случаях в разрезе выделяются собственно сапропелевые, сапропеле-гумусовые, гумусово-сапропелевые сланцы и типичные гумусовые угольно-сланцевые слои, прослои, пласты. Сложность литологического строения и петрографического состава отдельных разновидностей продуктивной толщи создает определенные трудности в отнесении их к тому или иному генетическому типу каустобиолитов. В пределах одного и того же месторождения наблюдается фациальное замещение одного вида горючего сланца другим, или углем, или породными прослоями. Кроме того, в раз-

резе сланце-угольных отложений встречаются слои или прослои собственно сапропелита, в котором почти полностью отсутствуют гуминовые кислоты, содержание азота менее 2%, а серы менее 1%. Сапропелиты незначительно растворимы в органических растворителях (до 3—5%). В то же время смешанные гумусово-сапропелевые образования до 30—50% растворимы в растворителях, содержат высокий процент гумусовых кислот. Образование такого комплекса отложений происходило в озерных, или лагунных, или речных, а в некоторых случаях и в болотных условиях с проявлением многочисленных макро- и микроритмов. Мощность слоев сланцев от 5—10 см до 1 м, реже больше.

ОВ в сланцах — желтоватого и буровато-желтоватого цвета, в виде мелких комочков или отдельных скоплений различной формы. Гумусовый материал в виде коллоидальных сгустков неравномерно распределен во всей массе или содержит в себе сапропелевые вещества.

Качество сланцев весьма изменчиво как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Зола на сухое вещество составляет 50—80%. Углерод ОВ 15—40%. Сланцы высокосернистые. Сланцы такого состава известны в США, Канаде, СССР и других странах. При небольшом содержании серы сланцы могут использоваться в качестве топливного сырья. Запасы их внушительны, но добыча, термическая переработка или непосредственное сжигание сопряжены с немалыми трудностями ввиду бедности сланцев ОВ. Эти сланцы требуют применения обогащения, что удорожает их добычу и переработку, тем более сланцы некоторых месторождений плохо обогащаются. Разработка и переработка их возможны при условии комплексного использования органической, минеральной составляющей, а также извлечения некоторых ценных сопутствующих химических элементов.

В Австрии, в Тироле, горючие сланцы триаса залегают среди осадочного комплекса пород, претерпевших тектонические осложнения [1, 11]. Породы собраны в складки и подвергнуты многочисленным тектоническим нарушениям (сбросы, надвиги и т. п.). Сланценосная толща норийского яруса триаса залегает в хауптдоломитах. Для нее характерно переслаивание доломитов и известняков, содержащих тонкие прослои горючих сланцев в виде битуминозных мергелей. Мощность сланцевой толщи на отдельных участках достигает 700 м. В ней выделяются шесть горизонтов горючих сланцев общей мощностью 120 м, представляющих практический интерес. Образование горючих сланцев, по данным Г. В. Хольцера [1], происходило в сравнительно мелководном оседающем море, в котором период обильной планктонной жизнедеятельности уступал место периоду интенсивного оседания карбонатов. Тирольским сланцам присвоено название «Ольшифер» — горючий сланец. Однако по петрографическому и химическому составу правильнее относить их к битуминозным сланцам.

Содержание ОВ сланцев 10—35%. Представлено оно сапропелем и остатками сильно разложившегося растительного материала гумусового состава. ОВ содержит неопределенный материнский углероди-

стый обломочный материал и плохо сохранившиеся Sporomorphae, *Botryococcus braunii*. В сланцах содержится довольно много хорошо сохранившихся окаменелостей рыб.

Теплота сгорания 3350—8370 кДж/кг, редко больше. Содержание ОВ в бедных сланцах — около 4%, а в богатых слоях сланца доходит до 10—35%. Элементарный состав керогена сланцев крайне непостоянен, даже в пределах одного и того же пласта. Сланцевая смола обычно многосернистая (до 15% и больше). Выход смолы 5—10, очень редко 50%. Повышенный выход смолы приходится на участки проявления свободного битума, приуроченного к трещинам и плоскостям напластования полезной толщи и представляющего собой вязкую смолу черного цвета. Образование свободного битума, по-видимому, обязано более глубокому метаморфизму керогена горючих сланцев за счет тектоно-магматических проявлений альпийского орогенеза. Свободный битум также обнаружен в трещинах пород ладинского яруса «Веттерстейнкалк», в свинцово-цинковых шахтах Блейберга, в Каринтии, и в породах триаса Караванкенских гор.

Фракционный состав сырой смолы тирольских битуминозных мергелей (%): легкая смола — 6—12, тяжелая смола — 21—37, деготь — 12—36 и асфальт — 6—8. Сырая смола используется в качестве основного компонента для приготовления различных медицинских препаратов, ихтиола и других специальных продуктов.

Горючие сланцы бокситоносной свиты эйфельского яруса среднего девона Петропавловского бокситоносного района Северного Урала СССР, по данным академика Д. В. Наливкина [59], содержат большое количество битуминозных веществ, среди которых обнаруживаются капельки жидкой нефти. По его же данным, присутствие капель нефти установлено в граптолитовых сланцах Туркменского хребта и северной оконечности Новой Земли.

На территории Забайкалья, площадью около 800 тыс. км^2, во многих районах установлено сланцепроявление. Сланценосные отложения верхнемезозойского континентального комплекса в основном приурочены к межгорным троговым впадинам различных размеров. Образование таких впадин связано с развитием мезозойской геосинклинали. В возникших в поздней юре озерах накопление горючих сланцев совместно с песчаниками, алевролитами или аргиллитами происходило вплоть до раннего мела. Пласты горючих сланцев иногда залегают в кровле или почве угольных пластов или в виде породных прослоев в углях, что свидетельствует о довольно частой смене палеогеографических условий сланценакопления. В. И. Конивец [4, с. 513—544] считает, что в ранне- и среднеюрский период был широко развит гумидный тип осадконакопления. В засушливое время с обмелением водных бассейнов происходило накопление гумусового материала, послужившего для образования пластов угля. Переход от угля к горючим сланцам постепенный.

ОВ горючих сланцев представлено остатками мельчайших сине-зеленых планктонных водорослей. В большом количестве присутствуют многочисленные остатки растительные, ракообразных, рыб

и насекомых. Накопление органического материала, по-видимому, происходило в мелководных прибрежных частях позднеюрских озер.

Сланцы имеют тонколистовое строение, за что получили название «бумажных» и «книжных» или «рыбных» сланцев из-за наличия в них ископаемых остатков рыб.

Глинистое вещество в основном имеет каолинитовый состав; в виде примеси в нем содержатся мельчайшие зерна кварца, полевых шпатов, пирита, чешуек слюд, хлорита и серицита. В основной органической массе имеются остатки тонкого растительного детрита.

В Гусиноозерской впадине горючие сланцы залегают в нижней части угленосной нижнехолбольджинской подсвиты раннемелового возраста. Горючие сланцы приурочены к нижней части угленосной толщи, для которой характерно переслаивание алевролитов, аргиллитов, горючих сланцев и бурых углей. Залегают они в виде пластов и линз, мощностью 0,12—2 м, в кровле или подошве угольного пласта. Содержание ОВ 40%. Выход смолы на горючую массу достигает 24,4%. Содержание серы общей 6,14, в том числе органической 3,37%, влаги 7,7%. Теплота сгорания 6280—12 560 кДж/кг. Выход смолы 9—10%. Содержание гуминовых кислот 6%.

Остаточно-сапропелевый (коронгито-балхашитовый) тип горючих сланцев образуется в современных условиях в солоноводных лагунах и озерах путем диагенеза водорослей *Botryococcus braunii,* выброшенных на берег и подвергнутых аэрации. Описание данного типа сланцев приводится в основном по работе Р. Ф. Кейна [1]. Водорослевый кероген он рассматривает как «торфяную» стадию в процессе «углефикации» водорослевых сланцев. По его данным, коронгит в зависимости от времени образования представляет собой вязкий гель цвета меди или черную жесткую твердую породу.

Коронгито-балхашитовая, или иначе «торфяная», стадия образования керогена горючих сланцев характеризует последовательность видоизменения исходного водорослевого вещества с превращением в конечном итоге в кероген—$C_{17,02} \cdot H_{29,10}COOH$. Сланцефикация водорослей в Австралии и Океании происходит в современных условиях в неглубоких водоемах на песчаных отмелях, в лагунах вдоль прибрежной части озер и моря. Иногда, как это установлено В. К. Крюковым на оз. Алаколь, которое, как известно, является частью оз. Балхаш, балхашит встречается спорадически в виде мелких кусочков и лепешковидных образований. Некоторые из них засыпаны песком, другие находятся совместно с обломками кислых эффузивов береговой части оз. Алаколь. Образование балхашита происходило в прошлом, когда вода в озере была менее соленой. В настоящее время, как отмечает В. К. Крюков, вода оз. Алаколь насыщена солями настолько, что рыба вся вымерла. В этих условиях балхашит, по-видимому, не формируется. Совсем иная обстановка в Австралии, где в условиях теплого климата и непосредственной близости моря происходит образование коронгита.

Как балхашит, так и коронгит представляют собой стадии образования водорослевого керогена.

По данным Р. Ф. Кейна [1], устанавливается следующий диагенез водорослевого керогена:

— водорослевая поросль *Botryococcus braunii* в поверхностной зоне водоема подвергалась воздействию бактерий;

— образовавшиеся жирные глобулы диаметром 40—70 мкм представляют собой гелевидную массу цвета меди, которая затем приобретает липидную природу матрицы слипшихся плюсков. Таким образом, нерастворимость вещества водорослевого присхождения возникает уже на ранней стадии зарождения керогена. Химическая защита водорослевых образований обеспечивается поляризацией и окислением липидов. На этой стадии вновь образованное ОВ обладает высокой насыщенностью химическими элементами;

— процесс полимеризации липидного вещества уменьшает его ненасыщенность, увеличивает инертность и нерастворимость;

— процесс отвердения, захоронения и уплотнения в дальнейшем пластообразных залежей на дне водоемов или в прибрежной части озер и лагун. Процесс первичного образования исходного ОВ, по-видимому, совершается на сравнительно коротком отрезке времени, так как коронгитовая смола густеет и твердеет быстро. Капли ее зеленого цвета в течение нескольких минут превращаются в коричневое пластическое твердое вещество. В органических растворителях свежий коронгит растворяется до 50%, тогда как более старый — не более чем на 15%.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы по сравнению с известными горючими ископаемыми занимают самостоятельное положение как по природе образования, так и по составу ОВ и минеральной массы. Качество их в основном зависит от массовой доли сапропелевого вещества и степени его превращения в процессе диагенеза. На качество сланцев оказывает влияние гумусовый материал и его состав. Петрографический состав ОВ сланцев в значительной степени влияет на выход смолы и теплоту сгорания.

Основными показателями, определяющими промышленное значение горючих сланцев, являются влажность (W^p), зольность (A^c), выход летучих веществ (V^r), выход смолы на сланец и на горючую массу (T^r), теплота сгорания высшая ($Q_в$), низшая ($Q_н$), условной горючей массы (Q^r). Эти показатели определяются по методике известных государственных стандартов.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СОСТАВ ОВ

По элементарному составу ОВ, содержанию углерода, водорода, кислорода, азота и серы горючие сланцы отличаются от углей и нефти (табл. 31). В сапропелитах содержание углерода 55—80%. Более «чистые» разновидности сланцев, преимущественно сапропелевые, содержат углерода 70—80%, а выход смолы до 30% на сланец и до 66% на ОВ. В сапропелитах установлено более повышенное, чем в гумусовых горючих ископаемых, содержание водорода. На эту особенность горючих сланцев указывал еще А. Ф. Добрянский [3]. По мере увеличения содержания гумусового материала в горючих сланцах качество их снижается как по теплоте сгорания, так и по выходу смолы.

В процессе формирования сланценосных толщ происходило накопление в различных соотношениях организмов фитобентоса, фитопланктона, зообентоса, зоопланктона, морских млекопитающих. Общая масса живого вещества, как отмечает В. А. Успенский [37], за вычетом минеральных скелетных элементов, слагается преимущественно из белков и липоидов, а в составе растительного организма к ним примешиваются целлюлозный материал и инкрустирующие клетчатку нерастворимые высокомолекулярные вещества. Следовательно, кероген горючих сланцев, в основном водорослевого начала, представляет собой многокомпонентный продукт многостадийного превращения исходного живого вещества под влиянием различных факторов. Этим объясняется различие сланцев по химическому составу (табл. 32). Многие сланцы содержат гумусовое вещество.

Сланцы юрского периода имеют более повышенный процент серы. В них ОВ наряду с серой содержит и большое количество кислорода. Все это позволяет допустить, что в образовании их принимали участие не только водорослевый материал, но и компоненты отмершей прибрежной растительности, лигнин и клетчатка.

Изучение петрографического состава горючих сланцев Волжского бассейна позволило А. И. Гинзбург [56] установить, что ОВ сланцев большинства месторождений бассейна состоит из коллоальгинита, а минеральная часть представлена

Таблица 31. **Элементарный состав ОВ горючих ископаемых (по данным В. Е. Веселовского [61], В. А. Котлукова, И. М. Озерова, Д. Д. Русчева, В. А. Успенского, Г. В. Явхута и других авторов)**

Типы ископаемых	Элементарный состав ОВ, %				
	C	H	N	S	O
Антрацит	95—97,5	1,2—2,7	0,1—1,3	0,1—2,3	
Каменный уголь	76—94,0	4—6,0	1,5—1,8	2,0—17,5	
Бурый уголь	53—76,0	4—6,8	0,1—3,0	0,5—6,0	16,31
Торф	53—62,0	5,6—6,5	0,6—4,0	0,1—0,4	24—40,0
Сапропели:					
болотные	53—60,0	6—7,4	4,6	0,5—4,0	38,4
озерные	52—59,0	5—8,0	3—6,0	1,6	37—41,6
Сапропелиты	74—79,0	6—8,0	—	0,3—0,5	11—18,0
Балхашит	68—76,0	9,9—11,8	0,8—1,0	0,6—1,1	12,5—21,4
Коронгит	77,5	11,2	0,4	0,2	11,9
Горючий сланец:					
сапропелевый	70—80,0	8—10,0	0,9—3,0	0,5—2,0	11—16,0
сапропелево-гумусовый	60—75,0	7—9,0	1—2,5	2,5—6,0	До 20
гумусово-сапропелевый	55—65	6—8,0	1—2,5	2,5—12,0	До 24
Асфальтиты	80—86,0	2—11,0	0,4—0,8	2,5—10,0	0,6—1,0
Нефти:					
метановые	84—85,5	14,3—14,8	0,1—1,2	0,1—0,8	1—7,8
нафтеновые	85—87,0	12,5—14,2	0,1	0,2	0,1—2,0
сернистые	86—87,5	11—12,5	0,3—0,7	12,0	0,5—6,0
смолистые	86—87,5	11—12,5	0,3	2,0	0,5—1,0
окисленные	83—86	11—13,5	—	—	2—3

карбонатом с глинистым и алеврито-глинистым веществом. По этим признакам выделено три петрографических типа горючих сланцев, ОВ которых различается прежде всего по содержанию углерода (табл. 33). А. И. Гинзбург считает, что петрографические типы сланцев Волжского бассейна по составу керогена и степени его углефикации и по минеральной части близки к горючим сланцам Припятского бассейна, но отличаются от них по химическим показателям—по выходу летучих веществ и содержанию углерода и водорода. Относительно пониженное содержание последних в волжских сланцах А. И. Гинзбург объясняет более низкой стадией их углефикации и, возможно, другим исходным материалом коллоальгинита.

Во многих месторождениях пласты горючих сланцев сланценосной толщи различаются по петрографическому и химическому составу. Изменчивость петрографического и химического состава ОВ отдельных пластов характеризует качество сланца и определяет его промышленное использование. О степени изменчивости состава ОВ сланцев отдельных пластов Кашпирского месторождения говорит Г. В. Явхута (табл. 34).

Аналогичный характер химического состава и распределения ОВ в сланценосных толщах наблюдается и на других месторождениях многих бассейнов.

Горючие сланцы в зоне выветривания подвержены окислению. По сравнению со сланцами зоны неизмененных сланцев окисленные сланцы содержат меньше углерода и больше кислорода и серы (табл. 35). Содержание ОВ в 1,5—2 раза меньше, чем в неизмененном, теплота сгорания сланца и выход смолы значи-

Таблица 32. Сравнительная характеристика элементарного состава ОВ горючих сланцев некоторых месторождений [1, 3, 4, 12—14, 32, 38, 44, 46, 51 и др.]

Месторождение	Возраст	Содержание керогена, %	Выход смолы на ОВ, %	Элементарный состав ОВ, %					
				C	H	N	O	S	C/H
Оленекское	Є	27,0	33,0	74,0	8,5	1,6	13,4	6,9	8,7
Ленинградское	O	35,0	66,0	75,6	9,4	0,5	13,1	1,4	8,0
Эстонское	O	37—40	66,0	77,0	9,5	0,2	11,4	1,7	8,1
Веймарнское	O	28—42	62,6	71,7	8,3	1,2	15,1	1,3	8,1
Алексеевское	O	37,2	43,6	72,7	8,6	19,7		—	8,4
Чудовское	O	29,5	61,0	76,6	8,9	0,7	13,0	0,8	8,6
Эрмело	PZ	43,8	34,0	79,6	7,8	1,5	9,6	1,2	10,0
Лемезинское	D	18—30,0	23—27,0	69—73	7,1—7,4	0,3—0,6	20,4	—	9,8
Туровское	D	19,9	42,0	60,5	10,4	0,7	26,9	1,4	6,0
Шотландское	D	12,3	56,0	79,7	9,5	2,0	8,3	0,5	3,4
Ашанское	D_3	18—20	28,5	71,8	8,1	2,3	11,2	6,6	8,8
Лотиана	C	12,7—26,0	43,0	76—80,4	7,6—8,6	2,3—3,2	8,6—3,2	8,6—9,5	9,7
Кендерлыкское	P—C	32,0	30—42,0	77,4	8,8	2,0	9,8	2,0	8,8
Пуэртольяно	P—C	26,0	57,0	—	—	—	—	—	—
Новый Южный Уэльс	P—C	15—35	—	81,5	10,7	0,29	3,7	3,6	8,0
Отэн (сапропелиты)	P—C	23,8	44,0	До 85,0	До 11,5	1,0	До 2,9	0,3	7,7
Ирати	P	20—30,0	59,0	—	—	—	—	—	—
Тасманские	P	До 30	—	72,5	9,1	1,1	3,0	10,5	8,0
Раватское	T	—	—	70,2	8,4	—	19,6	1,8	8,3
Вюртенбергское	J	15,0	—	81,8	8,8	1,5	7,8	0,6	9,0
Балахтинское	J	—	49,0	77,0	9,1	1,0	12,5	0,4	8,4
Иршинское	J	—	29,5	74,0	7,5	1,3	18,5		9,8
Дергуновское	J	28,3	27,6	70,4	8,4	—	13,8	7,4	8,1

Продолжение табл. 32

Месторождение	Возраст	Содержание керогена, %	Выход смолы на ОВ, %	Элементарный состав ОВ, %					
				C	H	N	O	S	C:H
Чернозатонское	J	20—30	32,0	65,3	7,0	21,0		6,7	9,4
Карадагское	J	20—40,0	30,0	65,5	5,4	0,8	24,3	4,0	10,2
Воронье-Волосковское	J	25,0	31,6	62,0	7,3	2,2	14,0	7,0	7,7
Ибское	J	23,6	—	55,6	7,9	1,6	30,0	4,9	7,7
Захарьевское	J	15—20	—	56,8	8,3	34,9			6,7
Мантуровская группа	J	20—25	30,0	56—61,4	6,5—8,1	1,3—1,6	29,1—33,6		7—8,5
Новосеменовское	J	До 55	36,3	59,8	7,8	24,7		7,8	7,6
Общесыртовское	J	35,3	35,2	74,5	8,8	0,6	—	11,8	8,4
Ульяновское	J	20—40	30,0	60,8	6—7,4	1,3	26,2	5,0	9,0
Левосвияжское	J	—	27,6	61,0	7,0	31,2		—	8,7
Кашпирское	J	30,0	37,0	66,1	7,9	1,4	18,1	6,3	8,4
Савельевское	J	—	34,0	62,0	7,3	1,6	23,5	5,6	8,6
Озинковское	J	До 30,0	29,3	65,3	8,3	1,4	19,4	5,6	7,0
Мессел	P—Ng	—	—	59,5	7,1	2,8	30,6	—	8,4
Новодмитриевское	P—Ng	—	42,0	60,2	5,7	13,0	27,5	3,3	10,5
Болтышское	P—Ng	30—40,0	42—55	68,0	7,3	1,3	17,7	1,5	7,3
Верхнесиневидное	P—Ng	15—20,0	18,6	68,6	6,8	2,1	21,1	2,0	10,0
Фушунь	P—Ng	18—22,0	33,0	77,0	9—10	3,2	—	—	8,6
Посидонское	P—Ng	11,2	40,0	81,8	8,8	1,5	7,8	0,6	9,2
Байсунское	P—Ng	28,4	32,1	65,7	7,8	2,3	1,0	5,2	8,4
Алексинац	P—Ng	16—21,0	49,0	75,9	9,3	2,1	13,6		8,1
Боровдольское	P—Ng	25—30	—	74,2	9,2	15,2		1,4	8,0
Преоленна	P—Ng	26,5	—	82,3	6,4	2,2	8,5	0,6	10,3
Коронгское	Q	1,0	—	77,56	11,21	0,1	10,71	0,4	7,0
Балхашское	Q	—	—	73,76	10,61	0,4	13,74	1,55	7,0

Таблица 33. **Химический состав горючих сланцев Припятского (D_2) и Волжского (J_3) бассейнов [56], %**

Петрографический тип сланцев	Химический состав ОВ после действия HCl и H								Содержание ОВ в породе	Содержание гуминовых кислот
	W^a	A^a	$S^a_{общ}$	V^r	C^r	H^r	N^r	$S^a_{пир}$		
Волжский бассейн, Кашпирское месторождение										
Известковистый коллоальгинитовый	1	2,41	9,46	87	65,35	7,40	0,99	0,92	20,14	0,07
Глинистый коллоальгинитовый	0,84	2,18	7,45	87	68,39	7,35	0,97	1,68	42,08	0,31
Алеврито-глинистый коллоальгинитовый	0,80	5,68	10,47	80,14	70,18	7,13	1,33	3,35	23,32	0,13
Белоруссия, Припятский бассейн										
Известково-глинистый коллоальгинитовый	Нет данных									
Известково-коллоальгинитовый	0,41	9,98	—	82,0	77,44	10,14	0,57	3,02	21,0	0,062
	0,20	5,99	3,90	90,0	77,78	9,76	0,47	3,48	13,88	0,01
	0,50	16,3	5,79	91,2	78,44	9,86	0,83	4,14	18,87	~1
Алеврито-известковистый коллоальгинитовый	1,30	16,0	6,68	87,2	73,02	10,08	—	5,16	19,74	Нет данных

Таблица 34. **Состав ОВ сланцев Кашпирского месторождения [4, с. 255], % (участки 4.10-бис, 10, 12, 13, 14, 15)**

Пласты и пачки	C^r	H^r	S^r	$O+N^r$
I	59,50—71,10	5,12—9,78	4,22—9,45	11,38—24,70
	65,46	7,60	7,19	19,72
II, верхняя пачка	62,20—75,20	4,12—9,80	3,50—11,30	4,70—21,88
	67,05	7,46	7,47	18,02
II, средняя пачка	62,20—72,80	5,27—10,45	4,83—10,60	6,81—23,84
	67,42	7,86	6,44	18,88
II, нижняя пачка	54,50—73,80	5,64—10,90	1,23—5,97	8,40—35,27
	64,55	8,87	4,19	22,39

Примечание. В числителе — пределы, в знаменателе — средние значения.

тельно ниже. Как правило, выветрелые сланцы более высокозольны, чем неизмененные. Сланцы проб, отобранных из зоны выветривания, не горят или слабо тлеют на костре. В. В. Богданов [4, с. 163—172] отмечает, что сланцы проб, отобранных в береговых обнажениях рек Ижмы, Айюве, Вонь-ю и Одес Ижемского сланценосного района Тимано-Печорской области, относятся к зоне выветривания и содержат (%): 44—74 золы, 8—44,1 ОВ, 0,8—4,44 серы, 52—82,7 летучих, вы-

Таблица 35. **Характеристика ОВ горючих сланцев в зонах выветривания**

Месторождение, номер и место отбора проб	Элементарный состав ОВ, %						Содержание ОВ, %	Выход гуминовых кислот, %	Исследователи
	$C^г$	$H^г$	$N^г$	$O^г$	$S^г$	C/H			
Байсунское:									
44/1, штольня № 1 — 2,5 м от устья	63,0	7,74	1,98	21,80	5,48	8,14	31,44	25,26	И. М. Озеров, Г. Э. Соловушкова
46/9, штольня № 1 — 6 м от устья	65,90	7,67	2,30	18,95	5,18	8,35	28,36	18,00	
54/45, штольня № 1 — 60,0 м от устья	70,50	8,80	2,40	13,50	4,80	8,02	27,70	10,30	
Кендерлыкское:									
пласт «Калын-Кара» (внизу разреза) в обнажениях рек Аба и Акколка	68,0—76,7	7—7,8	1,8—1,9	14—24,8		9,8	—	—	Л. Ф. Белянкин
штольня	84,5	10,7	0,46	3,57	0,75	8,0	28,80	—	
пласт «Лучший» (вверху разреза) в обнажениях рек Аба и Акколка	72,0—76,6	8,4	1,7	14,9		9,0	—	—	
штольня	85,0	11,3	1,0	2,2		0,3	7,5	39,60	
Воронье-Волосовское:									
верхняя пачка	57,0	8,0	2,0	3—3,5	29,5	7,1	20,10	—	И. М. Озеров
нижняя пачка	67,0	9,5	2,5	7,0	14,0	7,0	21,62	—	

ход смолы 4—16,9%, теплота сгорания 4000—15 280 кДж/кг. Низкий (в среднем 3,9—9,2%) выход смолы из сланцев Ибского месторождения объясняется, как указывает В. П. Абрамов [4, с. 177—185], их сильной окисленностью. Элементарный состав сланцев Ибского месторождения (%): С — 55,63, Н — 7,97, S — 4,96, N — 1,61, О — 29,83. Многие исследователи отмечают, что сланцы зоны выветривания содержат повышенный процент серы.

По элементарному составу, отношению выхода смолы полукоксования и теплоте сгорания горючие сланцы отличаются от торфа, бурых и каменных углей и ближе всего стоят к сапропелям. Для бурых и каменных углей значение T/Q ниже 2, а для торфа 2—3. Судя по данным табл. 36, 37, T/Q для сланцев составляет больше 4, следовательно, в их образовании участвует сапропелевое вещество. При глубокой степени метаморфизма оно довольно резко изменяет свои свойства и становится почти неотличимым от угольного вещества.

Химический состав керогена сланценосной толщи многих месторождений изменяется по вертикали разреза за счет неоднородности петрографического состава и различной степени метаморфизма исходного ОВ. Пласты сланцев в зависимости от положения их в разрезе толщи отличаются друг от друга по составу керогена, выходу смолы и теплоте сгорания. Примером может служить Кендерлыкское месторождение (табл. 36).

На неоднородность элементарного состава керогена различных месторождений обращал внимание А. Ф. Добрянский [3], анализировавший химический состав сланцев более 60 месторождений. Если даже учесть погрешность в анализах керогена некоторых месторождений, поскольку они выполнялись различными организациями, и несопоставимость полученных результатов на стадии их детального изучения, то общее положение об изменчивости химического состава ОВ в пределах одного и того же месторождения или бассейна остается в силе. В керогене месторождений горючих сланцев содержание С 56—81, Н — 7—10, О — 7—30%. С/Н — 7,5—10.

По показателю С/Н горючие сланцы отличаются от других типов каустобиолитов:

Нефть	6,0—7,5
Сланец горючий	7,5—9,5
Бурые угли	11—15
Торф	9—11
Каменный уголь	13—20

А. Ф. Добрянский в зависимости от содержания углерода в керогене устанавливает и приблизительный выход продуктов полукоксования сланцев [3, с. 192]:

Содержание С в керогене, %	Выход продуктов на кероген, %			
	Смола	Вода	Газ	Полукокс
56—55	10—15	22—25	31—35	35—40
55—60	15—25	18—22	28—31	28—35
60—65	25—38	15—18	26—28	22—28
65—70	38—48	10—15	23—26	18—22
70—75	48—57	7—10	17—23	13—18
75—80	57—67	5—7	11—13	13—17

Действительно, процент выхода смолы на ОВ находится в прямой зависимости от содержания в нем углерода. Во многих случаях чем выше процент углерода в керогене, тем выше и выход смолы и теплота сгорания. Однако керогены, имеющий высокое содержание углерода, нередко характеризуется глубокой степенью метаморфизма. Под воздействием тектоно-магматических и других процессов ОВ, потеряв бо́льшую часть органогенных химических элементов (водорода, азота и кислорода), может преобразоваться в чисто углеродистый минерал типа шунгита с содержанием углерода 84—98,7, водорода 0,2—0,9%.

Таблица 36. **Характеристика сланцев Кендерлыкского месторождения [4, с. 419—455]**

Показатели	Пласт „Калын-Кара"	Пласт „Лучший"	Средние горючие сланцы (средняя пачка)
Влага рабочая на сухой сланец, %	6,4	3,3	1,2
Состав сухого сланца, %:			
зола	68,3	57,3	69,5
CO_2	1,9	2,5	3,4
ОВ	28,8	39,6	27,1
$S_{общ}$	1,80	1,60	0,60
Теплота сгорания, кДж/кг	10174	13816	9546
Выход продуктов полукоксования на сухой сланец, %:			
смола	9,4	18,2	13,7
газ	4,2	4,7	3,9
вода	2,5	3,7	1,7
полукокс	83,9	73,4	80,7
Выход смолы на горючую массу, %	31,6	45,8	50,6
Состав ОВ, %:			
C	77,3	77,5	76,6
H	8,4	8,4	9,5
N	2,3	1,9	1,9
O+S	12,0	12,2	12,0
Выход летучих, %	22,0	29,5	—
Теплота сгорания горючей массы, кДж/кг	34122	34917	35169
Отношение выхода смолы к теплоте сгорания	3,9	5,5	6,0
Элементарный состав смолы, %:			
C	84,5	84,9	84,7
H	10,7	11,6	11,9
S	0,7	0,3	0,3
O	3,6	2,2	2,0
N	0,5	1,0	1,1
Основания, %	1,22	2,66	5,5
Парафины, %	0,88	1,24	2,65
Кислоты, %	3,25	1,35	1,44

Несколько особое положение занимают и менилитовые сланцы Карпат. ОВ менилитовых сланцев украинских Карпат имеет довольно изменчивый элементарный состав (табл. 37). Особенно характерно для них отношение углерода к водороду —7—9,9.

Менилитовые сланцы залегают среди отложений нижнеменилитовой свиты олигоцена. Они подразделяются на кремнисто-глинистые, кремнистые с примесью гидроокислов железа и углистого ОВ и известково-глинистые. Бесструктурное ОВ неравномерно пронизывает минеральную массу. Содержание керогена в сланцах в среднем 10—16, на отдельных участках 20—25% [44].

Кероген менилитовых сланцев представляет собой твердую углеобразную форму фоссилизированного ОВ, находящегося на буроугольной стадии метамор-

Таблица 37. **Элементарный состав ОВ менилитовых сланцев [44], %**

Место взятия пробы	C	H	N	S	O (по разности)	C/H
Спас-на-Днестре	60,82	8,15	0,87	6,75	25,21	9,9
Борислав	64,81	6,93	1,15	6,81	20,30	9,3
Сходница	63,83	8,10	1,64	5,91	20,52	7,8
Любинцы	57,10	6,12	0,47	6,20	30,11	8,5
Синевидско-Выжне	64,32	6,53	0,39	7,90	20,11	9,7
Гошев-Долина	60,59	7,25	—	4,84	27,32	8,3
Спас-на-Чечве	61,18	6,15	0,24	5,72	26,71	9,9
Дуба	58,13	8,17	1,47	7,25	24,68	7,0
Манява	58,38	7,05	1,21	6,13	27,23	8,2
Пасечна-Пнев	58,23	6,93	1,83	6,75	24,52	8,6
Делятин	60,22	6,15	0,43	4,15	29,05	9,8

физма. На элементарный состав ОВ менилитовых сланцев кроме явлений его фоссилизации в момент накопления, по-видимому, оказали влияние и тектономагматические проявления. При содержании ОВ до 20% выход смолы составляет лишь 2—6%.

ОВ менилитовых сланцев, по данным А. И. Гинзбург, относится к сапропелитовому типу, среди которого выделяются разновидности: витринито-сапрогумосорбомикстинитовый, витринито-коллоальгинитовый и сапрогумосорбомикстинитовый.

Элементарный состав ОВ горючих сланцев среднего ордовика Прибалтийского бассейна по сравнению с диктионемовыми сланцами нижнего ордовика того же бассейна более однороден.

А. С. Фомина [1, с. 184—192] приходит к заключению, что основная часть углерода керогена кукерсита имеет алифатическую природу сложного полимерного строения. Под влиянием окружающей среды и происходящих процессов исчезали первоначальные связи и возникали новые, более устойчивые. Керогеновая разновидность диктионемового сланца претерпела более глубокие превращения исходного материала, чем у кукерсита. В диктионемовом сланце содержание азота значительно больше, чем в кукерсите, что обусловлено синтетическими веществами, возникшими в результате взаимодействия продуктов распада протеинов, хитина, углеводородных составляющих и др. А. С. Фомина считает, что в структуре диктионемового сланца значительную роль играют оксиароматические элементы, связанные в макромолекулах трехмерными связями.

Заслуживает внимания водорослевый кероген, образование которого происходит в современных условиях соленых водных бассейнов (озер и лагун) за счет слияния жирных плюсков водорослей, как отмечает Р. Ф. Кейн. Консистенция его разнообразная — от вязкого гелевидного вещества до жесткой твердой породы гетерогенной структуры. Источником образования данного типа керогена служили водоросли *Botryococcus braunii*.

Содержание ОВ около 90%. Элементарный состав коронгита и балхашита, по данным Р. Ф. Кейна [41] и В. С. Веселовского [61], довольно близок (табл. 31). Выход летучих веществ коронгита на органическую массу составляет 75%. Выход смолы на кероген 65—70%.

В свежем состоянии коронгит и водорослевая пленка смешаны и плавают на поверхности воды в виде желтоватой маслянистой пленки, а при высыхании воды бассейнов или выброшенные на берег по мере высыхания образуют плотную кожеобразную массу [41].

Наблюдаемые резкие расхождения между значениями C/H и выходом смолы на сланец и ОВ прежде всего объясняются различием петрографического состава керогена и степенью геохимического превращения ОВ в определенных палеогеографических условиях. Проявление реакций дегидратации и декарбоксилирования

в процессе превращения ОВ, а также воздействия метаморфической деструкции сапропелевых отложений и определили в конечном счете элементарный состав керогена сланцев. Объяснить различие химического состава керогена геологическим возрастом образования месторождения, как это считают некоторые исследователи, вряд ли справедливо. Геологический возраст, как правильно отмечал А. Ф. Добрянский [3], играл второстепенную роль. Горючие сланцы различного элементарного состава встречаются в палеозое, мезозое и кайнозое. Они имеют широкий диапазон содержания гетероатомов в ОВ, вследствие чего элементарный состав керогена разнороден.

Гумиты, как продукты разложения лигнино-целлюлозного материала наземных растений, в большинстве случаев бедны водородом. Более высокое содержание водорода в сапропелевом материале обязано богатому водородом белково-жировому веществу отмерших водорослей. Гумито-сапропелиты и сапропелито-гумиты, как смешанные типы, занимают промежуточное положение.

Основная масса горючих сланцев известных месторождений, образовавшихся из отложений сапропелевого и гумито-сапропелитового типа, не подвергалась воздействию высоких температур в зоне катагенеза, что создавало благоприятные условия для развития и завершения реакции полимеризации и конденсации полимерлипидных компонентов. По этой причине процесс метаморфической деструкции, связанный с образованием и удалением низкомолекулярных предельных углеводородов, практически не получил развития и ОВ не обеднялось водородом. Содержание водорода в керогене горючих сланцев можно рассматривать как оценочный признак сапропелевых отложений.

Элементарный состав горючих сланцев, содержание углерода и водорода, теплота сгорания и выход смолы полукоксования — основной комплекс показателей, который позволяет судить о доле участия сапропелевого и гумусового вещества в образовании горючих сланцев.

Кероген сланцев представляет собой концентрат гетероатомных полимеров, практически нерастворимых в органических растворителях, и показывает отношение водорода к углероду. Он отличается от угольного вещества по петрографическому и элементарному составу и по растворимости.

ВЫХОД СМОЛЫ

На выход смолы из горючих сланцев, без учета температурного режима переработки, основное влияние оказывают петрографический состав и степень химического превращения исходного ОВ. Процент выхода смолы на сланец не всегда остается постоянным в пределах промышленного контура месторождения. Изменения наблюдаются как по мощности промышленного пласта, так и по площади распространения сланцев.

Среди горючих сланцев можно по содержанию ОВ выделить три вида (%): богатые — свыше 20, среднего содержания — 10—20, бедные — меньше 10.

По проценту выхода смолы на сланец также можно выделить три основных вида сланцев: высоко-, средне- и низкосмоляные.

Высокосмоляной вид — самый богатый по выходу смолы на сланец (20—40, иногда до 45% и более). Выход смолы на ОВ, как правило, превышает 40%. Соотношение С/Н в смоле 8—8,5. Для получения 1 т сланцевой смолы потребуется переработать 4—6 т сланца. На базе таких сланцев могут быть организованы высокопроизводительные предприятия химического профиля.

Кроме топлив из сланцевой смолы полукоксования и ее дистиллятных фракций может быть получен обширный ассортимент сланцехимических продуктов. К этому виду относятся горючие сланцы многих месторождений Европы, Америки, Азии, Африки и Австралии (табл. 38).

Содержание ОВ в высокосмоляных горючих сланцах 30—45%. В основной своей массе такие сланцы имеют сапропелевый или сапропелево-гумусовый состав.

Сланцы некоторых месторождений непосредственно используются для производства химических продуктов и сжигания без глубокого обогащения. Как правило, сланцы, за исключением тасманитов, содержат небольшой процент серы. Смолы обычно малосернистые Незначителен в них и процент азота — не более 1,5. Содер-

Таблица 38. **Месторождения высокосмоляных горючих сланцев**

Месторождение	Страна	Возраст	Выход смолы на сланец, %
Илфорд-Рилсон	Австралия	P	62—81
Хартли-Вейл	»	P—C	62
Альфа	»	P	20—60
Муррурунди	»	P	48—61
Бэриган	»	P	48
Каперти-Уолган	»	P—C	40—47
Преоленна	»	P	40
Пелион	Тасмания	P—C	36
Ваккерстром	ЮАР	C	36
Верхнесилезские	Польша	C	6—32
Глен-Дэвис	Австралия	P	30
Эстонское	СССР	O_2	20—40
Ленинградское	»	O_2	20—33
Зеефельд	Австрия	T	15—30,0
Баффл-Крик	Австралия	P—Ng	10—33,7
Овьедо	Испания	C	30
Мерид	Швейцария	T	27
Мэсот	Таиланд	P—Ng	26—42
Рибесалбес	Испания	Ng	26
Орепуки	Новая Зеландия	P—Ng	24
Безаро	Италия	P—Ng	24
Иллавара	Австралия	P	20

жание фенолов в смоле нередко превышает 20%. Теплота сгорания 8400—19 000 кДж/кг.

Среднесмоляной вид имеет выход смолы 10—20% на сланец. Выход смолы на ОВ 30—40%. Характерная особенность вида — неоднородность и частая изменчивость петрографического состава как по разрезу, так и по площади сланценосной толщи. В пределах одного и того же месторождения нередко залегают пласты преимущественно сапропелево-гумусового или гумусово-сапропелевого состава с заметным преобладанием одного из них. По этой причине наблюдаются резкие колебания в выходе смолы от условной органической массы.

Поскольку кероген сланцев различного химического состава, то и состав смол разнообразен. В одних смолах наблюдается повышенное содержание ароматических углеводородов, в других смолы содержат повышенный процент парафинов или сернистых соединений и т. д. Различаются смолы по выходу отдельных фракций и их составу.

Основная доля мировых запасов сланцев приходится на данный вид. Запасы отдельных месторождений обычно составляют многие миллиарды и даже сотни миллиардов тонн. Представителями данного вида горючих сланцев являются месторождения Грин-Ривер, Колорадо США, Болтышское Украины, Тремембе Бразилии, Пуэртольяно Испании и др. Некоторые из них разрабатывались в недалеком прошлом, другие разрабатываются или подготовляются к разработке (табл. 39). Значительно повышается экономический эффект промышленного использования сланцев с применением схемы комплексной переработки.

Смолы, как правило, сернистые, одни меньше, другие больше. Содержание сернистых соединений в сланцах некоторых месторождений свыше 10%. Сераорганические соединения представлены меркаптанами, сульфидами, дисульфидами и полисульфидами, тиофеном и их гомологами, би- и полуциклическими соединениями. Некоторые смолы содержат повышенный процент парафина. В смоле сланцев IV горизонта Болтышского месторождения содержится до 5—8,4% парафина. Выход парафинов и нафтенов смол сланцев различных месторождений [62], %:

Фракции выкипания, °С	Кендерлыкское	Усть-Каменногорское	Болтышское
До 200	31	25	18—27
200—300	32	24	23—26
300—350	27	26	26—36

Процент азотистых соединений в сланцевых смолах от сотых долей процента до 1,5—3% и выше. Содержание азотистых оснований в смоле сланцев Байсунского месторождения составляет 4% в расчете на смолу, в смолах сланцев Болтышского месторождения —2,4—4,6. Наличие их установлено в смоле шотландских, грин-риверских сланцев.

Таблица 39. **Месторождения среднесмоляных горючих сланцев (по данным А. Ф. Добрянского, Г. В. Озерова, В. А. Котлукова, В. И. Стефановой, И. М. Озерова, В. С. Файнберга и других авторов)**

Месторождение	Страна	Возраст	Выход смолы на сланец, %
Эль-Луджана	Иордания	K	До 20,0
Амхрест	Бирма	P—Ng	До 20,0
Молларо и Метауро	Италия	K	18—20,0
Алексинац	Югославия	P—Ng	До 18,0
Рома	Австралия	J	10—18,4
Новая Скотия	Канада	C	18,8
Эрмело	ЮАР	C	17,6
Дорсет, Норфолк и др.	Англия	J	13—18,4
Нижний Валлуун-Инджун	Австралия	J	9,9—18,4
Пуэртольяно	Испания	P—C	17,6
Бессонковское	СССР	J	17,6
Альберт	Канада	C	До 17,4
Болтышское	СССР	P—Ng	15,0
Аляска	США	J	10—15,0
Вурнарское	СССР	J	14,7
Латроба	Тасмания	P	14,0
Ньюфаундленд	Канада	C	До 14,7
Кендерлыкское	СССР	P—C	13,5
Луалаба	Республика Заир	J	13,4
Сидра	Польша	Q	13,4
Квебек	Канада	C	12,0
Кашпирское	СССР	J	11,3
Ирати	Бразилия	P	11,3
Антанифоси	Мадагаскар	P—Ng	11,0
Колорадо (Грин-Ривер)	США	P—Ng	10,4
Монтерей и Сискуок	»	P—Ng	10—15,0
Аляска	»	P—Ng	10,5
Кусейр	ОАР	J	10.5
Байсунское	СССР	P—Ng	10,3
Меби-Муса	Иордания	K	10,9
Пиринское	Польша	P—Ng	10,4
Отён	Франция	P	10,0
Брезникское	Польша	P—Ng	10,0

Наряду с другими химическими продуктами из сланцевых смол отдельных месторождений могут быть получены сернокислый аммоний, аммиак, пиридин, техническая сера и др. Практическая ценность горючих сланцев некоторых месторождений заключается еще и в том, что в них обнаружено присутствие редких и рассеянных элементов: урана, ванадия, молибдена, германия и т. д. Кроме того, наличие в минеральной части сланцев некоторых месторождений сопутствующих компонентов (Al_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, фосфорсодержащих минералов и др.) создает благоприятные условия для их добычи и переработки.

Низкосмоляной вид характеризуется выходом смолы на сланец в среднем менее 10% (табл. 40). Сланцы данного вида составляют основную массу мировых запасов. Огромные запасы заключены в менилитовых сланцах Карпат, черных горючих сланцах девоно-каменноугольного возраста США, палеоген-неогеновых отложениях сланценосных провинций КНР и т. д.

Сланцы бедны ОВ (10—15%), который в основном гумусово-сапропелевого состава.

Таблица 40. **Месторождения малосмоляных горючих сланцев (по данным Г. В. Озерова, Е. И. Стефановой, В. Т. Падула, Д. Т. Гринсмита, В. С. Файнберга, Г. Ф. Гольцера, У. Ч. Кульбертсона и других авторов)**

Месторождение	Страна	Возраст	Выход смолы на сланец, %
Тремембе	Бразилия	Р—Ng	4—21,0
Лотиана	Шотландия	J	8—17,0
Сабина-Сугарло	Австралия	C	8—16,0
Эль-Пулар	Чили	Р—J	8—13,0
Танжер	Марокко	K	7—16,0
Маоминское	КНР	Р—Ng	8—9,0
Ваньяс	Франция	K	7—12,2
Сандакра	Швеция	Р—Ng	3—15,0
Квебек	Канада	C	7—14,6
Херинг	Австрия	Р—Ng	1—13,0
Диллон-Делл	США	P	8,3
Эйн-Бокуек	Израиль	Р—K	7—8,0
Мессел	ФРГ	Tr	7,0
Сирийские	Сирия	K	6,5
Пиринское	Болгария	Р—Ng	5—10,0
Оманс	Франция	P	5—10,0
Радомирское	Болгария	Р—Ng	5—9,0
Нерке	Швеция	Є—S	5—7,0
Фушуньское	КНР	Р—Ng	4,7
Новая Шотландия	Канада	D—C	5,3
Манитоба	»	K	5,2
Саскачеван, Оклахома	США	D—C	4—9,0
Ум-Барек	Израиль	K	3—8,0
Эфье	»	K	4—10,0
Северак-ле-Шате	Франция	J	1—4,0
Карвендел	ФРГ	T	3,0
Серро-Ларго	Уругвай	P	3—5,0
Карпатские менилитовые сланцы	Польша, СССР	Р—Ng	2—12,0
Вестерготланд	Швеция	Є—S	3—4,0
Черноглова	Польша	J	3—13,0
Брауншвейг	ФРГ	J	4,5
Дотернхаузен	»		3—4,8
(Вюртенберг)		Р—Ng	
Боровдольское	Болгария		5—8,0

Особенностью многих месторождений является совместное нахождение в разрезе сланценосной толщи пластов сланцев и углей. Нередко наблюдается взаимопереход сланца в угли, и наоборот. Выход смолы на ОВ 15—20% и больше, а на сланец не более 10 и, как исключение, 15% (табл. 40).

ЗОЛЬНОСТЬ

Зольный остаток от сжигания сланцев, в зависимости от их состава, составляет значительный процент (45—85%). Процент зольности сланцев является оценочным промышленным критерием. Сланцы с зольностью свыше 85% в современных условиях промышленностью не используются. Естественно, чем выше процент выхода золы, тем меньше содержание ОВ, тем ниже теплота сгорания сланцев и выход смолы на сланец (табл. 41).

Выход золы у малозольных сланцев — менее 60%. Теплота сгорания — выше 10 400 кДж/кг, выход смолы на сланец — более 20%. Сланцы богаты ОВ, высококалорийны, с максимальным выходом смолы и представляют основную промышленную ценность прежде всего для сланцехимического производства. Данный вид сланцев, как показал опыт СССР, с успехом может найти применение в качестве энергетического сырья для сжигания их в крупных масштабах на электростанциях. На базе прибалтийских сланцев работают Прибалтийская и Эстонская ГРЭС (каждая по 1600 МВт) со сжиганием 9—10 млн. т/год сланца каждая с низкой теплотой сгорания (9200—8400 кДж/кг). В крупных масштабах прибалтийские сланцы подвергаются термической переработке на трех сланцеперерабатывающих комбинатах с получением обширного ассортимента сланцехимических продуктов.

Выход золы у среднезольных сланцев — до 70%. Теплота сгорания 8400—9600 кДж/кг, выход смолы на сланец 10—20%. Сланцы такого качества, подобно кашпирским сланцам Волжского бассейна, могут найти самостоятельное применение для получения сланцехимических продуктов и для сжигания на электростанциях. В зависимости от химического состава зольный остаток может быть использован при производстве вяжущего, минеральной ваты, легкого наполнителя бетона и других строительных материалов.

Выход золы высокозольных сланцев — до 85%. Теплота сгорания 6300—7000 кДж/кг, выход смолы на сланец редко выше 10%. Промышленное использование сланцев сопряжено с большими техническими трудностями. Значительная часть таких сланцев — в основном резерв будущего при истощении ресурсов нефти и угля. Однако в Китае в течение многих лет разрабатываются высокозольные сланцы месторождения Фушунь с целью получения жидкого топлива. При наличии крупных запасов сланцев и комплексной переработке промышленное освоение их экономически оправданно (ФРГ). Сланцы данного вида требуют обогащения. Термическая переработка необогащенных менилитовых сланцев Карпат в опытном газогенераторе, по данным В. М. Ефимова, показала выход смолы 1,5, а в алюминиевой реторте 3—4% [62].

Многие годы добывались и перерабатывались высокозольные сланцы Швеции, Шотландии и других стран, но работы вследствие нерентабельности были прекращены. Из числа высокозольных в настоящее время разрабатываются сланцы Фушуньского и Вюртембергского месторождений; в первом случае попутно, поскольку сланцы залегают в кровле угольных пластов, а во втором осуществляется комплексная переработка сланцев — сжигание в топках котлов электростанций и получение гидравлического вяжущего на основе минеральной части сланцев.

Разнообразен химический состав сланцевых зол. В одном случае в них преобладают окислы кремния и алюминия, в другом — карбонатный компонент и т. д. По этому показателю выделены силикатный, алюмосиликатный, алюмосиликатно-карбонатный и карбонатный виды золы (табл. 42).

Силикатный вид золы характеризуется высоким содержанием $SiO_2+Al_2O_3$. Кремнезем составляет основную часть золы (60—80%), а Al_2O_3 занимает подчиненное положение. Зола может найти применение при производстве каменных литых изделий, минеральной ваты, при изготовлении легкого наполнителя бетона и пластмасс.

Таблица 41. **Виды горючих сланцев по выходу золы**

Месторождение	Страна	Содержание золы, %	Теплота сгорания, кДж/кг	Выход смолы на сланец, % (среднее)
		Малозольный вид		
Орепуки	Новая Зеландия	32,7	20900	24,8
Эрмало	ЮАР	42,5	18800	13—37,8
Прибалтийский бассейн	СССР	40,0—60	14600—16700	20—40
Глен-Дэвис	Австралия	51,6	14600	30,0
Мэсот	Таиланд	56,4	14600	26,0—42
		Среднезольный вид		
Кашпирское	СССР	60,3	9900	13,0—25
Пуэртольяно	Испания	62,8	11900	17,6
Новая Скотия	Канада	62,4	12500	17,8
Болтышское	СССР	65,0	10400	15,0
Кендерлыкское, пласт «Лучший»	»	63,7	12500	17,0
Байсунское	»	66,0	10400	10,3
Уртабулак	»	60,0	10400	9,4
Любанское	»	67,0	5400	8,8
Грин-Ривер	США	66,9	До 8400	10—15,0
Антанифоси	Малагасийская республика	69,0	—	11,0
Отён	Франция	70,8	8800	10,0
		Высокозольный вид		
Египетское	ОАР	73,8	6300	6,6
Оленекское	СССР	73,0	6300	5,0
Мидлэндские	Шотландия	77,8	5800	8,2
Карпатские менилитовые сланцы	СССР	78,1	5800	4,0
Фушуньское	Китай	78—80	4200—5800	3—6,0
Алексинац	Югославия	79,0	7500	10,0
Нерке	Швеция	79,0	8400	7,0
Ум-Барек	Израиль	79,0	6300	6,4
Рионское	СССР	80,3	3700—7300	4,0
Тремембе (кусковатый)	Бразилия	82,3	2500—3700	4,0
Вюртембергское	ФРГ	84,0	4000	4,5
Лотиана	Англия	66—80,0	5800	8,2

Алюмосиликатный вид золы по $SiO_2+Al_2O_3$ близок к силикатному, но отличается от него более повышенным содержанием Al_2O_3 (20—30%). Зола может быть использована для тех же целей, что и силикатная. При отсутствии других сырьевых источников не исключена возможность ее использования для извлечения алюминия, а также получения на ее основе пуццоланового цемента. Как показали опытные испытания, зола такого состава может найти применение для выпуска стеклокристаллического материала типа ситалла.

Таблица 42. **Химический состав золы горючих сланцев некоторых месторождений (по данным А. Ф. Добрянского, Г. В. Озерова, С. С. Баукова, В. А. Котлукова, И. М. Озерова, В. М. Ефимова, В. С. Файнберга, Г. В. Явхута, Е. И. Стефановой и других), %**

Месторождение	Страна	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	P_2O_5
Силикатный вид										
Глен-Дэвис	Австралия	81,5	10,1	3,0	0,8	0,8	—	3,8	—	—
Касмалия	США	75,8	19,1		1,4	0,9	—	2,8	—	—
Ухтинское	СССР	71,6	11,2	3,8	8,1	1,6	—	2,7	0,6	0,38
Верхнесиневидное (карпатские менилитовые сланцы)	»	71,9	16,3	6,1	1,9	1,0	—	2,0	0,8	—
Тасманиты	Австралия	70,5	13,5	6,9	1,8	2,1	0,06	2,8	1,0	—
Дилижанское	СССР	69,8	14—24	5—7	2,1	1,4	0,3—0,9	1,5—2,0	0,1—0,4	0,09—0,5
Нью-Хартли и др.	Австралия	68—90,7	0,9—3,8	—	0,0—1,9	0,0—1,6	0,4—2,5	0,3—3,3	0,0—0,7	—
Серро-Ларго	Уругвай	66,8	14,5	10,7	0,6	1,5	0,6	3,0	1,5	—
Новодмитриевское	СССР	66,6	16,7	9,4	1,5	0,1	—	4,7	1,1	—
Элько-Невада	США	65,5	25,5		0,6	0,8	—	—	—	—
Нор-Аревикское	СССР	64,4	20,7	9,1	1,9	0,2	—	3,4	1,4	0,1
Кварнторп	Швеция	62,4	17,6	10,7	1,2	1,7	—	6,4	—	—
Мэсот	Таиланд	60,8	19,9	4,8	3,3	3,8	—	—	—	—
Алюмосиликатный вид										
Эрмело	ЮАР	59—61,9	30—31,7	2,9—4,5	0,3—1,9	0,3—1,7	—	2,1	—	—
Новая Скотия	Канада	61,1	30,1	5,0	1,1	1,0	—	1,1	—	—
Пуэртольяно	Испания	56,6	27,7	9,1	2,6	2,2	0,5	0,3	0,5	—
Фушуньское	Китай	62,3	26,7	6,1	0,10	1,8	—	3,0	—	—
Гуандун	»	56,2	26,5	10,8	0,8	1,7	—	3,9	—	—

Лотиана	Англия	55,7	25,0	9,9	2,7	3,1	0,9	0,0—0,6	0,9	—
Антанифоси	Малагасийская Республика	57,3	24,8	8,7	—	—	—	—	3,0	—
Новая Шотландия	Канада	59,5	23,6	8,5	3,1	1,8	0,5	2,3	0,7	—
Рионское	СССР	58,7	21,1	9,6	3,7	1,9	—	3,4	1,4	0,1
Отён	Франция	48—57,3	28,1	5—9,2	1—6,7	2,6	1,8—2,8	1,9—2,6	0,3—5,9	—
Тремембе	Бразилия	55,8	26,7	8,5	2,8	3,7	—	2,5	—	—
Вествуд	Шотландия	55,7	25,0	9,9	2,7	3,1	—	2,7	0,9	—
Орепуки	Новая Зеландия	44,2	28,1	20,5	4,6	1,4	0,7	0,07	0,1	—
Алюмосиликатно-карбонатный вид										
Туровское, Припятская впадина	СССР	44,2	15,2	7,5	17,8	2,3	4,5		7,5	0,2
Байсунское	»	40—43,4	15—17,1	9—11,1	10—16,6	2,4	4,9—7,3		9,2	—
Юта	США	50,4	20,9		14,8	6,0	—	—	—	—
Брезникское	Болгария	42,5	17,3	7,5	15,2	3,2	—	—	2,6	—
Оманс	Франция	47,0	18,3	7,6	17,8	—	0,5	1,7	0,4	—
Кендерлыкское	СССР	58,5	15,8	7,2	5,8	5,1	4,0		4,0	1,1
Карбонатный вид										
Сирийское	Сирия	10,4	3,8		79,8	2,6	—	—	—	3,2
Нэби-Муса	Иордания	7,0	7,5	7,5	76,6	1,4	—	—	—	—
Эстонские	СССР	31,0	8,6	6,0	40,0	5,0	3,0		5,5	—
Эфье	Израиль	12—23,5	3,7—10,1	2—5,8	52—69,4	0,85	2,3—5,5		1,3	—
Посидонское	ФРГ	39,5	11,0	6,5	38,0	1,7	0,8		9,5	—
Ленинградское	СССР	37,1	10,4	4,9	35,7	3,2	0,2	4,2	4,2	0,1
Айювенское	»	36,6	11,6	6,0	31,9	1,0	3,5		7,1	1,6
Вюртемберг	ФРГ	35,6	12,2	6,8	29,4	1,7	3,30		7,6	—
Кашпирское	СССР	48,9	10,2	7,7	28,7	1,9	3,80		5,7	1,0
Эйн-Бокуек	Израиль	9—11,6	2,5	3,6	25—30,0	10,0	—	1—4,0	1,0	—
Колорадо	США	30—43,6	9—13,2	9—4,7	15—23,5	16,9—9,3	1,5—4,8	1,8—2,8	1,5—2,2	—
Египетское	ОАР	49,9	12,8	4,4	20,8	2,3	1,0		4,5	3,0
Савельевское	СССР	48,0	16,30	4,75	24,4	2,1	—	—	1,6	—
Чудовское	»	31—44,5	7—10,9	4—7,0	25—40,6	4—18,8	—	—	3,6—4,1	—
Ашанское	»	35—61,9	1—7,3	2—3,9	18—46,8	2—10,0	—	—	4—5,8	0,1—0,2
Сысольское	»	42,5	20,0		28,2	2,0	—	—	4,99	—
Буинское	»	39,5	12,9	12,1	21,1	3,4	—	—	8,55	1,2
Бессоновское	»	43,9	7,3	12,5	19,5	2,1	—	—	—	0,5

Карбонатный вид золы содержит 25—50% окиси кальция, иногда 70. Химический состав золы позволяет рассчитывать на получение самостоятельного вяжущего. Кроме того, может быть получено высококачественное вяжущее при совместном помоле клинкера и золы. Зола пригодна для известкования кислых почв.

СОПУТСТВУЮЩИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, РЕДКИЕ И РАССЕЯННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Горючие сланцы некоторых месторождений помимо их промышленного энергохимического значения привлекают внимание еще и тем, что содержат редкие и рассеянные химические элементы. Бóльшая часть из них присутствует в ничтожно малых количествах, тогда как другие образуют повышенные концентрации, являются сопутствующими или основными компонентами:

Основные компоненты

Алюминий, водород, кальций, кислород, кремний, углерод.

Сопутствующие компоненты

Азот, железо, калий, магний, натрий, сера, фосфор.

Примеси компонентов повышенных концентраций

Бериллий, бор, ванадий, висмут, вольфрам, германий, молибден, никель, рений, титан, уран, хром.

Микрокомпоненты

Барий, бром, галлий, индий, иод, иттрий, кадмий, кобальт, литий, медь, мышьяк, ниобий, свинец, селен, серебро, скандий, стронций, сурьма, теллур, хлор, цезий, цинк, цирконий.

При рассмотрении содержания микроэлементов в золе водорослей, сапропелей и наземных организмов наибольшая родственная связь определенной группы устанавливается с ОВ сланцев или углей или с их минеральной частью. Например, никель, кобальт, ванадий являются общими для гумитов и сапропелитов, другие — для горючих сланцев или углей и, наконец, имеются такие микроэлементы, повышенные концентрации которых тесно связаны с минеральной частью. В сланцах некоторых месторождений установлено присутствие молибдена и вольфрама, тогда как ни в водорослях, ни в сапропеле они пока не обнаружены (табл. 43, 44). Германий распространен преимущественно в углях и реже встречается в горючих сланцах. Исключительно к минеральной части углей и сланцев приурочен цирконий. Присутствие его не обнаружено ни в водорослях, ни в сапропеле. Наличие его в сланцах тесно связано с привносом акцессорных минералов, в частности циркона.

Содержание ванадия в сапропелях и наземных растениях почти одинаково. В некоторых разновидностях шунгита количество V_2O_5 достигает 1,5—1,6%.

В горючих сланцах многих месторождений установлено присутствие различных микроэлементов, но значительная часть из них не образует промышленных концентраций и относится к так называемой группе проходящих элементов. Это прежде всего стронций, галлий, иттрий, цирконий и др. В то же время такие микроэлементы-примеси, как уран, молибден, ванадий, рений и др., в ряде случаев создают повышенные концентрации в сланцах и извлечение их в отдельных случаях может существенно повлиять на экономические показатели.

Уран обнаружен в горючих сланцах некоторых месторождений от убого рассеянной примеси, не представляющей промышленного значения, до значительных концентраций, обеспечивающих его добычу в крупных масштабах. Например, в сланцах формации Фосфория США содержание U_3O_8 составляет 0,001—0,06%.

Таблица 43. **Содержание химических элементов в горючих сланцах [45, 66, 67], %**

Элементы	Месторождения							
	Ленинградское	Байсунское (УзССР)	Новодмитриевское (УССР)	Болтышское (УССР)	Кашпирское (РСФСР)	Менилитовые (украинские Карпаты)	Воронье-Волосковское (РСФСР)	Колорадо (США)
Ni	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	—	—	$7 \cdot 10^{-3}$
Co	—	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	—	—	—
Cr	$1 \cdot 20^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Mo	—	$1 \cdot 10^{-1}$	—	—	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—
Zr	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	—	$3 \cdot 10^{-3}$
Cu	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	—	—
Ge	—	+	—	—	—	—	+	—
V	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$

В Швеции сырьем для получения урана служат урансодержащие глинистые сланцы Биллинченской возвышенности, в 300 км юго-западнее Стокгольма. Один пласт сланцев мощностью 3,6 м содержит урана более 300 г/т. Запасы U_3O_8 урансодержащих сланцев месторождений Ранстад — около 1 млн. т. Планируется получение U_3O_8 до 240 т/год [15].

Уран обнаружен в сланцах Зеефельда и в углях Триммелькана в Австрии. В штатах Мичиган и Оклахома США уран присутствует в углистых сланцах. У. Ч. Кульбертсон выделяет около 25 пластов и слоев сланца блока пика Уилкинса штата Вайоминг, США, мощностью от нескольких сантиметров до 2 м с содержанием урана 0,005, максимум 0,15%, и фосфора — P_2O_5 — 2,2, максимум — 18,2% [1].

В некоторых разновидностях шунгита Карельской АССР содержится окись титана: в первой разновидности 0,3—0,47, во второй — 0,27—1,63, в третьей — 0,92—2,3%. Кроме того, во второй и третьей разновидностях содержание Fe_2O_3 20—35%. Установлено также присутствие в шунгитах никеля (до 0,22%). П. А. Борисов отмечает, что такие микроэлементы, как ванадий, никель, медь и молибден, связаны преимущественно с ОВ [42].

Молибден нередко присутствует в сланцах в заметных количествах и поэтому заслуживает особого внимания. Присутствие его обнаружено в золе сланцев Воронье-Волосковского, Кашпирского, Савельевского и других месторождений Волжского бассейна, а также в золе менилитовых сланцев. Содержание его в золе сланцев Байсунского месторождения 0,1—1,0%, что близко к содержанию этого элемента в рудах некоторых собственно молибденовых месторождений. Молибден, по-видимому, связан с сульфидами. Он присутствует в сланцах Японии, Швеции, Швейцарии в повышенных количествах. В горючих сланцах Тюрингии (Австрия) содержание молибдена достигает 400 г/т.

Преимущественным распространением он пользуется в пиритизированных и битумизированных сланцах. Например, в пиритизированных сланцах штата Висконсин, США, содержание молибдена в 5—20 раз больше, чем в непиритизированных или почти непиритизированных сланцах. В сланцах Брезникского месторождения Болгарии (палеоген) содержание молибдена 4,3—9,5 г/т [17], в туранских сланцах Узбекистана, по данным Р. Н. Нишанходжаева, 0,1% (максимально 0,27%), причем распределен он равномерно по площади сланценосной толщи [35]. А. П. Виноградов [64] отмечает склонность молибдена накапливаться в таких морских водорослях, как сине-зеленые Cyanophyceae и красные *Chodophyta*. Н. И. Матусевич [67] установил присутствие ванадия и молибдена в сланцах некоторых месторождений Волжского бассейна. Как молибден, так и ванадий исключительно приурочены к керогену сланцев, в минеральной — зольной — части присутствие их не установлено. Чем больше процент керогена в концентрате, тем выше содержание молибдена (табл. 45).

Таблица 44. Содержание микроэлементов в золе сланцев некоторых месторождений (по данным полуколичественного спектрального анализа — И. М. Озерова, Г. Ю. Диннина, В. Т. Падула и других), %

Элемент	Ленинградское (РСФСР)	Байсунское (УзССР)	Новодмитриевское (УССР)	Болтышское (УССР)	Кашпирское (РСФСР)	Менилитовые сланцы Карпат (УССР)	Воронье-Волосовское (РСФСР)	Диктионемовые сланцы Прибалтийского бассейна (СССР)	Ирати (Бразилия)	Грин-Ривер (США)
Ni	0,001—0,003	0,01—0,03	0,001—0,003	0,01—0,03	0,001—0,03	Не опр.		0,0036	0,038	—
Co	—	0,001—0,003	0,001—0,01	0,001—0,004	0,001—0,01	—	—	До 0,003—0,007	0,019	—
Cr	0,001	0,01—0,03	0,003—0,01	0,003—0,03	0,0001—0,003	0,001—0,02	0,01	0,0033	0,090	0,007
Mo	—	0,1—1,0	—	—	0,005—0,03	0,001—0,01	0,001—0,3	До 0,1	0,002	0,001
W	—	—	—	—	—	—	—	0,041	—	—
Zr	0,001—0,03	0,003—0,01	0,001—0,01	0,01—0,03	0,01—0,03	0,001—0,01	—	—	0,160	—
Nb	—	—	—	—	0,001	—	—	—	0,011	—
Cu	0,001	0,003—0,01	0,001—0,3	Не опр.	0,001	Не опр.	—	0,0073	0,045	—
Pb	0,001	0,003	0,001—0,003	0,003	—	0,01	—	0,042	0,020	0,09
Ag	—	—	—	—	—	—	—	0,00026	—	0,001
Sb	—	—	—	—	—	—	—	0,0001	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,08
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	0,003	—
Y	—	0,001—0,01	—	—	—	—	—	—	0,026	—
La	—	—	—	—	—	—	—	До 0,007—0,01	0,092	—
P	—	0,3—1,0	—	—	0,3	—	1,0	—	—	0,4
Au	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	0,003—0,03	0,1—0,3	0,001—0,01	0,001—0,03	0,0007—0,02	0,01—0,1	0,01—0,03	0,088	0,040	0,03
Sr	0,01—0,03	0,01—0,03	Не опр.	0,03—0,1	До 1,0	Не опр.		0,0052	0,300	0,08
Ba	0,03	0,03—0,3	0,03—1,0	0,03—0,3	Не опр.	»		0,044	0,580	0,03
Li	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.			Не опр.	—	0,05
Se	»	»	»	»	»	Не опр.		»	—	0,001
Te	»	»	»	»	»	»		»	—	0,7
Zn	»	»	»	»	»	»		»	—	0,1
						»				

Таблица 45. **Содержание молибдена в сланцах месторождений Волжского бассейна [67], %**

Месторождение	Кероген	Молибден	Молибден в расчете на кероген
Общий Сырт:			
концентрат	85	0,0184	0,021
рядовой сланец	42	0,0088	0,021
хвосты обогащения	13—15	0,0052	0,035
Савельевское:			
концентрат	68	0,0248	0,036
рядовой сланец	27	0,0088	0,038
хвосты обогащения	13—15	0,0040	0,021
Кашпирское:			
концентрат	78	0,0220	0,0281
рядовой сланец	40	0,0144	0,0360
хвосты обогащения	13—15	0,0032	0,0230

Некоторые авторы связывают накопление молибдена с действием сероводорода морских и озерных бассейнов. Установлено [Курода, 1954 г.], что в сланцах палеозойского и мезозойского возраста Европы и Японии с увеличением в них содержания серы возрастает процент молибдена (табл. 46).

Наличие германия обнаружено во многих горючих сланцах от тысячных долей процента до 0,1%. Генетически он тесно связан с ОВ сланцев. Этот элемент приурочен к керогену, распределяется в нем между гуминовыми кислотами и остаточным керогеном, где находится в виде комплексных соединений. В кашпирских сланцах он связан с остаточным керогеном. Германий обнаружен в горючих сланцах девоно-каменноугольного возраста штатов Огайо и Теннесси, США, с содержанием до 0,5% на золу. Более повышенные концентрации его приурочены к черным горючим сланцам.

Таблица 46. **Зависимость концентрации молибдена от содержания серы**

Средние пробы	Содержание серы, %	Содержание молибдена, г/т
14 проб (палеозой Японии)	0,12	0,5
10 проб (мезозой Японии)	0,20	2,9
36 проб (палеозой Европы)	0,32	4,5

Ванадий — один из распространенных химических элементов в горючих сланцах. Содержание его обычно не свыше 1, в отдельных случаях 1—4%. Он обнаружен в фитопланктоне, в водорослях, в морских животных организмах и т. д. Для него характерно биогенное накопление. Содержание ванадия в сланцевых золах месторождений (%): штата Айдахо (США) — 0,30, штата Юта (США) — 0,15, Прибалтийского бассейна (СССР) — 0,004, Байсунского (СССР) — 0,50, Кашпирского (СССР) — 0,015. Основная его масса накапливалась при отмирании организмов бентоса.

Привлекают внимание горючие сланцы Брезникского месторождения Болгарии, содержащие 7—9,8 г/т бериллия. Кроме сланцев данного месторождения бериллий нигде не обнаружен. Поскольку палеогеновые отложения сланценосной толщи пред-

ставлены (снизу вверх) пестрыми песчаниками и глинами, мергелево-глинистым горизонтом, содержащим пласты горючих сланцев, и верхним горизонтом глинистых пород, то можно допустить, что бериллсодержащий минерал присутствует в них в виде детрита.

Р. Н. Нишанходжаев приводит интересные данные о распространении рения в горючих и углеродистых сланцах различного возраста Средней Азии. В нижнеэоценовых туранских сланцах содержание рения 0,2—21,4 г/т. Установлена связь рения с сульфидной серой [35].

Наличие повышенных концентраций в горючих сланцах урана, молибдена, германия и других элементов может существенно изменить перспективы промышленного значения того или иного месторождения. Попутное извлечение даже одного и тем более двух каких-либо элементов значительно улучшит экономические показатели добычи и переработки сланцев. В этом случае оказывается экономически выгодным разрабатывать сланцы даже несколько пониженной теплоты сгорания. Выявление промышленно перспективных слоев или пластов горючих сланцев, содержащих в повышенных концентрациях те или иные микроэлементы, возможно только путем применения детального пластово-дифференциального опробования всей полезной толщи с отбором проб через сравнительно небольшие интервалы. Результаты таких исследований могут быть использованы как для оценки, так и для корреляции пластов сланценосной толщи.

Горючие сланцы некоторых месторождений содержат целый ряд сопутствующих минеральных компонентов в количествах, близких к промышленным. Если учесть, что образование сланцезольных остатков от сжигания сланцев в отдельных случаях достигает десятки миллионов тонн в год, то создаются благоприятные предпосылки для извлечения некоторых минеральных компонентов. Прежде всего заслуживает внимания алюминий. Исследование золы сланцев показало, что содержание алюминия в пересчете на Al_2O_3 23—31% (табл. 42).

Значительный промышленный интерес представляют сланцы с алюминийсодержащими минералами. Например, свита Парашют-Крик (штат Колорадо, США) содержит залежи горючих сланцев, богатых даусонитом $NaAl(OH)_2CO_3$ и нахколитом $NaHCO_3$. Мощность свиты 260—550 м. Даусонит содержит 35% глинозема, нахколит — 65% кальцинированной соды. Запасы даусонита на площади 600 км^2 по предварительным данным определены в 24 500 млн. т, что составляет 8500 млн. т глинозема, а с учетом нахколита — 27 000 млн. т кальцинированной соды [1, с. 77].

По данным У. Ч. Кульбертсона [1], в штате Вайоминг, США, сланцы пика Уилкинса содержат большое количество вкрапленников натрийсодержащих минералов: шортит $Na_2CO_3 \cdot 2\,CaCO_3$, трона $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2\,H_2O$, галит NaCl и др. Пласты троны имеют мощность от нескольких сантиметров до 12 м. Залегают они на глубине 120—1100 м и распространены на площади свыше 3600 км^2. Блок пика Уилкинса содержит около $61 \cdot 10^8$ т троны и $33 \cdot 10^8$ т галита и троны. Высокая растворимость солей натрия и калия в благоприятных биогеохимических условиях водных бассейнов приводила к концентрации рассолов. Совместно с натрием и калием в илах, по-видимому, происходило накопление рубидия, селена, брома, иода и др.

Основным компонентом золы большинства месторождений является кремний, в пересчете на SiO_2 обычно составляющий 40—55% общей зольной массы сланцев, в отдельных месторождениях 60 и даже 80%. Такие золы могут найти широкое применение в производстве разнообразных строительных материалов — наполнителя бетона, минеральной ваты, каменного литья и т. д.

Кальций в пересчете на CaO в золах некоторых месторождений сланцев составляет 25—50%, а в таких месторождениях, как Нэби-Муса, и сирийских достигает 74—79,8%. Золу можно использовать в качестве вяжущего для производства строительных материалов. В золе прибалтийских сланцев содержится около 38% окиси кальция, в посидонских сланцах ФРГ — 32% и в сланцах месторождений Ум-Барек Израиля — 45%. Железа в сланцевых золах в пересчете на Fe_2O_3 обычно 3—10%, в некоторых месторождениях, например Орепуки Новой Зеландии, 20,5%.

Горючие сланцы отдельных месторождений могут привлечь внимание и по содержанию фосфора. Например, зола сланцев месторождения Диллон-Делл штата Монтана, США, содержит до 30,5% P_2O_5, месторождения Эль-Ладжуна — 3%.

В сланцах формации Грин-Ривер содержание фосфатов 18,2%. В золе месторождения Тереклитау СССР 1,17% P_2O_5, Лемезинского — 0,83—3%.

Зола сланцев содержит сумму окислов натрия и калия в небольших количествах — не более 2% и лишь в некоторых месторождениях, как, например, Нёрке, Ирати, Эфье, Эйн-Бокуек и др., сумма Na_2O+K_2O составляет 4—6%.

Горючие сланцы могут оказаться источником попутного получения серы, поскольку содержание ее в отдельных месторождениях довольно высокое, например в тасманитах района Латроби, Тасмания, в отдельных пробах около 30%.

Горючие сланцы могут служить резервом промышленного извлечения как редких и рассеянных, так и промышленно ценных сопутствующих компонентов. Наличие в них, например, урана, молибдена, германия или других элементов, образующих повышенные концентрации, существенно может повлиять на экономику себестоимости добычи и переработки. В таких случаях может оказаться экономически выгодной разработка и переработка даже бедных ОВ сланцев (15—20% ОВ, выход смолы 4—6%).

КОНЦЕНТРАТЫ КЕРОГЕНА

В СССР впервые в мире по технологии, разработанной В. А. Проскуряковым [68], организовано производство концентратов ОВ на основе прибалтийских горючих сланцев. Исходным сырьем получения концентрата могут служить непосредственно вся масса добываемого сланца, или выборочно отдельные слои сланцев, или обогащенный сланец (технологический), или отсевы технологического сланца, или сланцевые шламы обогатительных фабрик. Чем выше содержание ОВ в исходном сланце, тем однороднее минералого-петрографический состав концентрата и ниже себестоимость его получения.

Концентрат керогена представляет собой порошкообразную массу размером частиц органо-минеральной массы 0,14 мм. Состоит он из 70—90% ОВ и 30—10% минеральной массы. Плотность керогена 1,04—1,35, массовая доля влаги 3%, удельная поверхность керогена-70 4,97 $м^2/г$.

Элементарный состав ОВ (%): С — 77,10—77,80, Н — 4,49—9,82, N — 0,30—0,44, О — 0,98—10,22, S — 1,68—10,22, Cl — 0,60—0,96. Теплота сгорания 37 100—37 700 кДж/кг. Выход смолы 66% (табл. 47).

Кероген в органических растворителях не растворяется. Окисляется перманганатом калия в щелочной среде при нагревании, а также азотной кислотой. Не изменяет состава и свойств при воздействии на него соляной, фосфорной, серной и органических кислот. Не изменяет своего состава при взаимодействии с растворами щелочей. В кипящем пиридине растворяется до 10% керогена.

Признаки изменения внешнего вида керогена, выделение окклюдированных газов и прочее наблюдается при температурах нагревания 180—200° С. При 200—220° С начинается выделение углекислоты и воды. Активное разложение керогена происходит при 340—360° С. Нагрев до 450—500° С сопровождается образованием смолы 65—67%, газообразных продуктов 10—15% и твердого сланцезольного остатка (полукокса) 6—15%.

Концентрат ОВ горючих сланцев обладает довольно высокими теплотой сгорания и выходом смолы. В отдельных случаях он может быть использован для получения высококачественных специфических сланцехимических продуктов.

А. С. Фомина [1, с. 184—194] провела исследования керогена прибалтийских горючих сланцев с азотной кислотой, в результате чего было установлено, что в полученной азотсодержащей фракции гидролизата керогена кукерсита идентифицировано 20 аминокислот, а в керогене диктионемового сланца — 11. Подавляющая часть аминокислот — алифатические.

Основная масса выпускаемого керогена (свыше 80%) в настоящее время применяется в резиновой промышленности при производстве некоторых резинотехнических изделий, а также при изготовлении многих полимерных материалов.

Кероген-70 используется в производстве эбонитовых автотранспортных моноблоков, искусственной кожи, резиноподошвенных изделий. Он также пригоден в качестве наполнителя в изготовлении различных термопластичных и термореактивных изделий пластических масс — линолеума и др. На основе керогена можно

Таблица 47. **Результаты анализа концентратов керогена [68]**

Показатели	Месторождения							
	Общесыртовское	Кашпирское		Савельевское			Ленинградское	
		Шахта № 3	Шахта № 1	Шахта № 4	Пласт 2	Пласт 3		
Теплота сгорания (низшая), ккал/кг *	5525** / 4837	5766	5180 / 5054	4859	4432	3679	8800	9000
Плотность	1,58 / 1,58	1,55	1,65 / 1,68	1,70	1,81	1,97	1,0	1,35
Зола, %	16,0 / 26,9	20,4	26,0 / 28,2	29,6	32,2	43,8	30,0	10,0
Минеральная CO_2, %	0,8 / 1,7	1,0	1,2 / 1,5	0,5	0,7	0,5	—	—
Органическая масса, %	83,2 / 71,4	78,6	72,8 / 70,3	69,9	67,1	55,7	70,0	90,0
Элементарный состав, %								
C	52,2 / 44,3	51,7	47,6 / 45,6	43,7	41,6	34,3	77,10	77,80
H	6,24 / 5,35	6,20	5,66 / 5,36	5,40	5,00	4,20	9,5	9,8
N	0,60 / 0,58	0,86	0,78 / 1,04	0,79	0,70	0,73	0,3	0,4
$S_{общ}$	9,88 / 8,50	10,85	10,65 / 9,83	8,95	9,75	7,00	1,6	10,2
$S_{пир}$	1,43 / 1,24	3,59	4,10 / 3,43	2,75	2,63	2,79	—	—
$S_{сульф}$	0,16 / 0,07	0,21	0,28 / 0,23	0,20	0,20	0,21	—	—
$S_{орг}$	8,29 / 7,19	7,05	6,32 / 6,17	6,00	6,92	4,00	—	—
C/H	8,3 / 8,3	8,3	8,4 / 8,5	8,1	8,3	8,2	8,0	—

* 1 ккал/кг = 4,2 кДж/кг.
** В числителе — рядовой сланец, в знаменателе — мелочь.

получить стимуляторы роста растений, применение которых увеличивает всхожесть семян и повышает урожайность.

А. С. Фомина [1, с. 217—219] указывает, что технико-экономические расчеты подтверждают целесообразность производства дикарбоновых кислот из концентрата керогена: «При окислении 100,0 тыс. т керогена получается, тыс. т: янтарной кислоты чистой — 2,2; кристаллических кислот C_5—C_6 — 6,2; смеси твердых кислот C_4—C_{10} — 16,6; стимуляторов роста растений — 18,4».

В резинотехнических изделиях кероген применяется взамен эбонитовой пыли, а в производстве пластических масс — взамен древесной муки, каолина, барита,

асбеста и других наполнителей. Применение его в изделиях уменьшает их плотность и их можно использовать в агрессивных средах.

Концентрат ОВ горючих сланцев пригоден в качестве наполнителя при производстве резинотехнических изделий (аккумуляторные баки и др.), линолеума, плит пластических масс для обшивки градирен и интерьеров служебных помещений, плит для изготовления лабораторной мебели и других целей. По своим физико-механическим и химическим свойствам, а также по экономическим показателям пластмассовые изделия, изготовленные с использованием керогена, выгодно отличаются от изделий с другими наполнителями. Облицовочные плиты и другие керогенсодержащие изделия могут быть изготовлены различных расцветок.

Горючие сланцы отдельных месторождений имеют различный петрографо-минералогический состав, различные соотношения ОВ и минеральной массы. Они в разной степени метаморфизованы. Минеральная часть сланцев может быть силикатной, карбонатной или алюмосиликатной. Нередко в них содержатся различного рода примеси, разнообразные включения и т. д. Все это отражается на физико-механических свойствах сланцев. В одном случае сланцы отличаются друг от друга по плотности или пористости, в другом — по прочности или другим показателям.

Физико-механические свойства горючих сланцев оказывают влияние на ведение горнодобывающих работ, на выбор способа обогащения, а также на сжигание и термическую переработку.

Горючие сланцы имеют различную цветовую окраску, которая в значительной степени зависит от ОВ и состава минеральной массы. Наличие гумусового вещества придает сланцам более темную окраску. Сапропелевые сланцы преимущественно более светлой окраски — серые, светло-желтые, серовато-бурые, желто-бурые, желтые, а сапропелево-гумусовые и особенно гумусовые более темной — от темно-серых до черных.

Характерной особенностью горючих сланцев является их загорание от спички: одни легко загораются, другие — с трудом. Глинистые сланцы обычно загораются легко и горят с запахом жженой резины. Сланцы битуминозные при горении образуют длинное коптящее пламя, а песчанисто-глинистые растрескиваются и распадаются на пластинки. Сланцы высокозольные загораются с трудом, образуя короткое, слабо коптящее пламя.

ВЛАЖНОСТЬ

Горючие сланцы в природных условиях залегания содержат воду в различных состояниях: гигроскопическая влага, вода набухания, пленки смачивания и т. д. Практический интерес представляет влажность сланца в рабочем состоянии, т. е. когда его добывают и затем подвергают переработке и сжиганию.

Сланцы одних месторождений имеют влагу рабочую не выше 20% и перерабатываются или сжигаются без предварительной подсушки. Сланцы с более повышенной влажностью (свыше 25%) требуют предварительной подсушки. Сланцев с такой высокой влажностью немного в природе, но они имеются, и потому этот показатель при промышленной оценке приходится учитывать на всех стадиях геологоразведочных работ и в процессе промышленного освоения месторождения (табл. 48). Например, подсушка сланцев Болтышского месторождения СССР (30% влажности) по предварительным расчетам повышает себестоимость 1 т сланца на 30 коп.

По содержанию влаги горючие сланцы различаются: с высокой влажностью — 20—30% и выше, со средней — 10—20% (разрабатываются и используются без предварительной подсушки), с низкой — менее 10%. В СССР действующими государственными стандартами для сланцев, предназначенных для термической переработки, установлены нормы: прибалтийских — не более 14, волжских — не более 21%. В ФРГ открытым способом разрабатывались сланцы в Месселе с содержанием влаги до 42%. Полукоксование таких сланцев без предварительной подсушки проводилось в кучах.

КРЕПОСТЬ

Крепость горючих сланцев и вмещающих пород прежде всего имеет значение для выбора технологии ведения подготовительных и очистных подземных горных

Таблица 48. **Содержание влаги в сланцах некоторых месторождений [1, 3, 4, 11, 58 и др.]**

Месторождение	Страна	Содержание влаги, %	Месторождение	Страна	Содержание влаги, %
Марау	Бразилия	2—46,6	Карпатские мени-литовые сланцы	СССР	4
Мессель	ФРГ	40—42			
Болтышское	СССР	27—30	Тирольские сланцы	Австралия	1—6
Общий Сырт	»	20—30	Озинковское	СССР	3—12
Майоминское	КНР	20—30	Семеновское	»	3—9
Мантуровское	СССР	14—30	Байсунское	»	3—5
Кашпирское	»	16—21	Вурнарское	»	3—5
Вороньe-Волосковское	»	17—24	Ирати	Бразилия	3—5,2
			Пашинское	СССР	2,8
Савельевское	»	3—20	Киншас (Кисангани)	Конго	2,7
Лемезинское	»	6—19			
Ундорское	»	7—18	Кендерлыкское	СССР	1,7
Синегорское	»	4—17	Альфа	Австралия	1,5
Прибалтийские	»	10—15	Тасманиты	»	0,1—2,3
Сидры	Польша	14	Альберта	Канада	1,6
Туксайское	СССР	12—15	Ашанское	СССР	1,5—2
Гуаден	КНР	10	Чаттануга	США	0,5
Бессонковское	СССР	7—10	Бафл-Крик	Австралия	0,5—12,4
Лево-Свияжское	»	6,8	Орепуки	Новая Зеландия	0,6—7,0
Кадышевское	»	5—11			
Тимахди	Марокко	6	Джадья	Австралия	0,1—0,5
			Хартли-Вейл	»	0,5—0,6
Захарьевское	СССР	5,6—6,7	Бэриган	»	0,6
Богословское	»	4,6	Каперти-Уолган	»	0,4—0,8
Египетское	ОАР	4,5	Нью-Хартли	»	0,4—0,5
Коул-Межес	США	4	Катумба	»	0,6—0,9
Боровдольское	Польша	4,6			

работ, связанных с добычей сланцев, средствами механизации добычи, дробления, размола и т. д. Физические свойства горючих сланцев наиболее изучены по Прибалтийскому бассейну [70], проведены специальные исследования физических свойств пород промышленного пласта Эстонского месторождения. Применяя для определения коэффициента крепости пород различные методы (метод сжатия образцов правильной и неправильной формы, метод толчения и др.), Х. Х. Арукюла пришел к выводу, что лучшим оказался метод толчения. Его достоинством является то, что он требует меньшего объема работ при подготовке проб к испытанию. Полученные результаты определения коэффициента крепости сланцев и пород по шахтам «Кукрузе», № 7 и «Кивиыли» приведены в табл. 49.

ПЛОТНОСТЬ

Плотность горючих сланцев зависит от массовой доли ОВ, его распределения в минеральной массе, от ее минералого-химического состава. Приведенные в табл. 50 данные свидетельствуют о том, что чем выше содержание ОВ, тем меньше плотность. Так, плотность сланцев, содержащих свыше 30% керогена, 0,9—1,65, а сланцев с меньшим содержанием керогена — свыше 1,80.

На показатель плотности сланцев существенно влияют и степень их метаморфизма, а также различного рода включения. Например, почти все сланцы Прибалтийского бассейна содержат известковые включения, а также многочисленные известняковые скелетные остатки колоний мшанок, раковин брахиопод, щитков трилобитов и других морских организмов. В отдельных слоях сланцев содержится до 50% известняковых включений и окремнелых стяжений и конкреций. Поэтому

Таблица 49. **Сводная таблица по определению коэффициента крепости f слоев сланца [70]**

Индекс слоя (снизу вверх)	Шахта „Кукрузе"				Шахта № 7				Шахта „Кивиыли"				Средняя по трем шахтам	
	$f_т$	$K_в$	$f_с$	$K_в$	$f_т$	$K_в$	$f_с$	$K_в$	$f_т$	$K_в$	$f_с$	$K_в$	$f_т$	$f_с$
A	1,2	15	0,5	56	1,2	9	0,6	30	1,3	13	1,8	50	1,2	1,0
B	2,0	20	1,6	38	1,8	15	1,0	26	1,8	18	1,6	36	1,9	1,4
C	1,4	31	1,4	46	1,2	11	0,8	57	1,3	17	1,8	59	1,3	1,3
D	1,3	14	1,1	50	1,6	9	1,0	23	1,3	20	1,2	28	1,4	1,1
E	1,9	24	1,6	34	1,4	6	1,0	57	1,6	8	1,5	19	1,6	1,4
F	1,8	26	1,6	63	1,5	8	1,3	35	1,7	12	1,2	44	1,7	1,4
Сланец	1,7	—	1,4	—	1,5	—	1,1	—	1,6	—	—	—	1,6	1,3
B/A	2,8	41	2,8	32	2,4	7	2,4	29	2,8	22	2,8	19	2,7	2,7
C/B	4,1	18	3,0	26	3,8	20	3,0	25	3,4	22	3,6	17	3,8	3,2
D/C	3,9	18	3,2	26	4,0	9	3,4	26	4,2	14	3,6	20	4,0	3,4
E/D	3,0	14	3,1	29	2,4	8	2,1	34	2,8	10	2,6	22	2,7	2,6
Порода	3,4	—	3,0	—	3,2	—	2,8	—	3,4	—	3,2	—	3,3	3,0
Пласт	2,0	—	1,7	—	1,9	—	1,5	—	2,0	—	1,8	—	2,0	1,7

Примечание. $f_т$ — крепость породы, определенная методом толчения; $f_с$ — крепость породы, определенная сжатием образцов неправильной формы; $K_в$ — коэффициент вариации, %.

Таблица 50. **Плотность горючих сланцев**

Месторождение	Страна	Содержание ОВ, %	Плотность
Коронгское	Австралия	91,0	0,9—1,00
Орепуки	Новая Зеландия	45,7	1,46
Эрмело	ЮАР	43,8	1,58
Глен-Дэвис	Австралия	39,7	1,60
Эстонское	СССР	37,0	1,50—1,93
Ленинградское	»	35,0	1,50—1,9
Байсунское	»	30,0	1,80
Новая Скотия	Канада	26,3	1,80
Пуэртольяно	Испания	26,0	1,80
Болтышское	СССР	30,0	1,90
Ирати	Бразилия	20,0	1,80—2,45
Кварнторп	Швеция	18,8	2,09
Отён	Франция	18,8	2,03
Оленекское	СССР	21,0	2.20
Туровское	»	20,0	2,20
Египетское	ОАР	17,0	2,23
Колорадо	США	17,3	2,20
Фушунь	КНР	22,0	2,29
Карпатские менилитовые сланцы	СССР	15,0	2,30

Таблица 51. **Зависимость между содержанием ОВ, выходом смолы и плотностью сланца для горючих сланцев зоны Махогени формации Грин-Ривер [1]**

Содержание ОВ, %	Выход смолы		Плотность сланцев
	%	л/т	
0	0	0	2,714—2,720
2	1,32	14	2,624—2,637
4	2,64	29	2,544—2,560
6	3,95	43	2,472—2,486
8	5,27	57	2,406—2,417
10	6,59	72	2,344—2,352
12	7,91	86	2,287—2,290
14	9,25	100	2,231—2,233
14,56	8,60	104	2,215—2,218
16	10,54	115	2,175—2,180
18	11,86	129	2,122—2,132
20	13,18	143	2,071—2,085
25	16,48	179	1,875—1,950
30	19,77	215	1,851—1,873
35	23,06	251	1,757—1,778
40	26,36	287	1,672—1,689
45	29,66	322	1,596—1,605

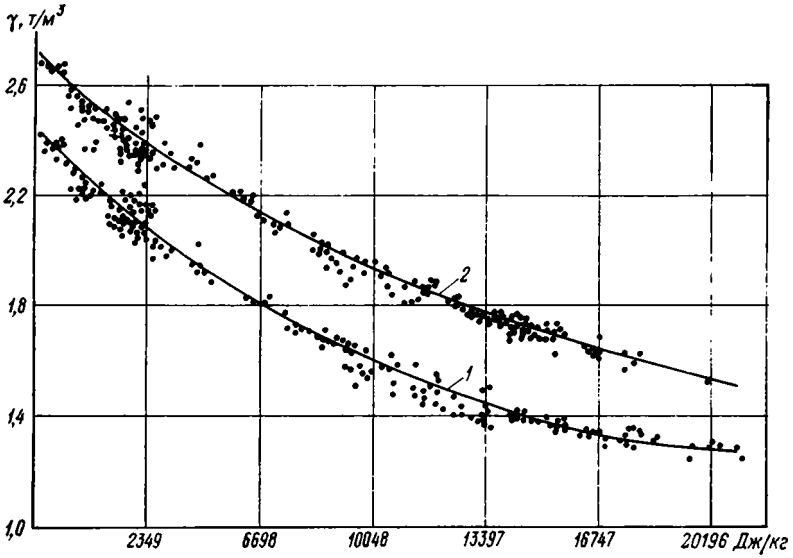


Рис. 30. Зависимость плотности от теплоты сгорания сланцев. По С. С. Баукову.

1 — зависимость между объемной массой ОВ и теплотой сгорания; *2* — зависимость между объемной массой и теплотой сгорания горючих сланцев.

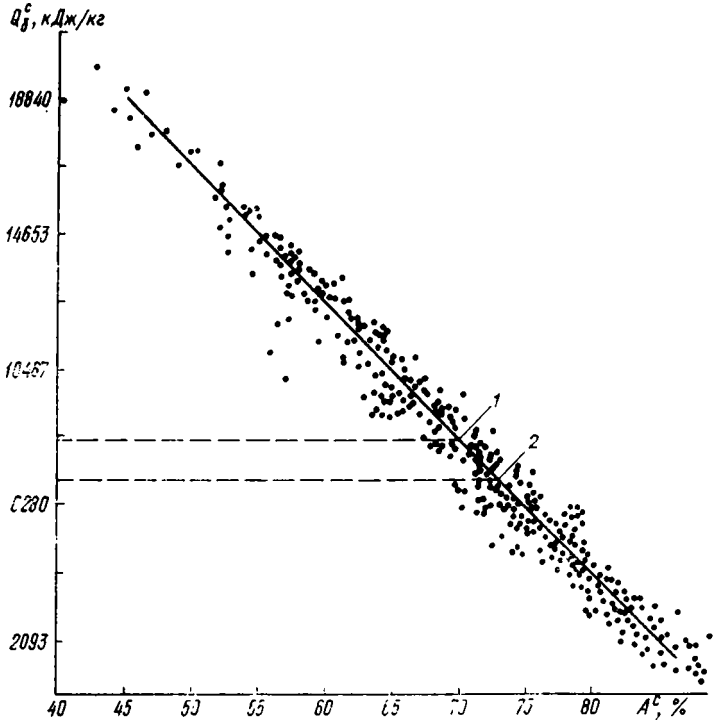


Рис. 31. График зависимости теплоты сгорания от содержания золы в сланцах Болтышского месторождения. По В. К. Грабовскому.

1 и *2* — нижние пределы теплоты сгорания сланцев: *1* — эстонских (8373 кДж/кг), *2* — Приволжского бассейна (7117 кДж/кг).

в зависимости от содержания ОВ и конкреций изменяется и плотность сланца (1,50—1,99).

Дж. У. Смитт [1, с. 477] установил математическую зависимость между плотностью сланца, содержанием ОВ и выходом смолы. Полученные им средние значения указанной зависимости были проверены на горючих сланцах формации Грин-Ривер США (табл. 51). Они близки к значениям плотности сланцев многих месторождений других стран. Действительно, плотность сланцев, содержащих 10—15% керогена, 2,2—2,3. Определение только данного показателя сланцев может быть использовано при прогнозной оценке месторождения с погрешностью ±2%. Сравнение данных определения плотности прибалтийских сланцев с данными теоретического расчета, выполненного Дж. У. Смитом, показало их полную сходимость и подтвердило зависимость плотности от содержания ОВ в сланцах.

Чем меньше в сланцах ОВ, тем, естественно, выше их плотность. С повышением зольности на 1%, как указывает Д. Д. Русчев [71], плотность увеличивается на 0,01.

С. С. Бауков [72] установил зависимость между объемной массой, плотностью и теплотой сгорания горной массы горючих сланцев Эстонского месторождения: чем выше теплота сгорания и чем больше содержание ОВ, тем меньше плотность сланцев, и наоборот (рис. 30), чем выше процент зольного остатка, тем, естественно, больше плотность сланцев.

О. В. Куратова [73] на основании изучения свойств горючих сланцев Чудовского месторождения Прибалтийского бассейна пришла к выводу, что плотность сланцев зависит от суммы содержания золы (A) и минеральной углекислоты (CO_2): при $A+CO_2=44{,}50\%$ плотность сланцев 1,443, при 61,98% — 1,713, при 63,96% — 1,759, при 69,71% — 1,863, при 75,14% — 2,013, при 99,57% — 2,698.

К аналогичным выводам пришел В. К. Грабовский в результате изучения зависимости теплоты сгорания от содержания золы в сланцах Болтышского месторождения (рис. 31).

ПОРИСТОСТЬ

Пористость — объем пор в единице объема — горючих сланцев большинства известных месторождений не изучена, тогда как данный показатель имеет немаловажное значение прежде всего при термической переработке. Пористость сланцев в основном находится в прямой зависимости от микрокомпонентного состава ОВ

Таблица 52. **Пористость горючих сланцев Эстонского месторождения [75]**

Слои горючих сланцев	Состав слоев сланцев	Содержание ОВ, %	Выход смолы, %	Пористость (средняя)
F	Известковый, содержит до 30% включений известняка	30,4	13—20	23,7—31,8 (27,0)
E	Известковый с включениями известняка и вкраплениями пирита	47,1	19—32	13—15,0 (14,1)
D	Глинистый с редкими включениями известняка	27,1	19—24	10,5—28 (18,3)
C	Известковый, содержит включения и прослои известняка	37,9	19,26	5—24 (14,5)
B	Известковый, содержит включения известняка	49,2	29—39	13,5—22,0 (17,5)
A	Известковый, глинистый с включениями сапропелевого известняка	55,3	19—30	16,4—24,8 (18,4)

и химико-минералогического состава минеральной массы, текстуры и структуры сланцев. Пористость сланцев песчано-глинистой минеральной части иная, чем силикатной или карбонатной. На нее также влияет наличие в сланцах включений различного состава. Сланцы отдельных слоев одной и той же полезной толщи могут иметь различную пористость, как, например, сланцы Эстонского месторождения (табл. 52).

Пористость сланцев формации Грин-Ривер, США, — около 10,5%. При подогреве их до 510° С пористость увеличивается до 13,3%, а до 815° С — до 24,8%. Чем выше процент выхода смолы, тем интенсивнее протекает процесс изменения структурных и физических свойств сланцев при подогревании. В табл. 53 приведены данные по измеримой пористости сырых и термически обработанных горючих сланцев Грин-Ривер [1, с. 174—181].

Таблица 53. **Пористость сырых и термически обработанных сланцев Грин-Ривер, по данным Г. Ю. Диннина [1]**

Выход сланцевой смолы, л т	Измеримая пористость сырого горючего сланца, %	Пористость после подогрева, %	
		510°С	816°С
4,2	10,54	13,36	24,83
27,1	5,53	14,70	30,89
56,3	0,57	18,08	32,03
104,3	0,30	30,41	53,85
125,2	0,14	36,34	51,90
164,8	0,16	45,35	62,91
244,1	0,13	61,16	70,69

Микропористость сланцев оказывает существенное влияние на скорость диффузии газов внутрь кусков сланцев полукоксования. Медленная диффузия газов и водяных паров удлиняет процесс термической переработки сланцев. Д. К. Коллеров [74], изучая микропористость прибалтийских сланцев, установил, что с увеличением содержания ОВ в сланце пористость последнего уменьшается.

Пористость горючих сланцев зависит от степени однородности их минералогического состава, количества и состава ОВ, характера и количества различных включений. ОВ сланцев в большинстве своем имеет менее пористую структуру, чем, например, вмещающая порода известняк.

ПРЕДЕЛЫ ПРОЧНОСТИ

Прочностные свойства горючих сланцев так же, как и пористость, зависят от многих факторов. Предел прочности на сжатие прибалтийских сланцев 283—396 кгс/см^2.

Сланцы с преобладанием глинистой составляющей имеют меньший предел прочности, чем сланцы известняковые. Сростки ОВ и известняков обладают почти такими же прочностными свойствами, как и сами известняки (табл. 54).

По данным Г. Ю. Диннина [1], сырые грин-риверские горючие сланцы обладают довольно высоким сопротивлением сжатию как перпендикулярно, так и параллельно напластованию (табл. 55).

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Выбор конструкции агрегатов и оптимального теплового режима термической переработки горючих сланцев во многом зависит от их теплофизических свойств: теплоемкости, температуропроводности и теплопроводности. Изучению теплофизических свойств прибалтийских горючих сланцев посвящены работы К. Я. Лутса,

Д. К. Коллерова, Г. Н. Скрынниковой, Н. Д. Шевкунова и других. Все исследователи на примере изучения прибалтийских сланцев приходят к единому мнению, что теплофизические свойства сланцев наряду с другими функциями условий термического разложения в основном зависят от содержания и состава ОВ.

Удельную теплоемкость керогена прибалтийских сланцев К. Я. Лутс [1944 г.] определил равной 1,465, а минеральной части — 0,452 кДж/(кг · °С). Удельная

Таблица 54. **Усредненные данные временного сопротивления сжатию сухих образцов сланца, известняков и сростков промпласта Эстонского месторождения** [75]

Индекс слоев (сверху вниз)	Образцы	Сопротивление сжатию, кгс/см²	
		перпендикулярно к плоскости напластования	параллельно плоскости напластования
F	Сланец	225	167
E	»	278	216
D	»	282	201
C	»	250	175
B	»	396	203
A_1	»	257	151
A	»	283	165
E	Сростки	605	543
E/D	Известняк	587	645
D/C	»	730	752
C	Сростки	596	476
B/A	Известняк	635	—

Таблица 55. **Сопротивление сжатию сырых грин-риверских сланцев** [1]

Выход сланцевой смолы, л/т	Сопротивление сжатию, кгс/см²	
	перпендикулярно к плоскости напластования	параллельно плоскости напластования
4,2	1560	1364
27,1	2194	1997
56,3	1870	1645
104,3	1294	1308
125,2	696	745
164,8	809	696
244,1	914	907

теплоемкость сланца, нагретого до 300° С и содержащего 10—39% золы, по данным В. В. Померанцева [1948 г.], равна 1,130 кДж/(кг · °С).

Д. К. Коллеров [74], изучая удельные теплоемкости прибалтийского горючего сланца, сланцевого кокса и сланцевого концентрата (91% ОВ), пришел к выводу, что теплоемкость зависит от содержания ОВ. Для прибалтийского сланца влажностью 1,54% удельная теплоемкость находится в пределах 0,992—1,109, для сланцевого кокса — 0,080—0,887 и для концентрата, содержащего 91% керогена, —

1,310—1,503 кДж/(кг·°С). ОВ обладает более высокой теплоемкостью, чем минеральная составляющая.

По данным М. Я. Губергрица и К. А. Куйва [76], температуропроводность сланца в образце при нестационарном тепловом режиме при 200—450°С практически остается постоянной и затем повышается с определенной скоростью, зависящей от крупности сланца.

А. К. Митюрев [1] считает, что теплофизические свойства горючих сланцев зависят не от содержания ОВ, а от формы и размера кусков. При переходе от шара и цилиндра к пластине температура разложения значительно снижается, а при тонко раздробленном слое резко возрастает. Время разложения кусков сланца размером 100 мм в рабочей части шахты полукоксования не превышает 4 ч, тогда как куски размером 200 мм за 4 ч не разлагаются, даже если начальную температуру теплоносителя поднять до 700°С.

На полноту термического разложения горючего сланца и выход продуктов полукоксования в промышленных агрегатах оказывает влияние как процентное содержание ОВ, так и размер кусков сланца. Потери физического тепла при переработке сланца вызываются также за счет содержания в нем воды. Чем больше в сланце влаги, тем больше затрат тепла на его подсушку.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Термическая деструкция горючих сланцев зависит от химико-петрографического состава ОВ, от степени сланцефикации, характера взаимосвязи ОВ и минеральной массы и ее состава. Высокая прочность связи органической и кремнеземистой минеральной массы, как, например, у менилитовых сланцев, оказывает влияние не только на начало термической деструкции сланца, но и на весь ход термохимического процесса и в конечном итоге на процесс выхода битума. Интенсивность газосмоловыделения зависит также и от степени метаморфизма горючих сланцев, как, например, у сланцев лейаса Западной Европы или у шунгитов Карелии СССР. Температурный интервал выделения продуктов термического разложения ОВ во многом зависит и от его структуры и от наличия примесей гумуса. Немаловажное значение имеют размер кусков сланца и степень однородности крупности кусков. Влияние на начало температурного интервала разложения керогена оказывает и степень окисления ОВ. Горючие сланцы отличает от других твердых топлив начало деструкции при определенных температурах. Например, для торфа началом деструкции является температура ниже 100°С, бурых углей 150—170, каменного угля Донбасса, в зависимости от марок, 170—320 (длиннопламенные 170, жирные 260, тощие 320), антрацита 380, сапропелевых сланцев 170—180, сапропелево-гумусовых сланцев 150—160.

Н. И. Зеленин [77] привел для сланцев Прибалтийского бассейна следующие данные режима термического разложения (°С): 170—180 — выделение окклюдиро-

Таблица 56. **Выход термобитума из различных сланцев (считая на ОВ), по А. Ф. Добрянскому [3]**

Сланцы	Температура, °С	Выход битума, %	Средний процент углерода в керогене
Эстонский	390	65,2	76
Ленинградский	400	64,3	75
Веймарнский	410	64,8	75
Чудовский	375	65,2	75
Кендерлыкский	385	43,7	71
Кашпирский	340	13,3	61

Таблица 57. **Некоторые показатели, характеризующие каустобиолиты различных месторождений (в расчете на сухое топливо)**

Каустобиолиты (месторождения)	Максимальный выход битума, %	Температура максимального образования битума, °С	Выход смолы в алюминиевой реторте, %	Содержание условного ОВ, %	Теплота сгорания, кДж/кг
Кукерсит (Эстонское)	33,3	395	39,6	57,5	22 171
Асфальтит (Куба)	25,0	370	26,8	56,1	22 190
Кукерсит (Эстонское)	21,6	395	24,8	36,5	13 816
Липтобиолит (Грузия)	18,7	400	25,6	85,2	30 145
Кукерсит (Ленинградское)	16,2	390	18,9	29,1	10 467
Бразильские сланцы из долины р. Параиба (листовая разновидность)	11,1	400	21,1	39,5	13 797
Сланец (Болтышское, УССР)	8,9	400	17,5	42,0	12 560
Сирийский сланец	3,3	350	6,5	14,8	4186
Бразильские сланцы из долины р. Параиба (кусковая разновидность)	1,4	370	4,1	18,2	3893

ванных газов, 270—290 — начало активного выделения пирогенной влаги, 325—350 — обильное выделение газа и смолы, 450—500 — процесс полукоксования заканчивается.

Выход смолы может быть повышен при соблюдении следующих условий: 1) перегонка сланца в токе инертного газа (CO_2, H_2O), ускоряющего выход парогазовой смеси; 2) отвод парогазовой смеси через «холодную» сторону слоя, что позволяет избежать вторичных термических превращений смолы; 3) снижение размера куска сланца; 4) снижение температурного потенциала при нагреве кускового сланца.

И. В. Гринберг («Химия твердого топлива», 1973, № 3) приводит следующие данные термического разложения менилитовых сланцев (°С): 100—139— глубокое обезвоживание, выделение основной массы окклюдированных газов; 120—150 — начало частичного разложения керогена, появление окрашенной воды; 150—250 — начало обильного выделения газов и возрастание объема перегонной (подсмоленной) воды; 250—400 — обильное выделение смолы; 400—450 — резкое уменьшение выделения газов и жидких продуктов; 450—530 — прекращение выделения газов и жидких продуктов; 530—900 — зона электротермических реакций и образование пиролизных газов.

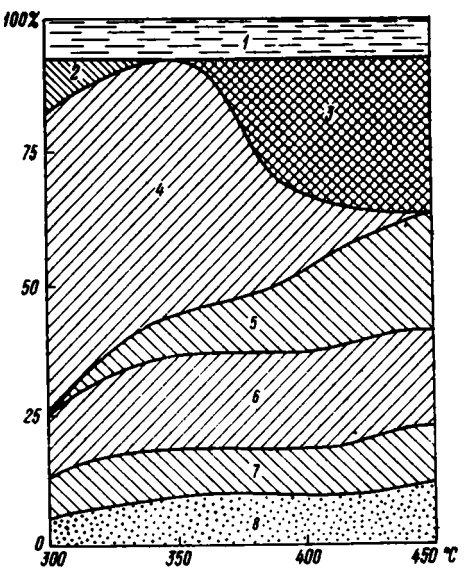


Рис. 32. Распределение органической массы сланца-кукерсита при термическом разложении. По А. Я. Аарна.

1 — вода разложения; *2* — кероген; *3* — кокс; *4* — термобитум; *5—7* — фракции, °С: *5* — выше 350, *6* — 200—350, *7* — 200; *8* — газ.

А. Ф. Добрянский считает, что выход термобитума зависит от состава горючих сланцев. У сланцев Прибалтийского месторождения он при одинаковой температуре близок к оптимальному, тогда как сланцы Кашпирского месторождения по сравнению с кукерситовыми сланцами бедны углеродом, но богаты серой. Они отличаются от кукерситовых сланцев по составу ОВ и, следовательно, по выходу термобитума. Сланцы Кендерлыкского месторождения занимают промежуточное положение (табл. 56).

Горючие сланцы различных месторождений различаются по петрографическому и химическому составу, и поэтому технологический режим их переработки различен. В зависимости от их состава приходится выбирать и конструкцию агрегата — с целью получения сопоставимых данных по характеристике выхода битума различных типов каустобиолитов. В. М. Ефимов, Э. Э. Пийк, Л. И. Раппу [78] провели испытания по единой методике. Опыты проводились в стандартной алюминиевой реторте. Результаты приведены в табл. 57.

А. Я. Аарна [57], касаясь закономерностей термического разложения сланца-кукерсита, отмечает, что при температуре 170—180° С начинается выделение окклюдированных газов, при 270—290° С выделяются пирогенетическая вода, двуокись углерода и сероводород, при 325—350° С начинается выделение смолы и углеводородных газов. Процесс полукоксования заканчивается при 450—500° С. Образование термобитума происходит в интервале 250—350° С.

На рис. 32 показано распределение ОВ сланца-кукерсита при термическом разложении. А. Я. Аарна показывает, как меняются состав и молекулярная масса термобитума при нагреве (° С):

	330	360	390	400
Выход термобитума на ОВ, %	48,2	51,6	35,6	21,7
Молекулярная масса, %	805	703	651	486

Процент выхода смолы и газа при переработке сланца-кукерсита крупностью менее 10 мм на установке с твердым теплоносителем УТТ-500 зависит от температуры в реакторе (° С):

	480	500	530
Выход смолы в расчете на сухой сланец, %	20,2	18,7	15,9
Выход газа, м³/т	31,0	39,6	41,0
Химический к. п. д. процесса, %	75,5	—	76,4

ПЛАВКОСТЬ МИНЕРАЛЬНОЙ ЗОЛЬНОЙ МАССЫ СЛАНЦЕВ

Основная масса горючих сланцев представлена минеральными компонентами различного химического состава. После сжигания горючих сланцев на электростанциях образуется негорючий минеральный остаток, называемый золой (A^c). Сжигание пылевидного сланца в котельных агрегатах производится при 1300—1400° С. Частицы летучей (пылевидной) золы улавливаются в камерах осаждения, циклонах и электрофильтрах. При этом происходит как бы сепарирование золы по крупности частиц, вследствие чего зола циклонов и электрофильтров различается по составу и свойствам.

Сланцевые золы определенного химического состава могут найти применение в производстве плавленого энергоклинкера, аглопорита, каменных литых изделий, стеклокристаллического материала типа ситалла, минеральной ваты и т. д. Для решения этих и других вопросов необходимо знать температуру плавкости золы: t_1 — начало деформации пирамидки, приготовленной из золы, t_2 — начало размягчения пирамидки золы, t_3 — начало жидкоплавкого состояния золы. Плавкость зол в зависимости от химического состава минеральной массы горючих сланцев различна. Например, зола слоев горючих сланцев Болтышского месторождения [45] в основном алюмосиликатного состава, но в зависимости от содержания окиси кальция имеет различную температуру плавления (табл. 58).

Таблица 58. **Температура плавления золы горючих сланцев Болтышского месторождения [45]**

Слои сланцев	Химический состав, %							Температура плавкости, °С		
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3	t_1	t_2	t_3
А	61,1	27,4	5,4	0,8	0,9	3,7	0,5	1335	1430	1435
Б	67,5	20,4	4,9	1,8	0,6	4,1	0,6	1220	1300	1325
В	56,9	16,2	5,7	10,9	0,9	3,0	6,1	1115	1125	1130
Г	49,5	14,3	6,6	18,3	2,8	2,3	5,2	1130	1140	1150

Зола карбонатного состава горючих сланцев Ленинградского месторождения Прибалтийского бассейна имеет несколько иную характеристику плавкости (° С): t_1 — 1250, t_2 — 1355, t_3 — 1400.

Химический состав и температура плавления сланцевой золы позволяют определить пути ее промышленного использования и выбрать более эффективный технологический режим переработки.

РАДИОАКТИВНОСТЬ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы некоторых месторождений обладают радиоактивными свойствами за счет присутствия урана или других минералов. Повышенной радиоактивностью обладают сланцы Швеции, Грин-Ривер США за счет присутствия урансодержащих минералов. Последние содержатся также в сланцах штата Монтана, Южная Дакота и других районов США. Брезникские горючие сланцы Болгарии содержат 28,5—50 г/т урана.

Изучение радиоактивных свойств сланцев имеет практическое значение прежде всего относительно возможного извлечения из них урана, охраны здоровья лиц, занятых на добыче и переработке сланцев и при использовании продуктов переработки.

Горючие сланцы большинства известных месторождений не изучены в отношении их радиоактивных свойств, тогда как некоторые из них могут оказаться источником извлечения урана.

Довольно высокая концентрация урана наблюдается в горючих сланцах Швеции [15]. Шотландские горючие сланцы обладают повышенной радиоактивностью, вследствие чего в прошлом было запрещено производство некоторых сланцехимических продуктов, поскольку они оказались канцерогенными [14].

В бассейне Пайсенс-Крик США в отложениях формации Грин-Ривер залегает керогеноносный глинистый известняк, содержащий даусонит, нахколит и пирит. Небольшие включения пирита окружены тонким слоем радиоактивного материала. Радиоактивность сланцев указанного горизонта подтверждается гамма-каротажной диаграммой структурной скважины [1]. В горючих сланцах штата Южная Дакота, США, обнаружено повышенное содержание урана. В районах штатов Кентукки и Индиана содержание урана возрастает по мере увеличения содержания ОВ [11].

ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы как комплексное органо-минеральное сырье в большинстве своем на 50—80% состоят из неорганического вещества, называемого минеральной массой. Обычно она представляет собой тонкодисперсную смесь с ОВ и неотделима от него в процессе добычи горючих сланцев. Если и удается освободиться от нее, то только при применении глубокого и сложного обогащения сланцев, что значительно удорожает себестоимость продукции. Сжигание и термическая переработка горючих сланцев сопровождаются образованием зольных отходов в виде тонкозернистой циклонной золы или кусковатого не нацело разложившегося сланца при полукоксовании, так называемого полукокса камерных, газогенераторных и прочих печей термической переработки. Отходы пород образуются и в процессе добычи сланцев.

В зависимости от масштабов добычи сланцев различного рода минеральные отходы достигают значительных размеров в отвалах предприятия. Затрачиваются немалые денежные средства на их транспортирование, что удорожает себестоимость основной продукции. Наличие таких отвалов в населенных пунктах нежелательно с экологической точки зрения, поскольку это ведет к загрязнению окружающей среды и непроизводительному использованию земельных участков. Опыт сланцевой промышленности СССР, Швеции и ФРГ показывает возможности безотходной переработки горючих сланцев с одновременным использованием органической и минеральной составляющих сланцев.

СЛАНЦЕЗОЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Сланцезольное вяжущее производится в ФРГ на основе золы от сжигания посидонских сланцев. Последние бедны ОВ (6—18, в среднем 12%). Химический состав минеральной части горючих сланцев непостоянен. Особенно резкие колебания в содержании характерны для SiO_2 — 12—51% и CaO — 18—60%. Теплота сгорания 3700—4200 кДж/кг. Сланцы сжигаются в ретортах Лурги в псевдоожиженном слое при 810—1000° С. В результате сжигания сланцев зольный остаток имеет следующий химический состав (%): п. п. п. — 8,21, SiO_2 — 34,40, Al_2O_3 — 9,87, CaO — 32,20, MgO — 1,67, SO_3 — 9,54, S — 0,20.

Наиболее высокая экономичность разработки и переработки посидонских сланцев достигается при условии полного использования сланцезольного остатка в качестве гидравлического вяжущего. При годовой переработке горючих сланцев 246 тыс. т образующийся сланцезольный остаток 190 тыс. т полностью идет на изготовление цемента путем совместного помола клинкера (30%) и золы (70%). Цемент, по данным Г. Крепелина, имеет марку 400.

В Швеции наряду с производством урана из глинистых сланцев месторождения Ранстад предусматривается ступенчатая экстракция алюминия, молибдена и получение многих других продуктов.

Сланцевая зола месторождений Прибалтийского бассейна содержит довольно высокий процент окиси кальция — 40—45% и выше, свободной окиси кальция 10—20, в отдельных фракциях 25—30%. Такие золы обладают вяжущими свойствами, полностью или частично могут заменить портландцемент марок 300 и 400 при производстве некоторых видов строительных изделий и материалов.

Сланцевая циклонная зола может также найти применение в качестве минерального наполнителя в пластмассах с полной или частичной заменой таких известных наполнителей, как древесная мука, барит, тальк и каолин. Кроме того, сланцевые золы соответствующего химического состава можно использовать для каменного литья, получения стеклокристаллического материала типа ситалла, а также для производства легких наполнителей бетона — аглопорита, карпазита и др. Например, циклонная зола Прибалтийской ГРЭС пригодна для известкования кислых почв. Это тонкодисперсный материал с размером зерен менее 56 мкм, не требующий затрат на дополнительную обработку. Практически она не содержит влаги. Кроме того, в золе присутствуют такие микроэлементы, как марганец, титан, стронций, ванадий, свинец, галлий, никель, иттрий, хром и примесь фосфора в виде P_2O_5 (0,12%). Внесение 2,5—4 т сланцевой золы в почву на 1 га кислых почв повышает урожайность отдельных культур до 20%.

Зольные остатки термической переработки сланцев в камерных, газогенераторных и прочих печах могут также служить основным сырьевым компонентом в производстве цемента, минеральной ваты, в качестве легкого наполнителя бетонов (аглопорит) и других материалов.

Добыча горючих сланцев многих месторождений сопровождается попутным извлечением пород кровли или межпластовых прослоев промышленного пласта. Нередко соотношение горючих сланцев и попутно добываемых так называемых пустых пород составляет 1 : 1 или даже 1 : 2. Эти породы в большинстве своем можно использовать в дорожном строительстве или при производстве различных строительных материалов. При подземной добыче горючих сланцев Прибалтийского бассейна попутно извлекаются межпластовые прослои доломитизированных известняков. В горной массе процент их составляет 40—45. Промышленное использование минеральных отходов сланцевой промышленности предусматривает производство весьма обширного ассортимента строительных материалов и изделий (рис. 33).

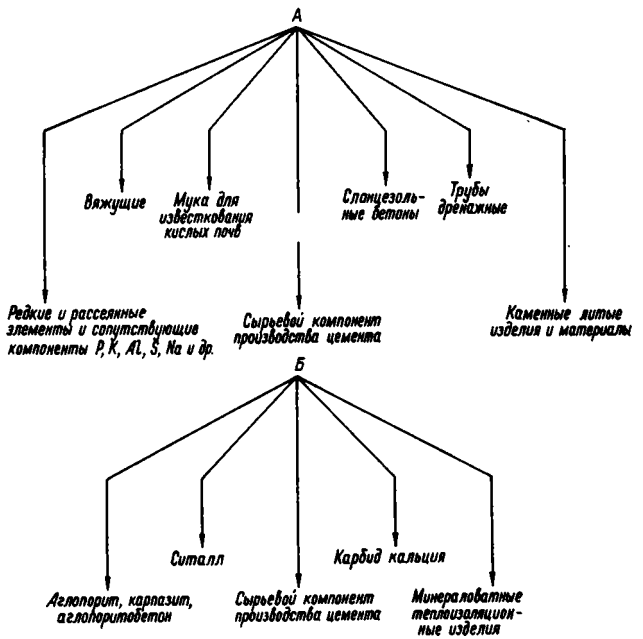


Рис. 33. Схема промышленного использования зольных остатков сжигания и термической переработки горючих сланцев Ленинградского месторождения Прибалтийского бассейна.

А — зола циклонная электростанций; *Б* — зольные остатки термической переработки горючих сланцев.

Сжигание пылевидного горючего сланца Прибалтийского бассейна СССР на электростанциях сопровождается образованием большого количества так называемых летучих сланцевых зол, обладающих вяжущими свойствами. Температура сжигания сланца в топках электростанций достигает 1300—1400° С. Частицы золы менее 150 мкм выносятся из топки вместе с горячими газами и осаждаются в золоулавливающих установках — камерах осаждения, циклонах и электрофильтрах.

Летучие золы неоднородны по гранулометрическому и химическому составу. В. Х. Кикас [1] выделяет по размеру частиц три фракции прибалтийских зол: крупную, мелкую и мельчайшую, которые обладают различными вяжущими свойствами за счет наличия свободной извести, минералов цемента, стекловидной фазы и др. (табл. 59).

Таблица 59. **Свойства промышленных фракций летучей золы прибалтийских сланцев (по данным В. Х. Кикаса)**

Показатели	Фракции		
	крупная (30—150 мкм)	мелкая (15—30 мкм)	мельчайшая (менее 15 мкм)
Химический состав, %:			
CaO	46—58	32—40	28—35
SiO_2	20—28	30—36	30—35
Al_2O_3	6—8	8—11	10—12
Fe_2O_3	4—6	4—6	4—5
MgO	3—4	2,2—3	2,5—3
K_2O	1,5—2,5	2,5—4	4,6—6,5
Na_2O	0,10	0,2	0,2
п. п. п.	1,7—3,0	1,4—2,3	1,0—2,2
Содержание минералов, %:			
$CaO_{своб}$	20—32	11—15	7—11
$CaSO_4$	4—7	9—11	14—17
$CaCO_3$	4—7	3—15	2—5
C_2S	9—14	9—11	8—10
CA	0,8—2	0,8—2,5	0,5—1,5
Стекловидная фаза, %	32—36	28—33	27—32
Нерастворимый остаток, %	12—18	24—33	25—35
Гидравлический модуль	1,2—1,8	0,65—0,85	0,55—0,75
Удельная поверхность, $см^2/г$	500—1200	1800—2500	3200—5000
Плотность	2,82—2,93	2,70—2,76	2,65—2,71
Объемная масса, $кг/м^3$	1150—1250	900—1050	650—850

В составе циклонной сланцевой золы содержатся клинкерные минералы $2CaO \cdot SiO_2$, $CaO \cdot Al_2O_3$, $2CaO \cdot Fe_2O_3$, а также $CaCO_3$, $CaSO_4$, K_2SO_4, K_2SiO_3 и др.

На основе летучих сланцевых зол, полученных при сжигании на электростанциях прибалтийских сланцев, разработана технология получения вяжущих материалов различной активности [1, с. 455—461]:

— кукермит получается в результате тонкого размола мелкой фракции золы, размером частиц 15—30 мкм, до размера частиц с удельной поверхностью не менее 3500 $см^2/г$. По своим вяжущим свойствам кукермит отвечает марке цемента 200. Расход воды для получения кукермитного теста нормальной консистенции составляет 27—32% от массы вяжущего. Начало схватывания кукермита, по данным В. Х. Кикаса, от 45 мин до 2 ч, конец от 2 до 6 ч;

— кукермит-цемент изготавливается при совместном размоле мелкой фракции летучей золы (65—80%) и предварительно измельченного клинкера (35—20%). Расход воды 26—28%. Начало схватывания цемента 1—2, конец 2—6 ч. Кукермит-цемент отвечает требованиям марок 200—300;

— специальный портландцемент получается путем совместного помола летучей золы мельчайшей фракции размером частиц меньше 15 мкм (20—30%) и цементного клинкера (70—80%). Портландцемент быстротвердеющий, высокомарочный — 400—500. Начало схватывания 2—3,5, конец 4—6 ч.

Крупная фракция золы (30—150 мкм) пригодна для изготовления ячеистого бетона и силикатных изделий, а также в сельском хозяйстве — для известкования кислых почв.

Менилитовые сланцы украинских Карпат по химическому составу минеральной массы относятся к кремнеземистому виду и в основной своей массе слабокарбонатны: SiO_2 — 50—75, CaO — 5—20%. Температура начала деформации золы 1150—1200, размягчения 1200—1260, начала жидкоплавкого состояния 1200—1300° С, температура нормального вытекания шлака при вязкости 100—200 пуаз 1700—1800° С. Тонкомолотый менилитовый сланец и зола пригодны для получения низкомарочного известково-пуццоланового цемента; добавка 5—15% молотого менилитового сланца к цементному клинкеру не снижает активности цемента [44].

ЦЕМЕНТ НА БАЗЕ СЛАНЦЕВОГО ПОЛУКОКСА

Термическая переработка горючих сланцев в газогенераторных, камерных и других печах сопровождается образованием коксозольного остатка (сланцевого полукокса) в большом количестве. Только на сланцеперерабатывающем комбинате «Сланцы» Ленинградской области при переработке камерными печами 1,3 млн. т сланца в год ежегодно в отвалы поступает около 700—800 тыс. т полукокса. Стоимость транспортировки 1 т полукокса в отвалы в среднем около 30—35 коп. Полукокс по химическому составу относится к карбонатному сырью. Результаты исследования полукокса В. А. Арефьевым [79] показали, что его можно применять в качестве одного из основных сырьевых компонентов при производстве цементного клинкера во вращающихся печах по мокрому способу. Марка цемента 500.

Сланцевый полукокс валовых проб в основном характеризуется постоянством химического состава (табл. 60), кроме фракции 15 мм (табл. 61). Сланцевый полукокс имеет следующий фракционный состав (%): фракция +40 мм — 35, фракция 15—40 мм — 50 и фракция 15 мм — 15 (данные И. М. Озерова и других авторов).

Фракция кокса 25—40 мм с теплотой сгорания 2900—5000 кДж/кг состоит из остатков неизмененного известняка и сланца. Более мелкая часть (15—25 мм) в основном состоит из остатков недоразложившегося сланца и небольшого количества кусков измененного известняка. Содержание CaO в этом коксе меньше, чем в крупном коксе, но несколько больше SiO_2, Al_2O_3, K_2O, SO_3.

Таблица 60. **Химический состав сланцевого полукокса (по данным И. М. Озерова), %**

Компоненты	Номер валовой пробы полукокса					Среднее
	1	2	3	4	5	
SiO_2	14,95	15,20	17,59	16,58	15,34	15,93
Al_2O_3	4,14	4,58	4,19	4,44	4,27	4,32
Fe_2O_3	3,81	3,85	4,35	3,61	3,51	3,82
CaO	35,03	32,53	29,81	34,37	34,26	33,20
MgO	3,33	3,88	2,64	2,13	2,56	2,71
K_2O	0,86	2,10	2,58	2,13	2,21	1,96
Na_2O	0,05	0,05	0,10	Следы	0,12	0,06
SO_3	4,10	4,04	4,90	2,82	5,15	4,00
П.п.п.	33,67	32,00	31,51	32,83	32,40	32,28
Сумма	100,58	99,87	99,63	100,04	100,88	100,20
$S_{общ}$	1,64	1,63	1,96	1,13	2,06	1,68

Таблица 61. **Средний химический состав сланцевого кокса (по данным И. М. Озерова), %**

Компоненты	Фракции, мм			Компоненты	Фракции, мм		
	>40	40—15	<15		>40	40—15	<15
SiO_2	10,78	16,66	19,54	K_2O	0,98	1,89	2,42
Al_2O_3	3,17	4,63	5,28	Na_2O	0,45	0,07	0,08
Fe_2O_3	2,98	3,54	4,34	SO_3	1,26	2,20	1,86
CaO	41,28	34,85	30,51	П. п. п.	35,60	33,26	33,59
MgO	2,89	2,64	2,45				
				Сумма	99,39	99,74	100,07

Мелкая фракция — 15 мм — представлена сажистым материалом с остатками неизмененного сланца. В небольшом количестве присутствуют мелкие кусочки неразложившихся карбонатных пород. Самая мелкая часть данной фракции состоит из сажистой массы, в которой отчетливо выделяются зерна извести сероватого цвета. Теплота сгорания кокса 5100—6300 кДж/кг. По сравнению с коксом крупной фракции (40 мм) он обладает повышенным содержанием SiO_2, Al_2O_3, K_2O. Самостоятельного значения сланцевый кокс данной фракции не имеет.

ПЛАВЛЕНЫЙ ЦЕМЕНТНЫЙ КЛИНКЕР (ЭНЕРГОКЛИНКЕР)

Сжигание прибалтийского сланца в пылевидном состоянии на электростанциях сопровождается образованием летучей золы, 80% которой проходит через весь газовый тракт котельных агрегатов. Интенсивный износ и образование плотных зольных отложений создают большие трудности в работе электростанций и удорожают стоимость выработки электроэнергии. Химический состав минеральной части сланцев и межпластовых прослоев карбонатных пород промышленного пласта, как показали исследования С. А. Тагера [1, с. 447—454], позволяет сжигать сланец с жидким шлакоудалением. Средний химический состав минеральной части валовой выемки промышленной пачки сланцев Прибалтийского бассейна характеризуется следующими значениями модулей:

кремнеземный модуль

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 2{,}0 \div 2{,}4,$$

глиноземный модуль

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 1{,}0 \div 1{,}5$$

при коэффициенте насыщения

$$K_н = \frac{CaO - (1{,}65Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3)}{2{,}8SiO_2} \approx 0{,}9,$$

что отвечает содержанию CaO около 60—63%.

По данным С. А. Тагера, минеральная часть сланца валовой выемки такого химического состава пригодна для производства портландцемента высокого качества без дошихтовки корректирующими добавками.

Разработанный новый метод сжигания прибалтийского сланца, богатого окисью кальция, с жидким шлакоудалением предусматривает комплексное использование органической и минеральной частей топлива с получением энергии и плавленого клинкера. Данный метод позволяет использовать для энергетических целей сланец валовой выемки с теплотой сгорания 6280 кДж/кг. Вытекающий из топки расплав гранулируется и затем транспортируется в помольный цех. При этих условиях отпадает необходимость в золоотвалах и не загрязняется воздушное пространство.

В результате проведенных опытов с обогащенным сланцем с содержанием в минеральной массе CaO до 50—52% оказалось, что полученные шлаки обладают гидравлической активностью. Они пригодны для изготовления высокопрочных автоклавных изделий. Во избежание шлакования поверхностей нагрева топки и пароперегревателя С. А. Тагер рекомендует поддерживать температуру сжигания обогащенного сланца не менее 1800° С, а сланца валовой выемки (не обогащенного) не менее 2000° С.

При сжигании обогащенного сланца ($CaO=48\div52\%$) кристаллическая фаза будет состоять преимущественно из белита (C_2S), тогда как при сжигании сланца валовой выемки ($CaO=60\div63\%$) — в основном из алита (C_3S) и белита.

На основе гранулированных сланцевых шлаков с содержанием стекловидной фазы 25%, портландцементного клинкера 30—50% и гипса 5% получается шлакопортландцемент, отвечающий маркам 400 и 500.

Метод жидкого шлакоудаления при сжигании прибалтийских сланцев на электростанциях, по данным С. А. Тагера, обеспечит экономию капиталовложений на 12,8%, эксплуатационных затрат — на 19,3%, приведенных затрат — на 22,4%. Экономия топлива составит 16,6%. Штат обслуживающего персонала сократится на 26,2%. Положительное решение проблемы комплексного энерготехнологического использования горючих сланцев карбонатного состава имеет важное значение для повышения эффективности сланцевой промышленности. Совмещение процессов интенсивного сжигания сланцев с процессами образования плавленого цементного клинкера непосредственно в котельных топках рассчитано на высокую степень использования как органической, так и минеральной частей сланцев. Достоинством данного метода является то, что он позволяет перерабатывать даже сланцы валовой добычи горной массы, не прибегая к обогащению.

ЦЕМЕНТ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТНЯКОВ-ОТХОДОВ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВ

Не все известняки по своему химическому составу и содержанию ОВ могут оказаться пригодными для производства цемента [80, с. 168—178]. Примером служит Ленинградское месторождение горючих сланцев Прибалтийского бассейна, имеющее сложное строение (снизу вверх): мергелистые известняки, IV слой сланца, прослой известняка «синюха»; III слой сланца, прослой известняка «кулак», II слой сланца, прослой известняка «плита», I слой сланца, известняк «ложная кровля» (рис. 34). При валовой выемке четырех слоев сланца средневзвешенная мощность 1,89 м. Содержание породных прослоев в общей мощности промышленного пласта достигает 38—40%. Прослои известняков полезной толщи имеют неоднородный химический и петрографический состав, поэтому не все из них могут быть рекомендованы в качестве основного сырьевого компонента для производства портландцемента.

В целях определения пригодности известняков межпластовых прослоев горючих сланцев Ленинградского месторождения для производства цемента в шахтах ПО «Ленинградсланец» были отобраны пробы для химического анализа и валовая проба горной массы 10 т в шахте № 3. Валовая проба (технологическая) была подвергнута дроблению и обогащению в тяжелой среде плотностью 1,9 кг/м³ на барабанном сепараторе. Результаты обогащения приведены в табл. 62.

Выход горючего сланца от класса обогащения крупностью 30—100 мм составил 32,26%, а породы — 67,74%. Хвосты обогащения, представленные карбонатными породами, составили 44,2% от всей горной массы. Они содержат незначительное количество органической массы (3,32%).

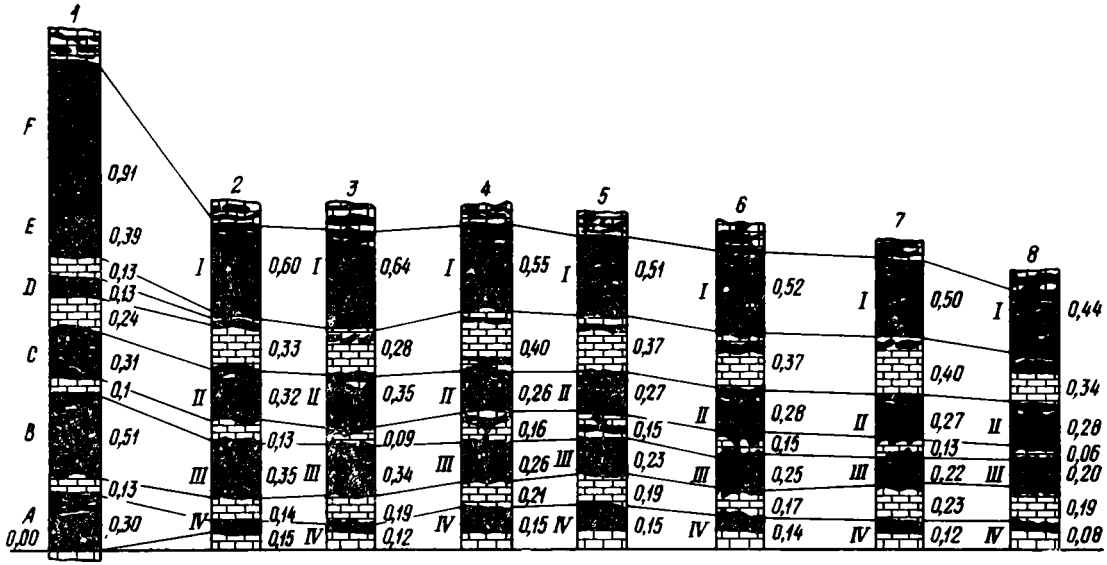


Рис. 34. Усредненные структурные разрезы промышленного пласта в районе действующих шахт Ленинградского и центральной части Эстонского месторождений.

1 — центральная часть Эстонского месторождения; *2—8* — Ленинградское месторождение: *2—3* — северный и восточный участки междуречья (*2* — скв. 335, *3* — скв. 319), *4—8* — поля шахт (*4* — им Кирова, *5* — № 1, *6* — № 2, *7* — № 3, *8* — № 4).

Таблица 62. **Качественная характеристика продуктов обогащения [80]**

Продукт обогащения	Общий выход, кг	Выход от класса, %	Выход от горной массы, %	Качественные показатели			
				Зола, %	CO_2, %	ОВ, %	Теплота сгорания, кДж/кг
Класс обогащения крупностью 30—100 мм	6771	100,0	65,25	56,37	28,67	14,96	5443
Концентрат	2184	32,26	21,04	49,95	13,65	39,40	14235
Порода	4587	67,74	44,20	60,85	35,23	3,32	1256

Известняки межпластовых прослоев отличаются друг от друга по химическому составу. Прослои «синюха» и «ложная кровля» характеризуются повышенным содержанием глинистых примесей (18%), щелочей (1,4—1,6%) и по сравнению с известняками прослоев «плита» и «кулак» заметно меньше содержат окиси кальция (36,3—41,3%).

По содержанию основных химических компонентов среди известняков выделяются две группы: слабо- и повышенномагнезиальные. Слабомагнезиальные известняки отличаются более высоким количеством окиси кальция и содержат сравнительно мало щелочей и глинистых примесей. К этой группе относятся прослои «плита» и «кулак». Известняки с повышенной магнезиальностью содержат больше щелочей и глинистых примесей и значительно меньше окиси кальция. К ним относятся прослои «синюха» и «ложная кровля». Химический состав хвостов обогащения технологической пробы в основном близок к средним значениям содержания химических компонентов в прослоях известняков «плита» и «кулак» (табл. 63).

Таблица 63. Химический состав известняков-отходов и хвостов обогащения [80], %

Компоненты	Прослои известняков				Хвосты обогащения (технологическая проба „плита" + „кулак")
	„плита"	„кулак"	„синюха"	„ложная кровля"	
SiO_2	7,38	5,11	13,21	13,41	6,26
Al_2O_3	1,93	1,44	3,61	3,06	2,51
Fe_2O_3	0,92	0,84	1,39	1,51	1,24
CaO	47,84	45,56	41,34	36,32	46,44
MgO	1,29	0,72	1,54	2,94	1,26
Na_2O	0,05	0,11	0,12	0,42	—
K_2O	0,58	0,53	1,35	1,19	0,82
SO_3	0,73	1,28	0,83	1,17	1,14
П. п. п.	38,79	43,32	35,22	39,4	40,84
$CaCO_3$	90,59	88,09	78,25	68,76	—
$MgCO_3$	2,78	1,65	3,45	6,59	—

Промышленные испытания карбонатных пород шахтных отходов (известняки прослоев «плита» и «кулак») добычи сланцев Ленинградского месторождения подтвердили возможность их использования в качестве основного сырьевого компонента для получения высококачественного клинкера. В этом случае себестоимость 1 т цемента оказывается значительно ниже, чем с использованием известняков, добываемых на специально организованном карьере.

ПРИГОДНОСТЬ ИЗВЕСТНЯКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

Карбонатные породы межпластовых прослоев промышленного пласта Ленинградского месторождения относятся к группе слабодоломитизированных с содержанием ОВ до 10%. В составе пород кальцит (70—90%), доломит (1—2%), марказит и пирит (1—3%). Содержание $CaCO_3$ в них 30—50% (табл. 63) [80, с. 179—188].

Проведенными полузаводскими испытаниями проб известняков каждого слоя в отдельности на Красковском опытном заводе Российского научно-исследовательского института местных строительных материалов установлено, что не все из них пригодны для производства извести. Известняки прослоев «кровля» и «синюха», обожженные в горне при 1000—1100° С, не пригодны для получения даже гидравлической извести из-за низкого содержания в извести активных CaO+MgO — 27—36%. Наилучшие результаты показали известняки прослоев «плита» и «кулак».

Обжиг проб известняков прослоев «плита» и «кулак» проводился во вращающейся печи длиной 11 м, внутренним диаметром 1,1 м, при температурах 1000, 1100 и 1200° С. Время нахождения материала в печи 50 мин, температура отходящих газов 580° С, разрежение в дымовой трубе 8 мм вод. ст., расход мазута 10 кг/ч.

Проведенными заводскими испытаниями установлено, что известняки прослоев «плита» и «кулак», каждый в отдельности, пригодны для производства извести строительной воздушной III и II сорта (табл. 64). Смесь известняков прослоев

Таблица 64. **Результаты испытания проб извести [80]**

Фракции	Максимальная температура обжига, °С	Скорость гашения, мин	Температура гашения, °С	Количество непогасившихся зерен, %	Содержание активных CaO+MgO, %	Сорт извести
Шахта № 2, пробы 66+066						
Смесь фракций	1020	5	66	16,4	70,7	II
>20 мм	1020	4	67	13,8	71,8	II
<20 мм	1020	5	66	19,6	74,2	II
Смесь фракций	1100	8	65	9,0	65,0	III
>20 мм	1100	7	64	11,9	67,2	III
<20 мм	1100	8	64	11,7	62,7	III
Смесь фракций	1200	12	60	6,6	70,9	II
Шахта им. С. М. Кирова, пробы 193+0193						
Смесь фракций	1000	5	61	10,1	69,8	III
<20 мм	1000	5	76	23,9	70,2	III
>20 мм	1100	5	72	10,5	70,7	II
Смесь фракций	1100	4	69	10,1	70,5	II
<20 мм	1100	4	70	7,9	73,5	II
>20 мм	1100	5	60	6,5	69,9	III
Смесь фракций	1200	10	54	3,9	68,5	III

«плита» и «кулак», как показали испытания в заводских условиях, пригодна для производства гидравлической извести, поскольку имеет более высокие показатели, чем известняки прослоев «ложная кровля» и «синюха». Образцы извести известняков «ложная кровля» и «синюха» показали низкий предел прочности.

МИНЕРАЛЬНАЯ ВАТА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НЕЕ

Минеральная вата и изделия из нее находят широкое применение в качестве теплоизоляционного материала. Потребности в вате за последнее время значительно возросли. Для ее изготовления используют различные горные породы: диабаз, базальт, гранит, сиенит, сланцы, известняки и др., а также металлургические шлаки, получаемые при выплавке металлов. Во многих случаях для получения высококачественной ваты составляется двух- или трехкомпонентная смесь сырья. При образовании волокон наряду с целым рядом других факторов большое значение имеет вязкость расплава. Исследования А. И. Жилина [1953 г.] показали, что наилучшее качество ваты из горных пород и шлаков получается при вязкости расплава не более 5 пуаз при 1500° С и 15 пуаз при 1400° С.

Бо́льшая часть горных пород, добываемых попутно с горючими сланцами, или отходы обогащения сланцев могут найти применение в производстве минеральной ваты высокого качества [80, с. 211—217]. Для этих целей пригодны известняки-отходы добычи и сланцевый кокс термической переработки горючих сланцев. В качестве кислой добавки можно использовать глины, бой силикатного кирпича или керамических труб и других изделий. Химический состав сырьевых компонентов приведен в табл. 65.

Таблица 65. **Химический состав сырьевых компонентов минеральной ваты [80], %**

Компоненты	Карбонатные породы, отходы добычи сланцев Ленинградского месторождения		Сланцевый кокс — отходы переработки горючего сланца в камерных печах	Глина месторождения „Большие Поля"	Бой сланцезольного кирпича Сланцевского кирпичного завода
	„Плита"	„Кулак"			
SiO_2	7,38	5,11	21,42	58,92	70,55
TiO_2	0,14	0,10	0,34	0,94	—
Al_2O_3	1,93	1,44	5,70	16,96	4,37
Fe_2O_3	0,92	0,84	3,87	7,22	1,92
P_2O_5	0,12	0,11	0,08	0,12	—
CaO	47,4	46,56	27,26	2,42	13,57
MgO	1,29	0,72	1,50	2,77	1,32
MnO	0,03	0,03	0,01	0,08	—
Na_2O	0,05	0,11	0,15	1,28	0,35
K_2O	0,58	0,53	2,50	3,50	1,45
П. п. п.	38,79	43,32	32,28	5,65	6,82
Сумма	99,07	98,87	93,12	99,86	100,35
$S_{общ}$ в пересчете на SO_3	1,13	1,22	5,09	0,21	1,17

Оптимальный состав шихты указанных сырьевых компонентов следующий (%):

1) известняки (55 и 50)
   глина (45 и 50)
2) известняки (55 и 50)
   бой сланцезольного кирпича (45 и 50)
3) сланцевый кокс (70)
   бой сланцезольного кирпича (30)
4) сланцевый кокс (65 и 70)
   глина (35 и 30)

Плавление шихты проводилось в вагранке диаметром 1250 см. Раздув расплава — пародутьевым методом. Расплав шихты указанного состава имел модуль кислотности 1,3—1,5. Температура расплава 1350—1410° С. Расход металлургического кокса во время опытных плавок при пародутьевом способе раздува расплава близок к 300 кг/т минеральной ваты. Расход сырьевых компонентов на 1 т расплава (кг): карбонатные породы — 840, глина — 630, сланцевый кокс — 1070, бой сланцезольного кирпича 480. Производительность вагранки 1,2—1,4 т/ч.

С увеличением упругости дутья заметно повышается съем ваты с 1 м² пода вагранки в час. При упругости дутья 381 мм вод. ст. съем с 1 м² пода в час составил 994 кг ваты, а при упругости дутья 544 мм вод. ст. — 1577 кг. При пародутьевом способе раздува с увеличением давления пара с 3,7 до 6—7 кгс/см² выход минеральной ваты составил 82,5%. Характеристика ваты опытных партий приведена в табл. 66. Модуль кислотности ваты 1,01—1,67. По теплопроводности вата отвечает марке 150. Температура спекания ваты выше 1000° С. Разрушение волокон ваты наблюдается при термической обработке при 600—750° С в течение 5 ч.

Таблица 66. **Качественная характеристика опытных партий минеральной ваты [80]**

Состав шихты, %	Объемная масса, кг/м³	Содержание корольков, %	Влажность ваты, %	Диаметр волокон ваты, мкм	Содержание в вате, %	
					минеральных масел	SO_3
Пародутьевой метод раздува						
1. Известняки —60 Бой сланцезольного кирпича —40	145	9,20	0,12	2,34	0,40	0,38
2. Известняки —55 Бой сланцезольного кирпича —45	150	8,80	0,40	3,13	0,40	0,29
3. Сланцевый кокс —70 Бой сланцезольного кирпича —30	148	8,50	0,26	5,43	0,01	0,37
Центрифугированный метод раздува						
4. Известняки —50 Глина —50	99—78	4,2	0,2—1,10	3,22	0,3	0,11

Вата длинноволокнистая. Диаметр волокон не более 4 мкм. Исследуемые образцы ваты являются щелочностойкими. Выщелачиваемость их не превышает 0,4%. Вата может применяться в качестве теплоизоляционного материала при температуре нагревания до 500° С.

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ

Как показали исследования золы, полученной от сжигания горючих сланцев Ленинградского месторождения, ее можно использовать в качестве основного сырья для получения стеклянных и стеклокристаллических изделий [45]. Зола мультициклонов Сланцевской ЦЭС представляет собой тонкодисперсный материал, основная масса которого (90—95%) имеет размер зерен менее 55 мкм. Насыпная масса золы 1160 кг/см³, рабочая влага 3—5%. Химический состав золы (%): SiO_2 — 37,15, Al_2O_3 — 10,38, Fe_2O_3 — 4,89, CaO — 35,76, MgO — 3,21, SO_3 — 4,27, R_2O — 3,37.

Зола является легкоплавким сырьем. Температура плавления 1180—1250° С. Плавление сланцевой золы проводилось в газовой плавильной печи производительностью 1 т/ч. Технологические параметры расплава: температура в печи 1410° С, время выдержки при указанной температуре 30 мин, температура заливки в формы 1300—1350° С, вязкость при заливке в формы 20—60 пуаз. Полученный расплав имел следующий химический состав (%): SiO_2 — 41,70, Al_2O_3 — 11,84, Fe_2O_3 — 0,91, CaO — 39,0, MgO — 3,11, SO_3 — 0,30, R_2O — 3,01 [45].

Стеклянные образцы светло-зеленого цвета. Плотность их 2,60—1,81, предел прочности при сжатии 1260, при изгибе — 600, при растяжении — 150 кгс/см². Температура начала размягчения стекла 900° С. Стекло термостойкое до 250° С. Оно обладает высокими диэлектрическими свойствами: удельное объемное сопротивление — $3{,}1 \cdot 10^{14}$ Ом · см, тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц 0,001. Стекло такого качества может быть использовано для производства высоковольтных изоляторов.

Для получения кислотостойких изделий необходимо к сланцевой золе добавлять кислую добавку — кварцевый песок 20%. Кислотостойкость стеклянных образцов довольно низкая (99,0%) при сохранении свойств остальных показателей. Такое стекло по своим физико-механическим свойствам пригодно для производства различных строительных изделий, в том числе облицовочных плиток.

Кристаллизация сланцезольного стекла при соответствующих температурных режимах и времени выдержки позволяет получать стеклокристаллический материал — ситалл, обладающий высокими физико-механическими свойствами. Процесс кристаллизации сланцезольного стекла, по данным С. Н. Ивановой [81], проходит три температурных этапа:

1) 680—900° С; кристаллизация из стекла скелетных кристаллов геленита, количество и размеры которых возрастают с увеличением температуры;

2) 900—950° С; время тепловой обработки 15—20 мин, продолжается рост кристаллов геленита и одновременно с этим происходит кристаллизация в межплоскостных промежутках и эвтектики псевдоволластонит-геленит;

3) 900—950° С; выдержка более 120 мин, растворение ветвей кристаллов геленита и замещение их псевдоволластонит-геленитом.

Сланцезольный стеклокристаллический теплоноситель представлен в основном двумя минералогическими фазами — геленитом (44%) и волластонитом (56%).

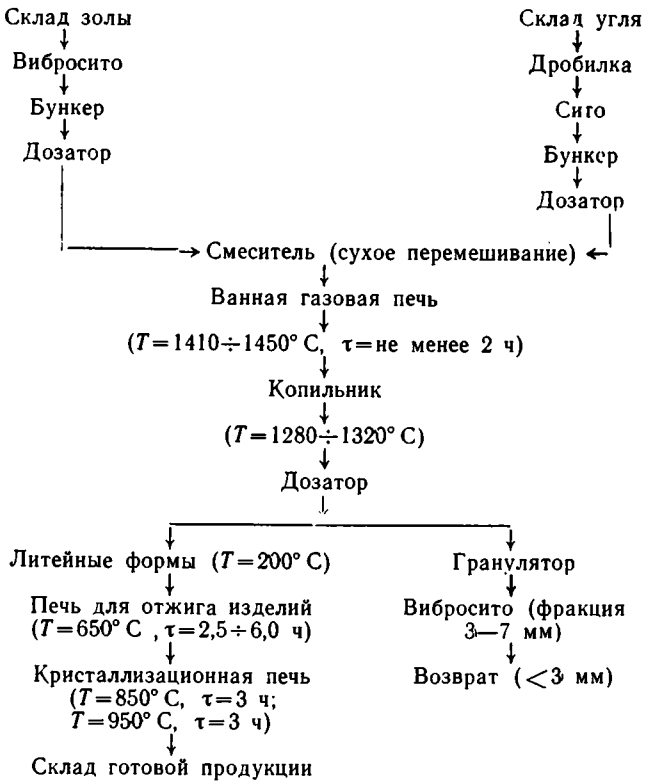
Основные физико-механические свойства сланцезольного стеклокристаллического теплоносителя [81]:

Плотность, г/см³	2,69—2,78
Пористость, %	До 1,0
Кислотостойкость в H_2SO_4, %	94,5—95,1
Щелочестойкость, %	95,0—95,7
Предел прочности, кгс/см²:	
при сжатии	6100
при изгибе	850
при растяжении	417
Водопоглощение, %	0,01
Модуль Юнга при 20° С, 10^5, кгс/см²	11,17
Прочность на истирание, кгс/см²	0,02
Температура размягчения, °С	1200
Коэффициент линейного расширения, 10^{-7} °С$^{-1}$:	
при 100° С	78—95
при 700° С	96—103
Удельная теплоемкость, кДж/(г · °С)	1,23—1,44

Сланцезольный стеклокристаллический материал по физико-механическим свойствам отвечает техническим требованиям, предъявляемым к теплоносителю контакт-

ного пиролиза сланца и нефтепродуктов. По основным показателям он близок к микролитовому теплоносителю — ЦМ-332 (мелкокристаллический спеченный корунд).

Схема производства гранулированного сланцезольного теплоносителя:



СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ ГАЗОЗОЛОСИЛИКАТ

Зола пылевидного сжигания ленинградского горючего сланца центральной электростанции из мультициклонов с сухим золоудалением обладает повышенными вяжущими свойствами. Кроме того, по гранулометрическому составу она является тонкодисперсным материалом и не требует дополнительных затрат на механическую подготовку (дробление и пр.). Для изготовления конструктивного и теплоизоляционного газозолосиликата применялись вяжущее (зола), наполнитель (кварцевый песок), газообразователь (алюминиевая пудра), добавки (стабилизаторы) [80, с. 189—198].

Зола пылевидного сжигания горючего сланца ЦЭС комбината «Сланцы» содержит до 20% свободной извести. Основная масса ее состоит из стекловидных частиц (35—40%), ошлакованных частиц и обломков отдельных минералов. Остатки необожженных частиц сланца не превышают 1%. В заметном количестве присутствуют клинкерные минералы — $2\,CaO \cdot SiO_2$, $CaO \cdot Al_2O_3$, $2\,CaO \cdot Fe_2O_3$ и др. Основным фактором, определяющим вяжущие свойства золы, является наличие клинкерных минералов и активной глинистой части, обладающей свойствами геленита. При взаимодействии глинистой части со свободной известью золы при твердении сланцезольных растворов возникают гидросиликаты и гидроалюминаты. Происходит образование быстро гидратирующейся окиси кальция. Химический состав золы приве-

Таблица 67. **Средний химический состав золы и песка [80, с. 189—198], %**

Компоненты	Зола	Песок	Компоненты	Зола	Песок
SiO_2	34,15	92,6	CaO	36,53	0,43
TiO_2	0,5	0,08	MgO	3,04	0,14
Al_2O_3	8,4	1,05	Na_2O	0,23	2,23
P_2O_5	0,12	0,03	K_2O	4,2	2,23
Fe_2O_3	3,6	0,05	П. п. п.	3,88	0,38
FeO	0,97	0,23	SO_3	3,51	—
MnO	0,04	0,01	Сумма	99,17	97,23

Таблица 68. **Гранулометрический состав золы [80], %**

Отверстия сита, мм	Вид золы			Отверстия сита, мм	Вид золы		
	немолотая	молотая	гашеная		немолотая	молотая	гашеная
2,5	—	—	—	0,25	0,25	0,05	0,05
1,6	0,10	—	—	0,16	0,50	0,07	0,385
1,0	0,25	—	0,01	0,1	3,50	0,64	1,21
0,63	0,22	—	0,01	0,063	6,25	2,80	10,735
0,4	0,10	—	0,025	0,05	19,05	3,40	0,635
0,315	0,07	—	0,035	Дно	60,00	32,08	86,75

Таблица 69. **Оптимальные составы газозолосиликатов**

Компоненты	Газозолосиликат	
	Теплоизоляционный с объемной массой 500 кг/м³	Конструктивный с объемной массой 950—1000 кг/м³
Зола гашеная	1 часть	1 часть
Песок молотый	0,5 части	1 часть
Вода	44—48%*	44%*
Алюминиевая пудра ПАК-3	0,20%*	0,04%*

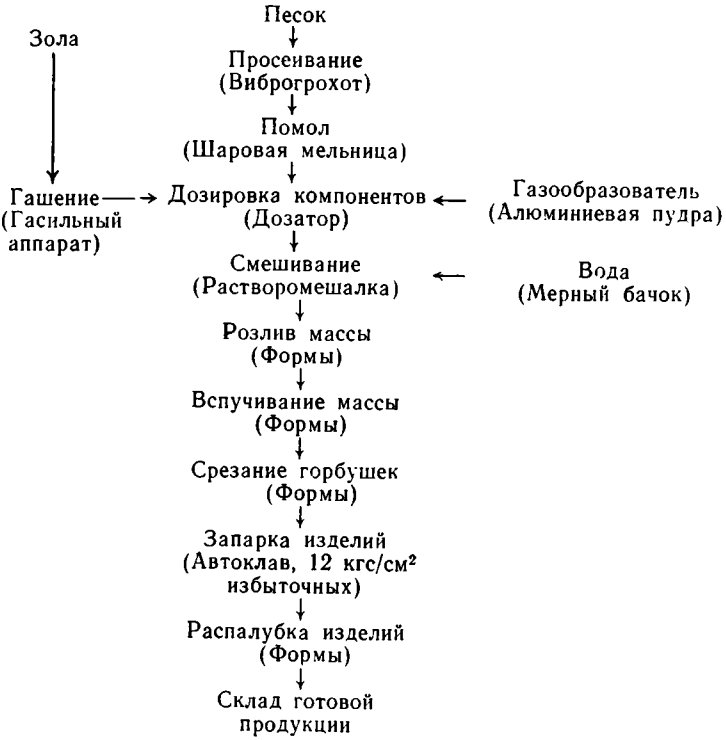
* От сухой массы.

ден в табл. 67. Размер зерен основной массы золы меньше 56 мкм (табл. 68), плотность 2,70, объемная масса 1130 кг/м³, удельная поверхность немолотой золы 1535, молотой — до 3000 см²/г.

Зола молотая гашеная в автоклаве при избыточном давлении 9 кгс/см² ускоряет процесс гидратации силикатов, алюминатов, ферритов кальция и свободной извести, т. е. создает условия для быстрейшего протекания процесса твердения сланцезольных вяжущих. Прочность газозолосиликата возрастает с увеличением степени дисперсности исходных компонентов. Особенно благоприятное влияние на повышение прочности газозолосиликата оказывает совместный помол золы и песка. Химический состав сырьевых компонентов приведен в табл. 67.

Оптимальный состав масс теплоизоляционного и конструктивного газозолосиликата приведен в табл. 69.

Технология производства газозолосиликата осуществлялась по следующей схеме:



Объемная масса кварцевого песка 1,45 г/см³, плотность 2,6. Объем пустот в песке 44%, содержание отмученных частиц 1,4, содержание глинистого вещества 0,25%. Как для теплоизоляционного, так и для конструктивного газозолосиликата наиболее высокие качественные показатели получены с гашеной золой. Добавка в массу строительного гипса и хлористого натрия не оказывает влияния на свойства газозолосиликата. Для активизации процесса газовыделения вода затворения должна иметь температуру 55—60° С. Температура форм 15—18° С также активизирует процесс газовыделения и ускоряет процесс гашения золы.

Предварительная пропарка опытных образцов из гашеной золы способствует более полному прохождению процесса газовыделения и тем самым улучшает прочностные свойства готовых изделий, однако удорожает стоимость продукции. В то же время одна пропарка без последующей запарки в автоклаве не обеспечивает получения газозолосиликата необходимой прочности. Изготовленные таким образом блоки после небольшого срока хранения на открытой площадке постепенно разрушаются: происходят шелушение и образование трещин. Такие изделия оказываются неморозостойкими.

Пропарка в камерах и последующая запарка в автоклаве при избыточном давлении не менее 9 кгс/см² заметно повышают прочностные свойства конструктивного газозолосиликата. Механическая прочность газозолосиликата находится в прямой зависимости от состава и структуры массы, от поглощения и кажущейся пористости (табл. 70).

Теплоизоляционный газозолосиликат с объемной массой 500—600 кг/м³ неморо-

зостойкий. Частичное или полное разрушение образцов начинается на 8-м или 14-м цикле замораживания.

Конструктивный газозолосиликат с объемной массой 900—1000 кг/м³ выдержал 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания при +15° С. Опытные образцы газозолосиликата запаривали в автоклаве по режиму: 3 ч подъем пара, 12 ч запарка при избыточном давлении 9 кгс/см² и 2 ч спуск пара. Запаривание при большем давлении повышает прочность изделий из газозолосиликата.

Опытные образцы газозолосиликата обладают физико-механическими свойствами, приведенными в табл. 71. Конструктивный газозолосиликат с объемной массой 900—1000 кг/м³ можно применять для изготовления самонесущих панелей наружных стен и других строительных деталей.

Таблица 70. **Зависимость механической прочности газозолосиликата от водопоглощения и кажущейся пористости [80]**

Объемная масса, кг/м³	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, кгс см²	Кажущаяся пористость, %
500	65	28	49
530	60	30	36
930	24	65	22
950	22	95—104	21
990	21	95	20

Таблица 71. **Физико-механические свойства газозолосиликата [80]**

Газозолосиликат	Объемная масса, кг м³	Механическая прочность на сжатие, кгс см²	Водопоглощение, %	Морозостойкость
Конструктивный	1000	100	21,0	Выдержал 15 циклов
Теплоизоляционный	500	28	64,0	Разрушился на 8—14 циклах

Производство газозолосиликата на основе сланцевой золы исключает необходимость применения при изготовлении строительных изделий такого дорогостоящего вяжущего, как портландцемент. Экономия портландцемента на 1 м³ бетона составит 300 кг. Производство газозолосиликата выгодно отличается от производства газобетона по капиталовложениям на 1 м³ изделий и затратам на создание сырьевой базы завода. Обычно удельные капиталовложения создания сырьевой базы на 1 м³ железобетонных изделий составляют 15—20%; для производства газозолосиликата они в 3—4 раза меньше. Теплоизоляционный и конструктивный газозолосиликаты являются эффективным строительным материалом. Использование сланцевой золы в качестве вяжущего материала будет способствовать выпуску дешевых крупноразмерных строительных изделий. Такой материал может найти широкое применение, особенно в сельском строительстве.

ДРЕНАЖНЫЕ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Легкая сланцевая зола пылевидного сжигания горючего сланца Ленинградского месторождения обладает вяжущими свойствами и по этому показателю пригодна для изготовления дренажных труб [80, с. 199—210].

Таблица 72. **Влияние способа обработки золы на физико-механические свойства опытных образцов [80]**

Смеси, %		Удельная поверхность, см²/г	Водопотребность смеси, %	Предел прочности при сжатии, кгс/см²	Объемная масса, г·см⁻¹	Водопоглощение, %	Кажущаяся пористость, %
Зола	Песок						
Зола негашеная, песок немолотый							
30	70	3335	7,0	Образцы развалились			
40	60	3335	7,0	То же			
50	50	3335	7,0	»			
60	40	3335	7,0	»			
Зола немолотая, песок немолотый							
30	70	3000	7,0	436	1,92	13,2	22,0
40	60	3000	7,0	447	1,93	12,0	21,8
50	50	3000	7,0	439	1,91	14,0	26,7
60	40	3000	7,0	268	1,73	17,5	32,2
Зола молотая гашеная, песок немолотый							
30	70	4700	8,0	453	1,92	12,65	23,5
40	60	4700	8,0	496	1,93	11,60	21,8
50	50	4700	8,0	460	1,91	14,55	26,4
60	40	4700	8,0	324	1,77	16,80	30,4
Совместный помол золы с песком							
30	70	3000	8,0	460	1,91	21,3	21,5
40	60	3000	8,0	510	1,93	11,5	21,5
50	50	3000	8,0	480	1,91	12,9	23,8
60	40	3000	8,0	354	1,78	16,9	31,4
Бегунная обработка смеси гашеной золы с песком							
30	70	1000	7,0	433	1,91	13,0	28,1
40	60	1400	—	467	1,93	11,8	21,7
50	50	1900	—	450	1,90	13,8	25,0
60	40	2100	—	300	1,75	17,0	31,4

В процессе изготовления этих труб в качестве исходного компонента применялась негашеная зола пылевидного сжигания ЦЭС, взятая из-под мультициклонов с сухим золоудалением. Помол негашеной золы, гашение золы и совместный помол гашеной золы и песка проводились в шаровой лабораторной мельнице, а гашение золы — в автоклаве при избыточном давлении 9 кгс/см² в течение 12 ч. Результаты испытаний влияния способа обработки золы на физико-механические свойства опытных образцов приведены в табл. 72.

После автоклавной обработки образцы из негашеной золы увеличились в объеме, образовали глубокие трещины, а некоторые рассыпались в порошок. Это объясняется тем, что при запарке происходит процесс гашения извести, что вызывает неравномерность изменения объема образцов. Применение же гашеной золы приводит к тому, что устраняется неравномерность изменения объема образцов и, кроме того, увеличивается прочность изделий, так как возрастает скорость гидратации и образования гидросиликата кальция.

При помоле золы (до 4700 см²/г) повышается ее механическая прочность по сравнению с образцами из немолотой гашеной золы, увеличивается поверхность соприкосновения реагирующих веществ и возрастает количество освоенного кварца. Совместный помол гашеной золы и песка (по удельной поверхности 3000 см²/г) при автоклавной обработке приводит также к повышению механической прочности по сравнению с образцами из немолотой золы.

Опытные образцы дренажных труб изготовлялись методом горизонтального вибрирования из шихты состава (%): гашеная немолотая зола 30—40, кварцевый песок 70—60, совместного помола; формовочная влажность 14—16%. Размер труб (мм): внутренний диаметр — 85, наружный — 125, длина — 500. Дренажные трубы изготовлялись без арматуры, канализационные — с арматурой.

С применением гашеной золы устраняется неравномерность изменения объема образцов, увеличивается прочность изделий, так как возрастает скорость гидратации и образования гидросиликата кальция. Изготовленные из гашеной золы трубы обладают меньшим водопоглощением, чем трубы из негашеной. Битумирование труб в битуме марки БН-Ш-V при температуре 180—200° С в течение 5 ч снизило водопоглощение до 0,5—0,9% (табл. 73).

Трубы с содержанием 30% гашеной золы и 70% песка выдержали 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания при температуре ±15° С.

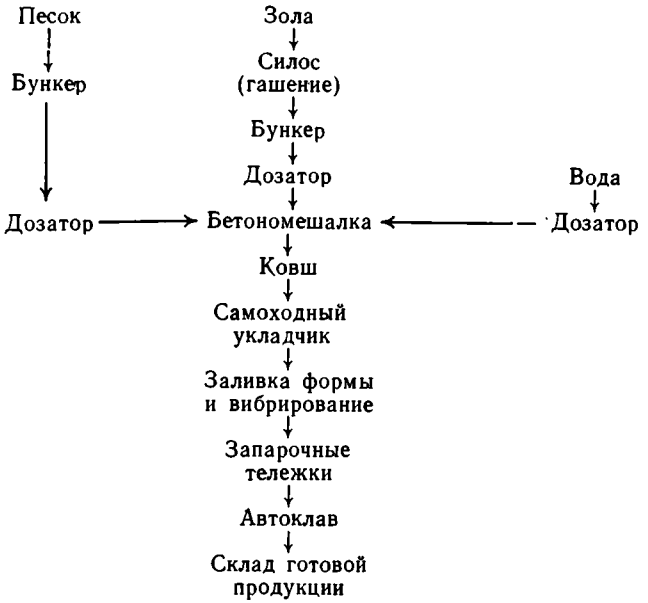
Сланцевая зола пылевидного сжигания горючего сланца как материал, обладающий вяжущими свойствами, может быть использована для производства золо-

Таблица 73. **Физико-механические свойства сланцезольных труб [80]**

Смеси, %		Объемная масса смеси, г/см³	Водопоглощение, %		Объемная масса труб, г/см³	Разрушающие нагрузки, кгс, на длину трубы
Зола	Песок		небитумированных труб	битумированных труб после 24 и 72 ч хранения в воде		
Зола гашеная, армированные трубы						
30	70	1,74	16,2	0,6 и 1,0	1,85	2322
40	60	1,72	16,8	0,7 и 2,0	1,82	2063
Зола негашеная, неармированные трубы						
30	70	1,70	17,9	0,5 и 1,0	1,76	1032
40	60	1,67	19,7	0,8 и 1,0	1,72	516

песчаных дренажных труб. Наиболее эффективным является способ горизонтального вибрирования с последующей гидротермической обработкой труб в автоклаве.

Трубы изготовляются по следующей технологической схеме:



СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ АГЛОПОРИТ

С развитием промышленного и жилищного строительства возрастает потребность в легких наполнителях, используемых для производства легкого бетона. Легкие бетоны, изготовленные на основе пористых наполнителей, повышают теплотехнические качества ограждающих конструкций, снижают вес здания и тем самым удешевляют стоимость их строительства. Для производства искусственных наполнителей используется природное сырье: глина, суглинок, лёссы, диатомиты и другие породы, а также различные топливные отходы.

Поисковые исследования показали, что практический интерес для производства искусственного пористого наполнителя методом агломерации представляет зола — унос от пылевидного сжигания горючего сланца на ЦЭС сланцеперерабатывающего комбината «Сланцы» [82]. По сравнению с другими зольными остатками она обладает более постоянным минералогическим, химическим и гранулометрическим составом и не требует дополнительных денежных затрат на подсушку и помол. Единственное ее отрицательное свойство — сравнительно высокое содержание окиси кальция (36,0—38,0%), вследствие чего для производства легкого наполнителя требуется вводить в шихту кислую корректирующую добавку. По местным условиям комбината «Сланцы» в качестве такой добавки применялась глина месторождения «Большие Поля». Химический состав глины и золы приведен в табл. 74. В качестве топлива применялся антрацит (%): влага рабочая — 3,83, зола на сухое вещество — 10,74, $S_{общ}$ — 1,76, C — 82,51, H — 2,10. Теплота сгорания 30 750 кДж/кг.

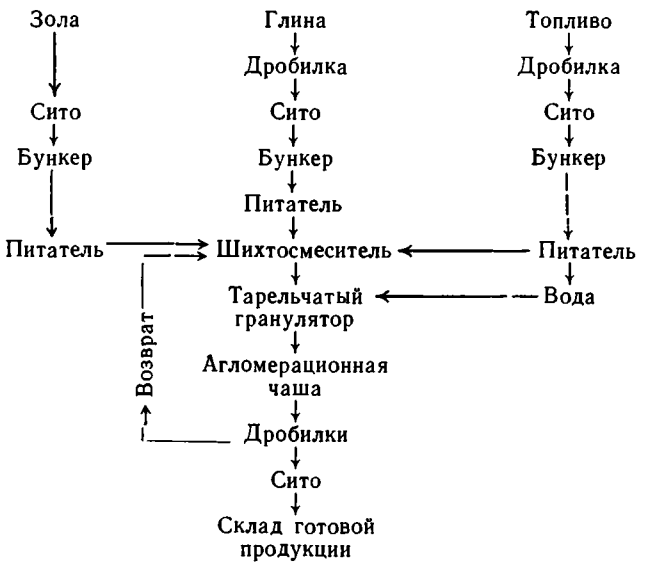
Испытания проводились в лаборатории агломерации и брикетирования института «Механобр» в агломерационной чаше с площадью спекательной решетки 0,0423 м^2. Глина, антрацит и возврат дробились и просеивались через сито 3 мм.

Таблица 74. **Химический состав золы и глины, %**

Компоненты	Зола	Глина	Компоненты	Зола	Глина
SiO_2	34,15	58,92	CaO	36,53	2,42
TiO_2	0,50	0,94	MgO	3,04	2,77
Al_2O_3	8,40	16,96	Na_2O	0,23	1,28
P_2O_5	0,12	0,12	K_2O	4,20	3,50
Fe_2O_3	3,60	7,22	П. п. п.	3,88	5,65
FeO	0,97	—	SO_3	3,51	0,21
MnO	0,04	0,08	Сумма	99,17	100,07

Вначале перемешивались зола с глиной или возвратом и опилками. В процессе перемешивания постепенно вводилось топливо. После тщательного перемешивания шихта увлажнялась водой, дополнительно перемешивалась и засыпалась в агломерационную чашу. Сланцезольный аглопорит изготовлялся из смеси (%): зола — 53, глина — 30, возврат — 10, антрацит — 7. Влажность шихты 18—19%.

Технологическая схема изготовления аглопорита:



Грануляция сланцезольной шихты (с топливом) производилась в тарельчатом грануляторе с диаметром чаши 1000 и высотой бортов 130 мм. Частота вращения до 35 об/мин, угол наклона 25°, время грануляции до 10 мин. Розжиг шихты производился опилками, смоченными в керосине. В период розжига разрежение в вакуум-камере поддерживалось порядка 80—150 мм вод. ст.

Полузаводские испытания золы проводились на агломерационной ленточной машине конструкции НИИстроймаш с полезной площадью решетки 1,7 м². Длина машины 8, высота 3,8, ширина 3,6 м. Многочисленными опытами был установлен следующий оптимальный состав шихты, обеспечивающий получение сланцезольного

аглопорита (%): зола — 53,0, глина — 30,0, возврат — 10,0, антрацит — 7,0. Влажность шихты 18—19,5%.

На движущиеся палеты при помощи ковшового элеватора через специальный бункер загружался слой подстилающего материала высотой 50 мм. При выходе палет из-под загрузочного бункера на них вручную загружалась отгранулированная шихта. Высота слоя шихты 200 мм, насыпная масса шихты 1050—1075 г/л. В камере розжига поддерживалась постоянная температура 1170—1190° С. Спекание происходило при температуре 1000—1090° С. Зажигание шихты с поверхности продолжалось 3—4 мин при разрежении 100—125 мм вод. ст. Разрежение в процессе спекания поддерживалось в пределах 280—300 мм вод. ст. Спекшийся аглопорит охлаждался в течение 15—20 мин при разрежении 350—400 мм вод. ст. В конце охлаждения температура под слоем шихты была равна 300° С.

На физико-механические свойства и процесс производства аглопорита существенное влияние оказывают степень увлажнения шихты, количество топлива и возврата в шихте, воздушный режим спекания и др. Добавка в шихту глины и возврата заметно повышает прочностные свойства аглопорита. Химический состав опытных партий аглопорита (%): SiO_2 — 50,30, Al_2O_3 — 13,66, Fe_2O_3 — 6,96, CaO — 20,99, MgO — 2,80, R_2O — 4,70, SO_3 — 0,50, п. п. п. — 0,85.

Прочность аглопорита марки 800 35—42 кгс/см², объемная масса 1,40, плотность 2,86. В сланцезольном аглопорите истинная пористость составляет 10,5—19,7, закрытая 26,0—36,5%, водопоглощение 11,6—13,5%. В основной массе сланцезольный аглопорит — многопористая мелко- и тонкопористая масса, состоящая из стекловидного материала, псевдоволластонита, зерен кварца и полевого шпата.

При обжиге тонкодисперсной сланцезольной шихты соединения кальция и силикатной части глины взаимодействуют в твердом состоянии. При этих температурах жидкая фаза почти не образуется. Кальциевые соединения сланцевой золы, взаимодействуя с глинистой частью смеси и остеклованными зернами золы, в начальный этап спекания образуют волластонит $CaSiO_3$, который при повышении температуры спекания переходит в α-волластонит (псевдоволластонит). Игольчатые радиальнолучевые агрегаты псевдоволластонита в аглопорите имеют показатель светопреломления $Ng = 1{,}658 \pm 0{,}005$ и $Np = 1{,}620 \pm 0{,}05$.

В штате Вирджиния, США, с 1975 г. работает завод по производству легких наполнителей бетонов из вспученного сланца. В штате Техас на заводе фирмы «Superock» организован выпуск легкого наполнителя из вспученного сланца для нужд дорожного строительства. Вспученный материал — карпазит — был получен на основе менилитовых сланцев [44].

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЙ АГЛОПОРИТОБЕТОН

Для производства легкого бетона обычно используют керамзит, себестоимость которого в настоящее время еще довольно высокая, что удорожает выпуск керамзитобетонных изделий. Выпуск легкого бетона может быть организован также и на базе сланцезольного аглопорита по технологии, разработанной Ю. Д. Мотиным, И. М. Озеровым во Всесоюзном научно-исследовательском институте переработки и использования топлива.

Для производства сланцезольного аглопоритобетона приготовлялась смесь из аглопорита, цемента и воды (табл. 75). Крупные фракции аглопорита, мелкий заполнитель и часть воды (²/₃) предварительно перемешивались в мешалке в течение 3—4 мин, а затем добавлялись вяжущее, остальная вода и проводилось дальнейшее перемешивание. Далее смесь укладывалась в металлические формы. Формование проводилось в лабораторных условиях на вибростоле. Продолжительность вибрирования не превышала 60 с, пригруз 45—55 г/см².

Тепловая обработка изделий производилась в пропарочной камере при температуре 100° С по режиму 2+6+2 ч. Сланцезольный аглопоритобетон характеризуется физико-механическими свойствами, приведенными в табл. 76. Он может найти широкое применение в жилищном строительстве.

Таблица 75. **Расход материала для смеси сланцезольного аглопоритобетона, кг**

Марка бетона	Фракции аглопорита, мм			Цемент марки 500	Вода
	1—5	5—10	10—20		
50	450	200	400	184	240
75	470	205	410	200	235
100	480	205	4 0	235	225
150	495	205	430	265	240
200	495	210	440	280	230
250	480	210	440	300	240
300	475	210	435	350	240

Таблица 76. **Свойства аглопоритобетона на основе сланцезольного аглопорита**

Марка бетона	Объемная масса, кг/см³	Предел прочности при сжатии, кгс/см²	
		после пропаривания	после 28 сут хранения
50	1150—1180	36	54
75	1190—1200	56	84
100	1300—1340	74	113
150	1310—1350	131	157
200	1500	138	207
250	1600—1620	179	263
300	1640—1670	228	305

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОТХОДЫ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ

Для известкования кислых почв могут быть использованы сланцевые золы карбонатного состава и карбонатные породы, отходы добычи и обогащения сланцев. Зерновой состав золы циклонов, полученной в результате сжигания электростанциями горючих сланцев карбонатного состава, менее 150 мкм, и потому она не требует дополнительного размола. Она содержит 11—20% свободной извести, а также клинкерные минералы, 3,98—5% окиси калия. В золе содержатся многие микроэлементы, в частности титан, стронций, ванадий, медь, свинец, никель, гелий, иттрий, хром, цирконий, стронций, барий и другие в количествах от 0,0001 до 0,01 и даже 0,1%. Химический состав золы приведен в табл. 67.

Лаборатория удобрений Северо-Западного научно-исследовательского института сельского хозяйства СССР в течение ряда лет изучала циклонную сланцевую золу как сырье для известкования кислых почв и повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур. По данным этой лаборатории, зола не только средство нейтрализации веществ в почве (до 75—85%), но и источник питательных веществ для растений. По эффективности она превосходит стандартные известковые удобрения, например сажу, туфы и молотый известняк. С ее помощью повышается урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 77).

В Эстонии систематически используется сланцевая зола для известкования кислых почв. С 1964 по 1976 г. было израсходовано 4,5 млн. т пылевидных извест-

Таблица 77. **Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при использовании сланцевой золы (данные лаборатории СЗНИИСХ), ц/га**

Варианты опыта	Ячмень (действие)	Ячмень (после действия)	Травы первого года (после действия)	Травы второго года (после действия)	Озимая рожь (действие)	Картофель (действие)	Картофель (после действия)	Капуста (действие)
Урожай без известкования	15,6	16,2	18,1	22,2	29,4	183,1	172,0	229,0
Прибавки по сланцевой золе	+6,5	+5,3	+22,5	+16,5	+2,9	+8,6	+35,5	+122,0

ковых удобрений, в том числе больше 3 млн. т пылевидной сланцевой золы. Только за десятую пятилетку было известковано 325 тыс. га кислых почв. Издержки на известкование почв окупаются за 1—2 года [83].

Сланцевая зола, богатая микроэлементами (медь, молибден, кобальт, марганец и др.), оказывает благоприятное воздействие на урожай сельскохозяйственных культур. Высокие результаты были достигнуты при известковании кислых почв сланцевой золой в колхозе им. М. И. Калинина Пыльваского производственного управления Эстонской ССР. Прирост урожая на гектаре составил: картофеля — 63, яровой пшеницы — 10,1, ржи — 11, ячменя — 16,7 ц. В течение 6 лет благодаря известкованию сланцевой золой участок земли в 15 га принес колхозу дополнительно почти 92 ц кормовых единиц, или более чем по 6 ц кормовых единиц с гектара. В колхозе «Кюльвая» Пыльваского района Эстонской ССР в результате применения сланцевой золы на кислых почвах средний урожай всех сельскохозяйственных культур повысился на одну треть.

Положительный опыт Эстонской ССР для применения известкования почв на площади в сотни тысяч гектаров циклонной сланцевой золой может быть рекомендован и для других районов. Кроме циклонной сланцевой золы для известкования кислых почв можно использовать известковую муку, приготовленную путем размола карбонатных пород — отходов добычи или отходов обогащения сланцев.

ЩЕБЕНЬ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Попутно добываемые со сланцами горные породы во многих случаях можно использовать в качестве щебня для строительных работ. Это относится прежде всего к кремнистым и карбонатным породам. Исследования известняков межпластовых прослоев полезной толщи горючих сланцев Ленинградского месторождения, выполненные И. М. Озеровым, С. Н. Ивановой, Ю. Д. Мотиным, показали, что такие прослои, как «плита» и «кулак», отвечают требованиям нормативно-технической документации в качестве строительного щебня.

Известняки, содержащие повышенный процент ОВ, а также мергелистые породы, как, например, «синюха», обладают бо́льшим водопоглощением, чем доломитизированные разновидности известняков, и меньшим коэффициентом размягчения (табл. 78). Известняки прослоев промышленного пласта близки друг к другу по ударной прочности, плотности и насыпной массе, но различаются по истираемости и износу (табл. 79, 80).

Таблица 78. **Показатели водопоглощения, пористости и коэффициент размягчения известняков**

Прослои известняков	Средние значения, %		Коэффициент размягчения
	водопоглощения	пористости	
«Ложная кровля»	3,53	7,88	0,77
«Плита»	2,94	7,77	0,86
«Кулак»	2,80	8,90	0,85
«Синюха»	3,98	7,79	0,82
Известняки подошвы	2,40	8,87	0,79

Таблица 79. **Показатели плотности и насыпной массы известняков**

Прослои известняков	Плотность (средняя), г/см³	Насыпная масса (средняя), г/см³
«Ложная кровля»	2,40—2,67 (2,60)	2,24—2,46 (2,39)
«Плита»	2,62—2,68 (2,66)	2,43—2,48 (2,44)
«Кулак»	2,41—2,64 (2,48)	2,15—2,46 (2,24)
«Синюха»	2,54—2,69 (2,61)	2,33—2,42 (2,37)
Известняки подошвы	2,51—2,66 (2,62)	2,09—2,53 (2,38)

Таблица 80. **Показатели истираемости, ударной прочности и износа известняков**

Прослои известняков	Истираемость, кгс/см²	Ударная прочность (количество ударов)	Износ, %
«Ложная кровля»	1,41	6	7,4
«Плита»	1,27	6	7,3
«Кулак»	1,40	5	6,8
«Синюха»	1,80	5	4,4
Известняки подошвы	1,42	5	10,7

Таблица 81. **Предел прочности известняков при сжатии, кгс/см²**

Прослои известняков	Сухое состояние	Состояние насыщенности водой	После 25-кратного замораживания и оттаивания при ±15°С
«Ложная кровля»	470—975	254—923	Образец разрушился
«Плита»	881	739	623
«Кулак»	796	690	588
«Синюха»	509—965	535—792	Образец разрушился
Известняки подошвы	655—503—936	—	То же

Испытания прочности известняков на сжатие в сухом, насыщенном водой состоянии и после попеременного замораживания и оттаивания образцов при температуре ±15° С показали, что доломитизированные известняки «плита» и «кулак» обладают более высокими качествами, чем мергелистые разновидности. Известняки прослоев «плита» и «кулак» по физико-механическим свойствам отвечают требованиям действующей нормативно-технической документации на щебень для дорожного строительства, строительных работ и как наполнитель для бетона. Кроме того, они пригодны в качестве бутового камня (табл. 81).

ЗАПАСЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ СЛАНЦЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В современных условиях при все возрастающих темпах научно-технического прогресса вопросы комплексного использования природных сырьевых ресурсов и отходов производств приобретают важное значение. В СССР уделяется большое внимание взаимодействию общества и природы, вопросам охраны природы, рационального использования всех видов производств. В Конституции СССР (статья 67) законодательно предусмотрены природоохранные функции государства.

С промышленной точки зрения горючие сланцы среди известных типов ископаемых каустобиолитов занимают особое положение, поскольку представляют собой сложный органо-минеральный комплекс. Во многих случаях практический интерес представляют не только ОВ и получаемые в результате его термохимической переработки химические продукты, но и минеральная составляющая сланцев. Соотношение ОВ и минеральной массы в сланцах чаще всего составляет 1 : 4 или 1 : 3, значительно реже 1 : 2 и тем более 1 : 1. Интерес к сланцам нередко повышается еще и потому, что в некоторых из них содержатся редкие, рассеянные и радиоактивные элементы в заметных концентрациях. По своим природным свойствам горючие сланцы являются комплексным природным сырьем.

При комплексном промышленном использовании горючих сланцев можно получить многочисленные химические, топливно-энергетические продукты, различные материалы и изделия строительной промышленности и извлечь сопутствующие ценные металлы. Неменьший интерес представляют некоторые продукты сланцевой промышленности и для сельского хозяйства. Комплексное использование горючих сланцев экономически вполне оправданно, поскольку снижается себестоимость добычи и переработки, а главное, достигается максимальное использование всех составляющих компонентов.

По мере познавания природы керогена и его химического состава и совершенствования термохимических способов переработки горючих сланцев заметно расширяются перспективы их промышленного использования и тем самым повышается оценочный технико-экономический критерий. Если в недалеком прошлом горючие сланцы исключительно использовались как топливное сырье, то в настоящее время успешно развивается сланцехимическое направление и создается новая отрасль обширного производства строительных материалов и изделий с применением минеральной зольной части сланцев. Оно может получить максимальное развитие, если в проекте вновь осваиваемого промышленного месторождения горючих сланцев наряду с их термохимической переработкой будет предусмотрена и технология производства строительных материалов. На стадии зарождения находится совершенно новая отрасль редкометальной металлургии. Только за последние 5—10 лет выявились перспективы извлечения из горючих сланцев некоторых месторождений редких, рассеянных и радиоактивных элементов. Заслуживает внимания изучение содержания в горючих сланцах и сопутствующих компонентов (окислов алюминия, железа, титана, калия, натрия и др.), довольно высокого в отдельных месторождениях. Если учесть, что при сжигании только одной действующей электростанцией 10 млн. т в год сланца образуется 5—6 млн. зольных отходов, то потенциальные сырьевые ресурсы того или иного компонента окажутся весьма внуши-

тельными. Примером могут служить горючие сланцы Грин-Ривер США. Потенциальные запасы глинозема из горючих сланцев Гринриверского бассейна во много раз превышают запасы глинозема в бокситовых месторождениях США и в несколько раз, как указывает Дж. Дини [1, с. 77—78], мировые запасы бокситового глинозема.

Неменьший интерес представляют сланцезольные отходы некоторых сланцев по содержанию фосфора, микроэлементов, калия и других компонентов. На основе керогена сланцев возможно производство стимуляторов роста растений. Отдельные фракции сернистых смол пригодны для производства ценных медицинских препаратов. Границы перспектив комплексного безотходного промышленного использования горючих сланцев не определены, однако ясно, что решение данной проблемы экономически оправдано. На основе добычи и переработки горючих сланцев может быть организовано производство разнообразных видов продукции органического и минерального состава (табл. 82).

В Швеции на базе глинистых сланцев Ранстад при переработке 1 млн. т сланца в год предусмотрено получение следующей продукции [15]:

	т/год
Уран (U_3O_8)	240
Метанол (органическое содержимое в пересчете на нефть	180 000
Окись алюминия	85 000
Ванадий	600
Молибден	200
Никель	200
Сульфат калия	30 000
Магниевые соли	7 000
Фосфорная кислота	200
Известь	100 000
Серная кислота	200 000
Натрий сульфат	1 000
Окись железа	50 000

В качестве возможного технологического процесса переработки ранстадского сланца предусмотрена следующая трехстадийная схема производства: 1) уран и легирующие металлы; 2) теплоэлектроэнергия и серная кислота; 3) окись алюминия и железа, сульфаты калия и магния.

Комплекс топливно-энергетических продуктов (сланцегазотопливных и сланцежидкотопливных) включает обширный ассортимент продукции. Сырьем для их получения являются смола и сланцевый газ. К этой группе относятся различного рода масла: топливное, карбюраторное, дизельное, а также битумы, мазуты, бензины, керосины и др. Выход топливных смоляных продуктов, например, из прибалтийских сланцевых смол составляет 75—80%. В дальнейшем с развитием энерготехнологического способа использования горючих сланцев (термическая переработка с твердым теплоносителем) роль жидких топливных сланцевых масел значительно возрастет. Б. И. Тягуновым подсчитано, что для электростанции мощностью 1600 МВт потребуется около 2,8 млн. т условного топлива в год, что в пересчете на сланцевую смолу составит 2,2 млн. т сланцевого топочного масла. Один агрегат энерготехнологического использования прибалтийских сланцев с теплотой сгорания 10 900 кДж/кг может перерабатывать сланца 1 млн. т/год. При этих условиях выход сланцевого масла составит 125 тыс. т/год. Для обеспечения энергостанции указанной мощности потребуется сооружение энергетического комбината, состоящего из 16 агрегатов, способных переработать 16 млн. т сланца в год. Одновременно с этим каждый агрегат позволит получать 7500 т газового бензина в год и около 37 млн. м³ газа с объемной теплотой сгорания 46—50 МДж/м³ [1, с. 394—400].

В качестве топлива используется сам горючий сланец, обогащенный или не обогащенный.

В СССР около 70% всего добываемого сланца непосредственно сжигается в топках электростанций и отопительных котельных. На ГРЭС сжигается сланец фракции менее 25—30 мм, подвергнутый дроблению до пылевидного состояния. Удельная теплота сгорания такого сланца должна быть не менее 8400—9200 кДж/кг.

Одним из основных топливных продуктов, особенно для бытовых нужд, является сланцевый газ с объемной теплотой сгорания 16 МДж/м³, получаемый в результате термической переработки в камерных печах кускового сланца размером 25—125 мм. Сланцеперерабаты-

вающие предприятия СССР вырабатывают свыше 1 млрд. м³ сланцевого бытового газа. Из 1 т сланца с удельной теплотой сгорания 12 000 кДж/кг образуются следующие продукты [1, с. 327—335]:

	Выход (газа — м³, прочих — кг)	Количество тепла, Мкал (%)	
Газ	304	1200	(40,5)
Смола	61,1	560	(19,0)
Бензин	29,1	290	(9,8)
Фенолы	2,6	—	—
Тиосульфат натрия	0,8	—	—
Всего в полезных продуктах	—	2050	(69,3)
Коксозольные остатки	600	680	(23,0)
Итого	—	2730	(92,3)
Потери и невязка	—	230	(7,7)

Газификация прибалтийского мелкозернистого горючего сланца фракции 0—30 мм, предварительно раздробленного до крупности 5 мм, в кипящем слое с применением в качестве теплоносителя сланцевой золы того же сланца позволяет получать газ, смолу и газовый бензин [1, с. 408—417]. На тонну сланца с теплотой сгорания 9200 кДж/кг при газификации с твердым теплоносителем на установке УТТ можно получить (кг): этилен — 32,5, бутилены — 12,7, пропилен — 17,6, бутаны — 0,9; газ для синтеза аммиака или бытовой газ — 34,1, в том числе метан — 20,7, окись углерода — 11,3, бензол — 7,8, толуол — 3,3, сольвент — 4,3, сырье для производства сажи — 6,4.

Выход фенольной воды составит 140, золы — 516 и углекислоты — 29,6 кг. Теплота сгорания газа полукоксования сланцев 11 600 ккал/м³, а пиролиза смолы — 10 100 ккал/м³.

Комплекс сланцехимических продуктов представлен многочисленными продуктами органического синтеза, сланцевых смол пиролиза и полукоксования и газового бензина. Сланцевые смолы обычно состоят из следующих основных групп соединений: углеводородов, органических оснований, органических кислот, нейтральных кислородных соединений, кислых кислородных соединений (фенолы) и соединений смешанных фракций. В зависимости от содержания тех или иных групп соединений выявляются конкретные условия производства соответствующих химических продуктов. Н. И. Зеленин отмечал, что особенностью углеводородного состава прибалтийской смолы является преобладание непредельных (олефиновых) углеводородов в бензиновых фракциях, тогда как для ее средних фракций (200—325° С) характерно содержание ароматических углеводородов.

Химический состав сланцевых смол и газового бензина позволяет получать целую гамму химических продуктов, и не только аналогичных по качеству нефтехимическим, но и специфично сланцехимических. С 1576 г. в Австрии, а с 1860 г. в России начали получать медицинские препараты. На протяжении последних 150 лет многие страны производили топливные продукты, смолы, бензин, керосин, смазочные масла, парафин и затем с середины XX в. — химические продукты. Сланцеперерабатывающие предприятия СССР в процессе переработки прибалтийских и кашпирских сланцев кроме топливных продуктов выпускают разнообразную химическую продукцию.

Характеристика выпускаемой продукции на основе переработки горючих сланцев Прибалтийского бассейна и Кашпирского месторождения приводится по данным рекламного проспекта «Продукция Кохтла-Ярвеского ордена Октябрьской Революции сланцехимического производственного объединения им. В. И. Ленина» [Таллин, «Бит», 1979 г.], пособия «Комплексная переработка горючих сланцев» [Куйбышев, 1961 г.] и др.

1. Алкирез-1 — концентрат алкилрезорцинов, получаемый путем вакуумной ректификации суммарных водорастворимых фенолов. Применяется для повышения адгезионных свойств вулканиза-

Таблица 82. **Основные промышленные комплексы сланцевой продукции [90]**

Комплексы	Продукция
Топливно-энергетическая продукция	Газ, масло топливное, масло дизельное, бензин, масло для пропитки древесины, битум, керосин, мазут, масло для дорожных покрытий, мягчители, крепители, смазочные масла, присадки
Сланцехимическая продукция	Бензол, толуол, сольвент, лаки, клеи, сера, кислоты, дубители, красители, мастики, сульфанол, пластификаторы и др.
Пластполимеры и резинотехническая продукция	Автомоноблоки, облицовочные плиты, линолеум, искусственные кожи, мягчители резины и др.
Медицинские препараты	Ихтиол, натрий-ихтиол, сульфихтон, альбихтол и др.
Строительные материалы	Цемент, известь, минеральная вата, облицовочные материалы, щебень для строительных работ, изделия каменного литья, наполнители бетонов, бетоны тяжелые и легкие и др.
Сельскохозяйственные препараты	Гербициды, карбамид, нэрозин, стимуляторы роста растений, известковая мука и др.
Неметаллическая продукция	Глинозем, кальцинированная сода, фосфор, сульфаты калия, натрия, магния, серная кислота
Редкометальная продукция	Ванадий, германий, кобальт, молибден, никель, рений, уран и др.

тора и корда и для получения клеев холодного отверждения для древесины.

2. Альбихтол — антисептик, получаемый при хлорировании фракций сланцевой смолы. Применяется в производстве кабеля.

3. Бензойная кислота (техническая), получаемая методом жидкофазного окисления толуола. Применяется для консервирования кормов в сельском хозяйстве и как сырье в химической промышленности.

4. Бензол, получаемый при переработке смеси оттона пиролизных смол и сланцевого газового бензина. Используется в качестве сырья в органическом синтезе и в качестве растворителя в лакокрасочной промышленности.

5. Битумы сланцевые, получаемые в процессе окисления и полимеризации суммарных сланцевых смол, тяжелых сланцевых смол или осадков атмосферно-вакуумной дистилляции. Применяются в качестве связующего и изолирующего материала для дорожных и кровельных работ, при устройстве мягкой кровли и в бытовой химии.

6. Газ сланцевый, получаемый при термической переработке горючих сланцев. Применяется в качестве топлива в промышленных котлах и печах.

7. Дубитель сланцевый — омега-сульфированный продукт конденсации с формальдегидом суммарных фенолов, выделенных из сланцевых смоляных вод. Предназначен для выработки кожевенных товаров.

8. Ихтиол медицинский — водный раствор аммиачных солей сульфокислот, полученных из масло-сланцевой смолы, в которой растворены тиофеновые соединения. Применяется в качестве лечебного препарата.

9. Кероген-70 — концентрат тонкодисперсного ОВ сланцев, получаемый в результате обогащения горючих сланцев.

Применяется в качестве компонента для изготовления резинотехнических, пластполимерных и других изделий.

10. Кокс смоляной кубовый — остаточный продукт перегонки остатка ректификации сланцевых смол. Применяется при производстве графитированных изделий, а также анодной массы и электродной продукции в металлургической промышленности.

11. Крепитель сланцевый (связующее литейное) ГТФ — тяжелая фракция смолы полукоксования сланцев. Применяется в качестве связующего при изготовлении стержней в литейном производстве.

12. Клей эпоксидный ЭПО — двухкомпонентная композиция из эпоксидной смолы ЭПС-1 и отвердителя. Применяется в быту для склеивания металла, стекла, керамики, древесины и др.

13. Лак сланцевый «кукерсоль», получаемый путем конденсации сланцевого масла с формалином в присутствии щелочного катализатора с последующим растворением в органических растворителях. Применяется при изготовлении клеевых мастик.

14. Лак сланцевый пиролизный ЛСП-1, получаемый на основе сланцевого сольвента и остатка пиролизата смеси газового бензина и отгона пиролизных смол. Обладает антикоррозионными свойствами. Применяется для покрытия по металлу и при изготовлении холодных битумных мастик.

15. Мазут сланцевый — смесь различных сырых масел. В его состав входят продукты переработки смолы. По консистенции мазут близок к малосернистым маловязким нефтяным топливам. Его зольность 3—5, содержание серы не более 1, воды не более 3%. Теплота сгорания по бомбе 9000 ккал/кг.

16. Масло сланцевое топливное — смесь переработанных сланцевых смол, получаемых при термической переработке сланцев. Используется в качестве топлива для стационарных котельных установок и промышленных печей.

17. Масло сланцевое (антисептик ЛКГН), получаемое на основе дистиллятных фракций сланцевого масла. Применяется в строительстве для пропитки облицовочных пиломатериалов в качестве антисептика.

18. Масло сланцевое для дорожных покрытий, получаемое из тяжелых фракций сырой сланцевой смолы. Используется при строительстве дорожных покрытий в смеси с песком и гравием.

19. Масло ПТУ — продукт переработки пиролизных смол и сланцевого газового бензина. Используется в качестве сырья в производстве технического углерода (сажи) для шинной промышленности

20. Мастика битумно-латексная кровельная БЛК — многокомпонентная пастообразная масса, состоящая из сланцевого лака, сланцевого битума, латекса и наполнителей. Применяется для склеивания рулонных материалов кровельного ковра.

21. Мастика сланцевая автомобильная МСА, состоящая из сланцевого лака, битума, асбеста, резиновой крошки и резинового клея. Предназначена для защиты от коррозии днищ кузовов автомобилей.

22. Мастика сланцевая уплотняющая МСУ — вязкопластичная масса, состоящая из окисленной генераторной смолы, пластификатора, латекса и наполнителя. Предназначена для уплотнения и герметизации стеклянных ограждений теплиц и парников.

23. Мягчитель сланцевый для регенерации резины — продукт дистилляции специально подготовленных смол полукоксования сланца. Применяется для регенерации резины на предприятиях шинной промышленности и в производстве искусственных кож.

24. Натрия тиосульфат кристаллический, получаемый в процессе очистки газа от сероводорода. Предназначен для выделки кож и мехов и обезвреживания промышленных сточных вод.

25. Натрий-ихтиол — продукт сульфирования сланцевых масел и последующей нейтрализации сульфокислот едким натром. Применяется в качестве эмульгатора и заменителя канифоли в производстве неокреолина и в процессе вскрытия и освоения продуктивных нефтеносных слоев буровыми скважинами.

26. Нэрозин, получаемый на основе смол полукоксования сланца, обладает общепестицидными, адгезионными и ростовыми свойствами. Применяется для закрепления подвижных песков на газопроводных трассах, в лесном и сельском хозяйстве для борьбы с сорняками, против ветровой эрозии и для борьбы с заражением почв вредными организмами.

27. Паста-инсектицид, приготовляемая из смеси сланцевого масла с техническим маслом, гексахлораном и техническим ихтиолом. Используется для борьбы с насекомыми, вредящими сельскому хозяйству.

28. Препараты ФРЭС — смесь суммарных сланцевых фенолов с этиловым спиртом. Используются для закрепления рыхлых пород призабойной зоны нефтяных скважин.

29. «Препакс» — антисептический состав, приготовляемый на основе легкой и средней фракций сланцевых масел. Предназначен для наружных покрытий деревянных поверхностей в качестве антисептика.

30. Пластификатор сланцевый — смесь различных углеводородов предельного и непредельного ряда, содержит в своем составе сернистые соединения. Применяется для изоляции подземных газопроводов с целью предохранения их от коррозии.

31. Сера техническая — из отходящих газов переработки сланцев. Используется для производства серной кислоты, сероуглерода, красителей, резиновых изделий, в целлюлозно-бумажной, текстильной и других отраслей промышленности.

32. Смола дифенольная ДФК-4 — продукт конденсации дистиллированных двухатомных фенолов (сланцевые алкилрезорцины) с формальдегидом, модифицированным капролактаном. Применяется для изготовления клеев ДФК-4 и клеевых паст для приклеивания плиточных материалов, стеклопластиков и т. п.

33. Смола дифенольная ДФК-8 — продукт двухступенчатой конденсации сланцевых суммарных фенолов с формальдегидом и ацетоном в присутствии отходов капрона. Применяется для изготовления клеевой мастики ДФК-7П для приклеивания полихлорвиниловых материалов, линолеума, паркета к бетону и др.

34. Сольвент сланцевый — смесь ароматических углеводородов, продукт ректификации смеси сланцевого газового бензина и пиролизных смол. Применяется как растворитель лаков и красок.

35. Сульфанол, получаемый из олефинов сланцевой смолы в виде пастообразной жидкости. Предназначен для изготовления порошкообразных и жидких моющих веществ.

36. Сульфихтон — продукт рафинизации медицинского ихтиола, используется в качестве медицинского препарата.

37. Тампонажные составы ТСД-9, ТС-10, ФРЭС — смесь суммарных сланцевых фенолов. Предназначены для проведения ремонтно-изоляционных работ в нефтяных, газовых и нагнетательных скважинах.

38. Толуол, получаемый в процессе переработки отгона пиролизных смол и сланцевого газового бензина. Используется в качестве растворителя и сырья химического синтеза.

39. Фенолы сланцевые суммарные из смоляных вод, получаемые при термической переработке горючих сланцев и из вод сланцевой смолы. Применяются для изготовления синтетических дубителей, тампонажных составов и различных клеевых смол типа ДФК.

40. Флотореагент — облагороженная и обезвоженная сланцевая смола. При разгонке по Энглеру до 225° С выкипает 8%, до 325° С — не менее 45%. Применяется при флотации цветных металлов.

Приведенный выше перечень получаемых на основе термической переработки горючих сланцев продуктов не является исчерпывающим. Как в СССР, так и в зарубежных странах в зависимости от химического состава ОВ сланцев могут быть получены многие другие не менее ценные продукты.

Комплекс медицинских препаратов включает ихтиол, натрий-ихтиол, альбихтол и прочие специфические препараты, применяемые в медицине и ветеринарии в качестве дерматологических средств. Для производства их используются различные фракции преимущественно сернистых смол. В СССР такие препараты изготовляются попутно с основной сланцехимической продукцией. В некоторых странах, например в Австрии, существуют специальные предприятия, выпускающие только медицинские препараты. На протяжении многих лет Швейцария выпускает сланцевые лекарственные препараты.

Комплекс редких, рассеянных и радиоактивных элементов, присутствующих в горючих сланцах некоторых месторождений, весьма разнообразен. В сланцах установлено присутствие таких элементов, как ванадий, молибден, уран, германий, титан, хром, фосфор, никель, рений и др. Некоторые из них в отдель-

ных случаях встречаются в повышенных концентрациях и могут извлекаться попутно, например фосфор, молибден и др. Одни элементы являются вторичными, накопление других происходило одновременно с отложением сланценосной толщи. В том и другом случае горючие сланцы некоторых месторождений могут рассматриваться и как рудные сланцы. Обобщающие данные о содержании редких и рассеянных элементов в сланцевой золе приведены И. М. Озеровым и Л. С. Худоминской [1968 г.].

Комплекс продукции строительной промышленности довольно обширен. Производство многих строительных материалов может быть организовано на основе отходов попутной добычи вмещающих пород сланцевых пластов, зольных остатков от сжигания или термохимической переработки сланцев, а также на основе дистиллятов сланцевых смол или концентратов керогена сланцев.

Отходы добычи сланцев — карбонатные породы, алевролиты, аргиллиты и другие вмещающие породы пластов горючих сланцев или межпластовые прослои, попутно добываемые с горючими сланцами, в зависимости от физико-механических свойств и химического состава могут частично или полностью найти применение в производстве разнообразных строительных материалов. Одни из них пригодны для получения вяжущих, минеральной ваты, каменного литья, другие используются в качестве строительного щебня и бутового камня, при производстве легких наполнителей бетона или известковой муки и т. д.

Сланцезольные отходы от сжигания и термохимической переработки горючих сланцев преимущественно карбонатных пород (известняков) могут найти применение прежде всего в производстве строительных материалов. Особенно это относится к тем сланцам, в минеральной зольной части которых содержание окиси кальция превышает 30%. В таком случае сланцезольные отходы, например электрофильтровая сланцевая зола электростанций (некоторые авторы такую золу называют летучей), сами могут обладать достаточно высокими вяжущими свойствами и без каких-либо добавок оказаться пригодными при производстве строительных материалов и изделий. Зола других месторождений при меньшем содержании окиси кальция, например зола мепилитовых сланцев Западных Карпат УССР, может найти применение при изготовлении вспученных материалов — карпазита и алгоменилита, используемых в качестве наполнителя легких бетонов, безобжиговых цементов известково-пуццоланового типа, холодных и горячих асфальтобетонов, компонента легкоплавких глазурей, изделий каменного литья и др.

Многие годы зольные остатки от перегонки посейдонских сланцев используются для производства цемента на заводе в Дотернхаузене (Вюртенберг, ФРГ). При газификации сланцев расплавленный остаток при температуре 1200° С вспучивается, а при охлаждении становится пемзообразным [26]. Такая «сланцевая пемза» в дальнейшем используется в качестве компонента при производстве цемента — 70% клинкера и 30% сланцевого остатка («пемзы»).

На основе циклонной сланцевой золы прибалтийских сланцев получен сланцезольный стеклокристаллический материал, обладающий высокими физико-механическими свойствами, используемый в качестве теплоносителя контактного пиролиза сланца и нефтепродуктов. Предел прочности при сжатии 6100 кгс/см², температура размягчения 1200° С.

Кероген сланцев пригоден в качестве наполнителя при производстве резинотехнических изделий, линолеума, облицовочных поливинилхлоридных плит и многих других строительных изделий. Сланцесмоляные пластификаторы находят применение при производстве изоляционных липких поливинилхлоридных лент, пригодных для изоляции газонефтепроводов, гидроизоляции в строительстве зданий и т. д. Отдельные фракции сланцевых смол, особенно выкипающие выше 320° С, используются в дорожном строительстве или в качестве кровельного битума. На основе дикарбоновых кислот, полученных из концентрата керогена, по данным А. С. Фоминой, возможно производство низкозастывающих пластификаторов, пенопластов и других продуктов. Тяжелая фракция смолы, выкипающая выше 300° С, пригодна для изготовления сланцевых мастик.

Циклонная сланцевая зола с повышенным содержанием окиси кальция пригодна для известкования кислых почв. Она не требует дополнительных затрат на дробление и тонкий помол. Сланцевая зола, содержащая P_2O_5, также может найти применение в сельском хо-

зяйстве в качестве удобрения. В сланцах месторождения Кумраси Волжского бассейна содержится свыше 1% P_2O_5.

Отдельные фракции сланцевых смол с успехом применяют для изготовления многочисленных препаратов типа гербицидов, инсектицидов, стимуляторов роста растений или для защиты почв от ветровой эрозии. Многие годы сланцехимический комбинат «Кивиыли» Эстонской ССР выпускает карболеум — инсектицид на основе эмульсий минеральных масел. Препарат нитрафен, изготовленный из фенолов сланцевой смолы, обладает инсектицидными и гербицидными свойствами.

Инсектицид типа севина обладает высоким инсектицидным действием и безвреден для растений и теплокровных животных. А. С. Фомина [40] отмечает, что в процессе производства насыщенных дикарбоновых кислот из концентрата керогена одновременно можно получать и сланцевое вещество СРВ, применение которого стимулирует рост растений. Созданный А. С. Фоминой препарат нэрозин для борьбы с эрозией почв и закрепления подвижных песков можно использовать и как стимулятор роста сельскохозяйственных культур. Препарат представляет собой сложную смесь взаиморастворимых и комплексно связанных соединений различных классов гетероатомных производных углеводородов.

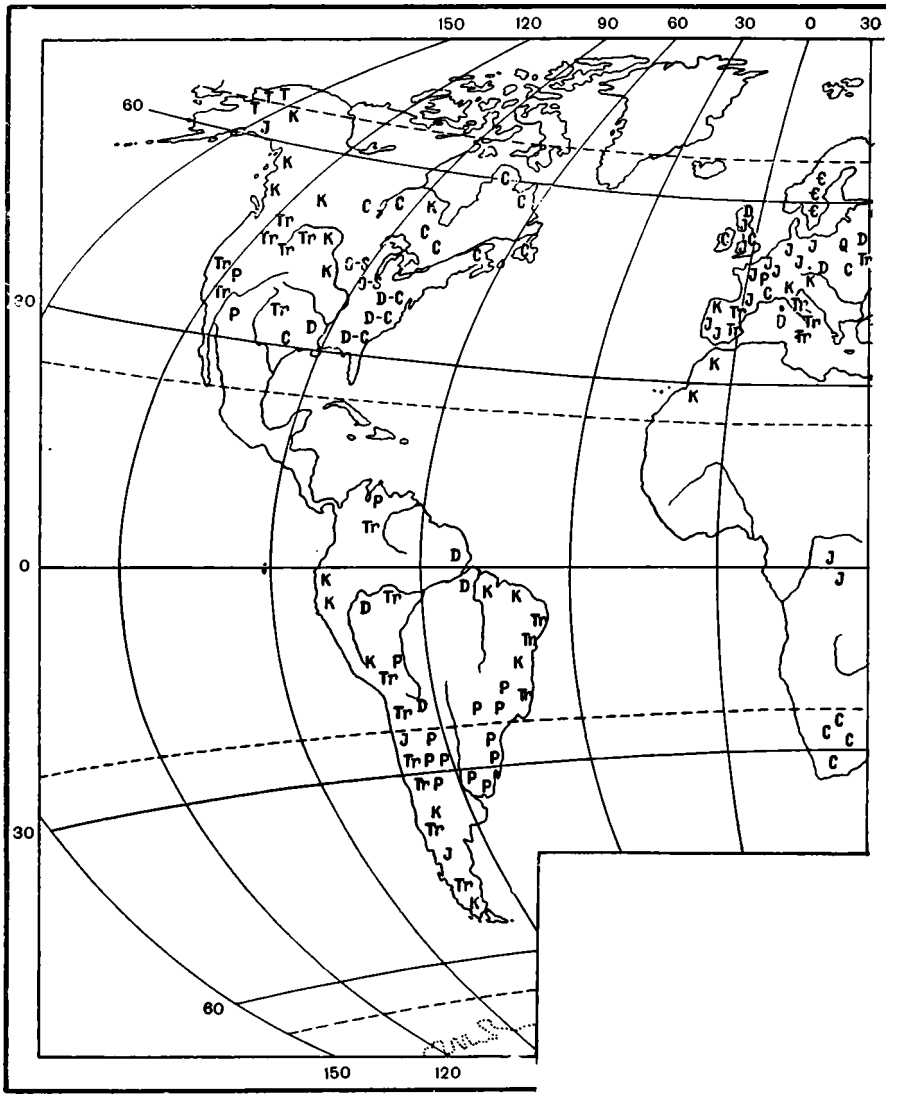
Концентраты керогена некоторых месторождений могут найти применение для получения биологически активных веществ — ферментов, витаминов и более эффективных стимуляторов роста растений.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ

Месторождения горючих сланцев известны на всех континентах земного шара. Обзорная карта месторождений горючих сланцев мира, составленная по литературным данным А. Ф. Добрянского, В. А. Котлукова, И. М. Озерова, Е. И. Стефановой, Г. В. Озерова, Л. Е. Шлаттера, Д. К. Дункана и других исследователей, наглядно иллюстрирует генетическую связь сланцев со сланценосными формациями определенного геологического периода и распределение месторождений на территории отдельных стран (табл. 83, рис. 35). Приня-

Таблица 83. **Распределение известных месторождений горючих сланцев по континентам**

Возраст	Количество месторождений горючих сланцев	Европа (включая СССР)	Азия (без СССР)	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия — Океания
Є—S	7	6	1	—	—	—	—
O	14	10	—	—	4	—	—
D	39	27	—	1	9	2	—
C	61	19	—	4	37	—	1
P	77	15	—	1	6	26	29
T	9	7	—	—	2	—	—
J	163	153	1	2	1	2	4
K	54	24	6	3	10	11	—
P—Ng	123	72	16	3	10	10	12
Q	11	10	—	—	—	—	1
Всего	558	343	24	14	79	51	47


150
120
90
60
30
0
30
60
30
0
30
60
150
120

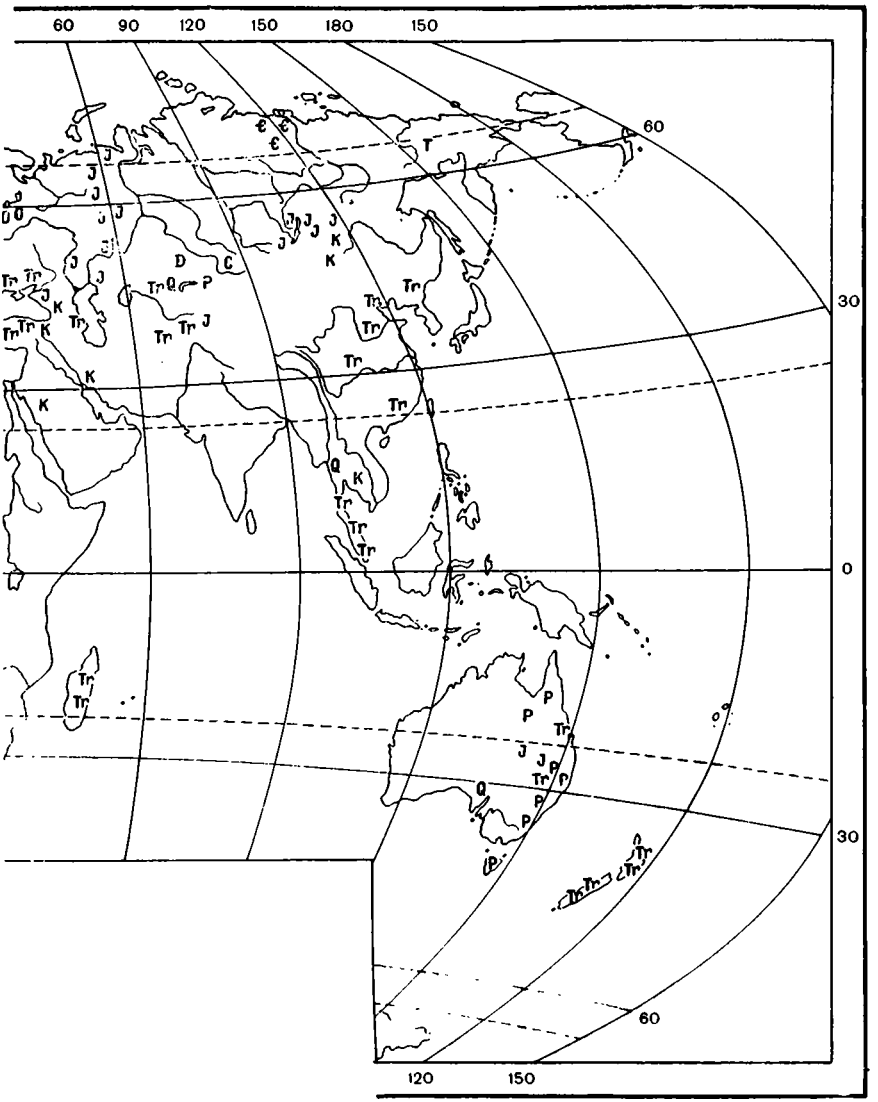
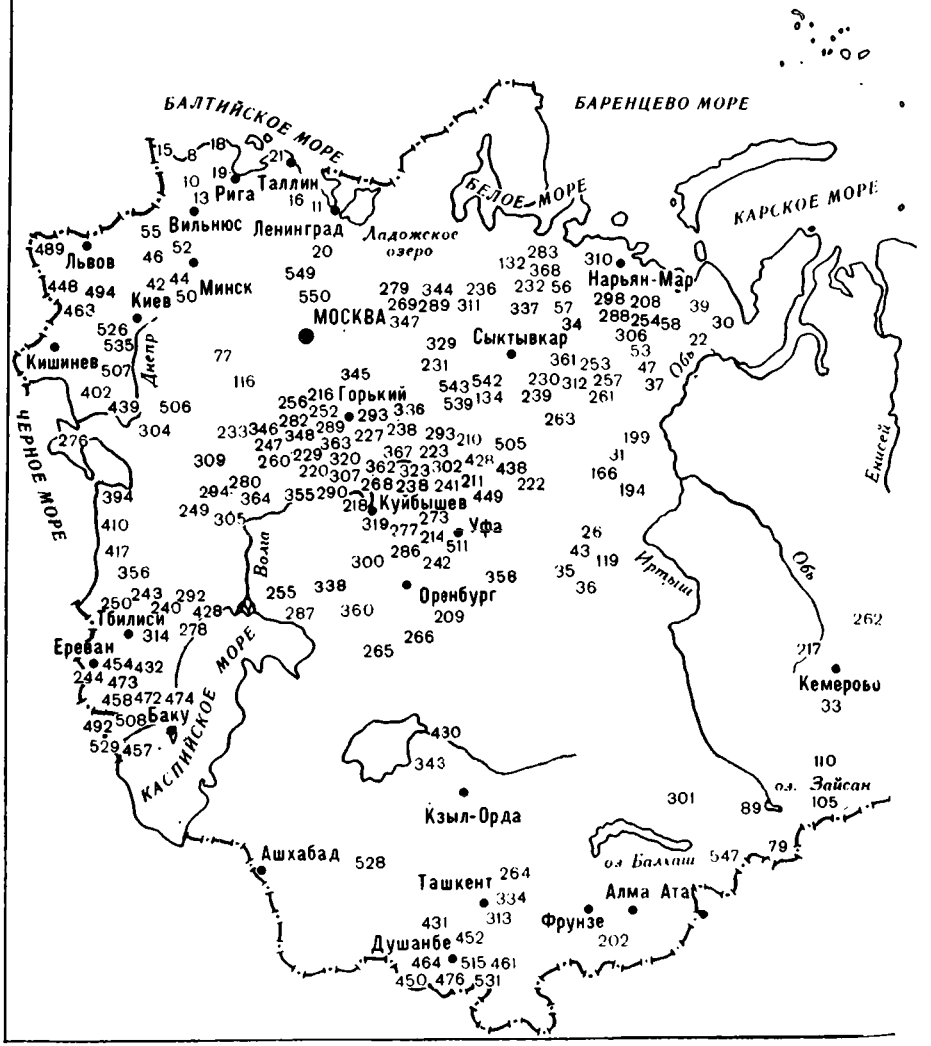


Рис. 35. Распространение сланцевых формаций по земному шару.


БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ
БАРЕНЦЕВО МОРЕ
БЕЛОЕ МОРЕ
КАРСКОЕ МОРЕ
ЧЕРНОЕ МОРЕ
КАСПИЙСКОЕ МОРЕ
Ладожское озеро
Таллин
Рига
Вильнюс
Ленинград
Львов
Минск
Киев
МОСКВА
Нарьян-Мар
Сыктывкар
Кишинев
Горький
Куйбышев
Уфа
Оренбург
Тбилиси
Ереван
Баку
Кзыл-Орда
Ашхабад
Ташкент
Алма Ата
Фрунзе
Душанбе
Кемерово
оз. Зайсан
оз. Балхаш
Днепр
Волга
Обь
Иртыш
Енисей

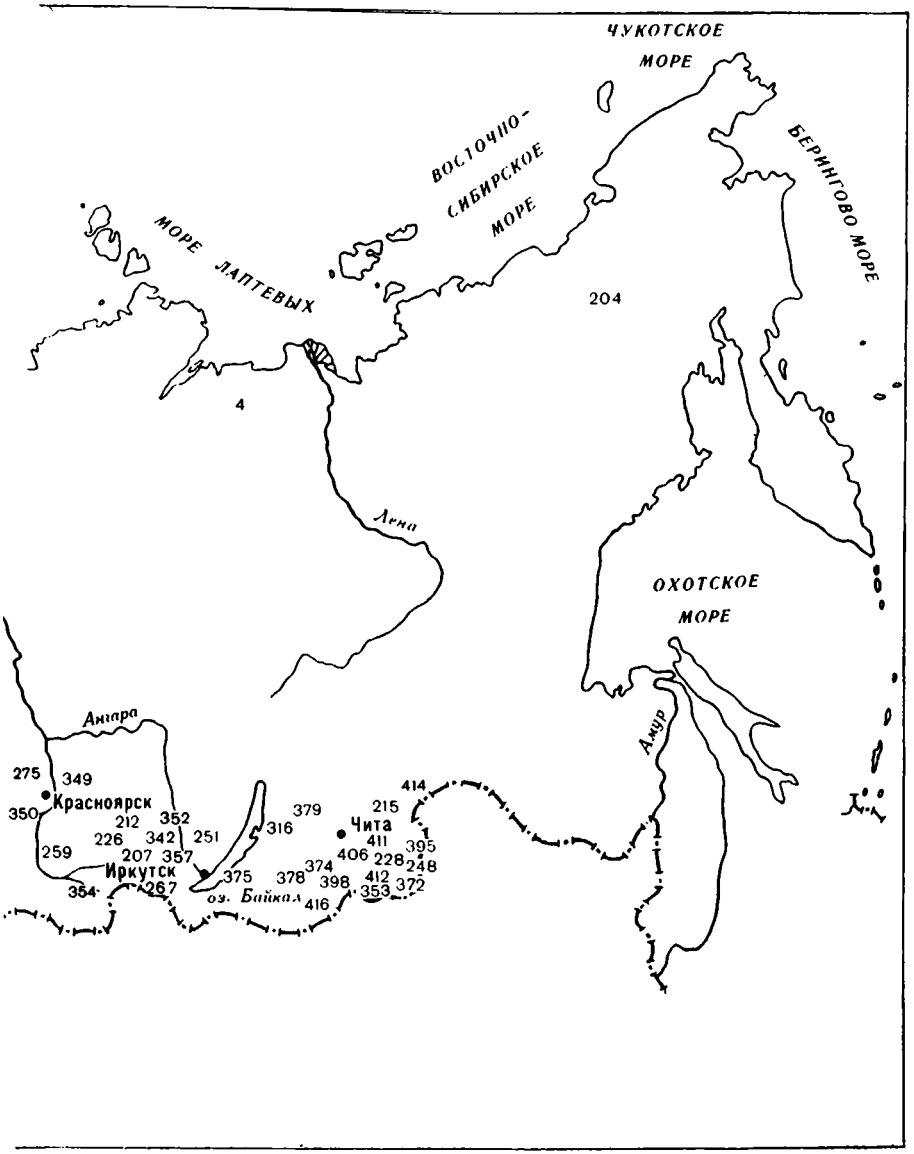


Рис. 36. Схематическая карта месторождений горючих сланцев СССР.

тая классификация месторождений по возрастному признаку их образования может сыграть положительную роль в перспективной оценке того или иного района. В одном случае максимальное развитие сланценакопления происходило в раннем палеозое, в другом — в палеоген-неогене. Например, во многих странах Западной Европы горючие сланцы залегают преимущественно среди верхнеюрских отложений, главным образом лейаса, тогда как в США, исключая Аляску, пока не обнаружено ни одного месторождения данного возраста.

В то же время имеющиеся данные позволяют прийти к заключению, что триасовый период почти на всех континентах планеты был менее благоприятен для образования горючих сланцев.

Географическое размещение известных учтенных месторождений горючих сланцев — свыше 550 на территории всех стран мира — генетически связано с определенным комплексом пород осадочного происхождения. Это и определяет приуроченность и размещение горючих сланцев (табл. 84, 85, рис. 36—41).

В СССР абсолютное большинство месторождений горючих сланцев приурочено к отложениям позднеюрского возраста. В европейской части страны выявлен самый крупный сланценосный бассейн — Волжский, прослеживающийся с перерывами на сотни километров от Каспийского моря до Северного Ледовитого океана. С отложениями верхней юры связано образование многих месторождений горючих сланцев Иркутского и Забайкальского бассейнов. Обширную площадь занимают сланцы кембрия Оленекского бассейна на северо-востоке страны и сланцы нижнего и среднего ордовика Прибалтийского бассейна — на западе. На западе СССР известны такие сланцевые бассейны, как Карпатские менилитовые сланцы и бассейн Припятской впадины (верхний девон). На территории Украинской республики выявлен Болтышский сланценосный бассейн. На юге Таджикской и Узбекской ССР обнаружены многочисленные месторождения горючих сланцев. Месторождения горючих сланцев известны на территории Грузии, Азербайджана, Армении. Известен крупный угольно-сланцевый бассейн в Казахской ССР — Кендерлыкский.

Богаты горючими сланцами страны Западной Европы — Франция, Великобритания, Испания, ФРГ, Италия (рис. 37). Месторождения горючих сланцев известны в Польше, Румынии, Болгарии, Югославии. В Азии горючие сланцы известны в Монголии, Китае, Таиланде, Бирме, Сирии, Турции и др. (рис. 38). Сланценосность стран Африки изучена слабо. Известны месторождения горючих сланцев в Заире, в Малагасийской Республике, Марокко и ЮАР (рис. 39).

Многочисленные месторождения горючих сланцев встречаются во многих странах Южной Америки. Пермские сланценосные отложения захватывают обширную площадь Бразилии и Уругвая, а третичные распространены на территории Чили (рис. 40). В Северной Америке, в США и Канаде, образование горючих сланцев связано с отложениями девона, карбона, перми, мела и третичного возраста.

Таблица 84. **Месторождения горючих сланцев мира**

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
	Кембрий — силур	
1	Вестерготланд	Швеция
2	Готланд	»
3	Нёрке	»
4	Оленекское	СССР
5	Остерготланд (Ольсберг)	Швеция
6	Северный Таиланд	Таиланд
7	Эланд	Швеция
	Ордовик — силур	
8	Адзи	СССР
9	Айова	США
10	Блиедене	СССР
11	Веймарское	»
12	Висконсин	США
13	Гусевское	СССР
14	Иллинойс	США
15	Калининградское	СССР
16	Ленинградское	»
17	Невада	США
18	Пильтене	СССР
19	Ремте	»
20	Чудово-Бабинское	СССР
21	Эстонское+Тапасское	»
	Девон	
22	Айдак	СССР
23	Алимбетское	»
24	Амазонка	Бразилия
25	Арканзас	США
26	Ашанское	СССР
27	Виргиния (силур — девон)	США
28	Высокие Анды	Боливия
29	Габьян	Франция
30	Грубе-Шор	СССР
31	Губаха	»
32	Джорджия (девон-каменноугольный)	США
33	Дмитриевское	СССР
34	Доманик	»
35	Зиганское	»
36	Зилимское	СССР
37	Зеленец	»
38	Ижемские	»
39	Изрусь-Шор	»
40	Иллинойс	США
41	Индиана	»
42	Копаткевичское	СССР
43	Лемезинское	»
44	Любанское	»
45	Мичиган	США
46	Октябрьское	СССР
47	Нижняя Омра	»
48	Пара	Бразилия
49	Пенсильвания	США
50	Петриковское	СССР
51	Свентокшиские горы (лагу)	Польша
52	Старобинское	СССР
53	Сулинское	»
54	Теннесси	США
55	Туровское	СССР
56	Ухтинское	»
57	Чуть	»
58	Шар-Ю	»
59	Шотландское	Великобритания
60	Эксцелло	США
	Каменноугольный	
61	Абитуби	Канада
62	Алабама	США
63	Альберт	Канада
64	Арканзас	США
65	Атрим (Этрим)	Сев. Ирландия
66	Бозон	Франция
67	Ваккерстром	ЮАР
68	Ванде	Франция
69	Верхнесилезские	Польша
70	Вестиморденд	Канада
71	Гора Дак (Манитоба)	Канада
72	Джорджия	США
73	Дир-Лейк	Канада
74	Иллинойс	США
75	Индиана	»
76	Канзас	»
77	Кантемировское	СССР
78	Квебекская провинция	Канада

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
79	Кендерлыкское	СССР
80	Кентукки	США
81	Литри	Франция
82	Лотиана	Великобритания
83	Лэмбтон	Канада
84	Маттагами	»
85	Меддельбург	ЮАР
86	Миссинамби	Канада
87	Миссури	США
88	Мичиган	»
89	Монракское	СССР
90	Монтана	США
91	Мэриленд	»
92	Новая Шотландия	Канада
93	Нью-Глазгоу	»
94	Нью-Брансуик	»
95	Нью-Йорк	США
96	Ньюфаундленд	Канада
97	Овьедо	Испания
98	Огайо	США
99	Оклахома	»
100	Онтарио	Канада
101	Паския-Хилс	»
102	Пенсильвания	США
103	Пикту	Канада
104	Пуэртольяно	Испания
105	Сагандыкское	СССР
106	Сент-Джон	Канада
107	Стаффордшир	Великобритания
108	Стеллартон	Канада
109	Техас	США
110	Тологойское	СССР
111	Утрехт	ЮАР
112	Феморо	Франция
113	Флинтшайр	Австралия
114	Чаттануга	США
115	Шотландское	Великобритания
116	Шуриновское	СССР
117	Эрмело	ЮАР
118	Эстерель	Франция
119	Юрезанское	СССР
120	Нью-Элбани	США

Пермь — каменноугольный

121	Айдахо	США
122	Альфа	Австралия
123	Аройо-де-ла-Мина	Уругвай
124	Мина	»
125	Аумансе	Франция

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
126	Барасайн	Уругвай
127	Барри-Блафф	Австралия
128	Боуэн	»
129	Джеменейское	СССР
130	Бэриган	Австралия
131	Вайоминг	США
132	Вымьское	СССР
133	Глэн-Девис	Австралия
134	Голюшурминское	СССР
135	Гусевское	»
136	Джадья	Австралия
137	Дон-Педрито	Бразилия
138	Драммонд	Австралия
139	Елабугское	СССР
140	Ибаргурен	Уругвай
141	Иллаварра	Австралия
142	Илфорд-Рилсон	»
143	Имбитува	Бразилия
144	Ирати	»
145	Жужуй	Аргентина
146	Канада-де-Лос-Буррос	Уругвай
147	Каперти-Уолган	Австралия
148	Катусиба	»
149	Качула	»
150	Квомби-Блаф	»
151	Квомби-Брук	»
152	Кландула	»
153	Клайд — Эндрик	»
154	Копакабана	Боливия
155	Ловер-Хантер	Австралия
156	Марангару	»
157	Масуэльбрук	»
158	Мело (Серро-Ларго)	Уругвай
159	Мендоса	Аргентина
160	Мерсей	Австралия
161	Монтана	США
162	Нью-Хартли	Австралия
163	Огайо	США
164	Оманс (Сент-Илер)	Франция
165	Отен	»
166	Пашинское	СССР
167	Пассо-Минуано	Уругвай
168	Пелион	Австралия
169	Пуэрто-дель-Саусе	Уругвай
170	Рио-Клара	Бразилия
171	Роман	Франция
172	Саар-Нахе	ФРГ
173	Сальта	Аргентина
174	Сан-Габриель	Бразилия

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36–41	Месторождение	Страна
175	Гранди-де-Сул	»
176	Сан-Матеус	»
177	Санта-Катарина	»
178	Сапата	Уругвай
179	Сент-Илер	Франция
180	Сент-Эстьена	»
181		
182	Смок-хо-Крик	Новая Зеландия
183	Спрингшир	Австралия
184	Татуи (Сан-Паулу)	Бразилия
185	Теми	Австралия
186	Течера	Уругвай
187	Томасина	Бразилия
188	Тукуман	Аргентина
189	Улан	Австралия
190	Фигуероа	Уругвай
191	Айдахо, Монтана (Фосфория)	США
192	Хартли-Вейл	Австралия
193	Хилари	Франция
194	Шамратово	СССР
195	Эль-Розарио	Венесуэла
196	Эспириту-Санто	Бразилия
197	Юта, Вайоминг (Фосфория)	США
	Триас	
198	Аляска	США
199	Богословское	СССР
200	Зеефельд	Австрия
201	Карвендел	ФРГ
202	Маракайское	СССР
203	Мерид	Швейцария
204	Омолонское	СССР
205	Свалбард	Норвегия
206	Сев. Каролина	США
	Юра	
207	Азейское	СССР
208	Айювинское	»
209	Ак-Булакское	»
210	Алгаши-Шаймуринское	»
211	Александровское	»
212	Алюйское	СССР
213	Аляска	США
214	Андреевское	СССР
215	Арбагарско-Халбонское	»
216	Бажулинское	»
217	Балахтинское	»
218	Беленько-Карташевское	»
219	Белле	Франция
220	Бессонковское	СССР
221	Бехентал-Сахранг	Австрия
222	Больше-Глушицкое	СССР
223	Больше-Черниговское	»
224	Бора	Великобритания
225	Брауншвейг	ФРГ
226	Будаговское	СССР
227	Буинское	»
228	Буртимское	»
229	Васильевское	»
230	Визингское	»
231	Воронье-Волосковское	»
232	Восимское	»
233	Вурнарское	»
234	Вюртемберг	ФРГ
235	Дотернхаузен	»
236	Голиковское	СССР
237	Горко-Хухаревское	»
238	Гремучинское	»
239	Гривское	»
240	Гунибское	»
241	Даниловское	»
242	Дергуновское	»
243	Дигорское	»
244	Джварское	»
245	Джидотойское	»
246	Дорсет	Великобритания
247	Ембулатовское	СССР
248	Жилкинское	»
249	Захарьевское	»
250	Зильгитарское	»
251	Зорино-Быковское	»
252	Ибресинское	»
253	Ибское	»
254	Ижемское	»
255	Индерское	»
256	Инсарское	»

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна	Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
257	Иогульское	»	299	Нижний Валлуун-Инджун	Австралия
258	Йоркшир	Великобритания	300	Новониколаевское	СССР
259	Иршинское	СССР	301	Новосеменовское	»
260	Кадышевское	»	302	Новошаймурзинское	»
261	Кайгородское	»			
262	Калбысоевское	»	303	Норфолк	Великобритания
263	Калининский рудник	»	304	Оболонское	СССР
264	Карадагское	»	305	Общесыртовское	»
265	Каратюбинское	»	306	Одесское	»
266	Карвужемское	»	307	Озинковское	»
267	Касьяновское	»	308	Орбанью	Франция
268	Кашпирское	»	309	Орловское	СССР
269	Кинешемско-Юрьевское	»	310	Пижемское	»
			311	Поисковое	»
270	Коимбра	Португалия	312	Пустошь-Куниб-ское	»
271	Кой-Кара	СССР			
272	Кантабрийские горы	Испания	313	Раватское	»
			314	Рионское	»
273	Коцебинское	СССР	315	Рома	Австралия
274	Кревени	Франция	316	Романовское	СССР
275	Крутоголовское	СССР	317	Сабина	Австралия
276	Крымское	»	318	Савельевское	СССР
277	Кумраси-Гнетовское	»	319	Ронда	Испания
			320	Самарская Лука	СССР
278	Курлийское	»	321	Сахранг (см. 221)	Австрия
279	Лебедино-Афанасьевское	»	322	Северак-ле-Шате	Франция
			323	Семенихинское	СССР
280	Лево-Свияжское	»	324	Сендюковское	»
281	Линкольншир	Великобритания	325	Сент-Аман	Франция
			326	Сент-Амур	»
282	Липовское	СССР	327	Сент-Помпан	»
283	Лоптюгское	»	328	Сент-Шам	»
284	Луалаба	Республика Заир	329	Синегорское	СССР
			330	Сирийское	Сирия
285	Люксембург	Бельгия	331	Собокалевское	СССР
286	Макаровское	СССР	332	Ст. Помпон	Франция
287	Макатское	»	333	Сугарлоф	Австралия
288	Максарское	»	334	Суликтинское	СССР
289	Мантуровское	»	335	Саук-Ауз-Кайское	»
290	Марковское	»			
291	Маюба	Республика Заир	336	Сур-Майданское	»
			337	Сысольское	»
292	Мехтыгенское	СССР	338	Ташлинское	»
293	Моревское	»	339	Ткварибульское	»
294	Мостовское	»	340	Торпано-Гришкинское (Торпановское)	»
295	Мутье	Франция			
296	Нанси	»			
297	Науель-Уапи-Неукен	Аргентина	341	Туксайское	»
			342	Тыреть-Зиминское	»
298	Нерицкое	СССР			
			343	Тюра-Тамское	»

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
344	Увегское	СССР
345	Угорское	»
346	Ульяновское	»
347	Ундорское	»
348	Унженское	»
349	Уральское	»
350	Установское	»
351	Усольское	»
352	Фитальское	»
353	Хараноское	»
354	Хахарейское	»
355	Хухоревское	»
	(Горко-Хухоревское)	»
356	Цона	»
357	Черемховское	»
358	Черниговское	»
359	Черноглова	Польша
360	Чернозатонское	СССР
361	Чухломское	»
362	Шаймурзинское	»
363	Шигалинское	»
364	Шумовское	»
365	Эль-Пулар-Антофагаста	Чили
366	Юмурченское	СССР
367	Яманчуринское	»
368	Яренгское	»

Мел

369	Айдахо	США
370	Арарипе-Параиба	Бразилия
371	Архабала	Марокко
372	Быркинское	СССР
373	Ваньяс	Франция
374	Верхнекаренгское	СССР
375	Гусиноозерское	»
376	Дак	Канада
377	Дженгичайское	СССР
378	Зазинское	»
379	Емурченское (Ямурченское)	»
380	Кайатамбо	Перу
381	Кемачо-Алагоас	Бразилия
382	Кодо-Барро	»
383	Кордо-Мараньян	»
384	Колорадо	США
385	Крату-Сеара	Бразилия
386	Литтон	Канада
387	Маккензи	»
388	Марау-Байя	Бразилия
389	Метауро	Италия
390	Молларо	»
391	Монтано	США
392	Мэриленд	»
393	Налаиха	Монголия
394	Новороссийское	СССР
395	Нерчинское	»
396	Нэби-Муса	Иордания
397	Овидно-Овьедо (см. 97)	Испания
398	Олентуйское	СССР
399	Паския-Хилс	Канада
400	Рило-Досе	Бразилия
401	Рио-Топа	Эквадор
402	Ротмирское	СССР
403	Сан-Хуан	Аргентина
404	Серро-де-Паско	Перу
405	Слогет	Аргентина
406	Сюхуртайское	СССР
407	Танжер	Марокко
408	Техас	США
409	Тимахди	Марокко
410	Туапсинское	СССР
411	Тукулайское	»
412	Тургинское	»
413	Ум-Барек	Израиль
414	Харанорское	СССР
415	Чаупинарка	Перу
416	Чунгуркское	СССР
417	Шепсинское	»
418	Эйн-Бокуек	Израиль
419	Эль-Ладжуна	Иордания
420	Эфье	Израиль
421	Южная Дакота	США

Третичный

422	Анкара	Турция
423	Алексинац	Югославия
424	Амхерст	Бирма
425	Ардживахинское	СССР
426	Арканзас	США
427	Атасевское	СССР
428	Ахметовское	»
429	Базесик	Турция
430	Байхожанское	СССР
431	Байсунское	»
432	Байдиванское	»
433	Баффл-Крик	Австралия
434	Бахчеджик	Турция
435	Безаро	Италия

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
436	Береговая полоса	Бразилия
437		
438	Богатовское	СССР
439	Болтышское	»
440	Болу	Турция
441	Боровдольское	Болгария
442	Брезник-Брезникское	»
443	Вайхао	Новая Зеландия
444	Вайоминг	США
445	Валево	Югославия
446	Ваяпу	Новая Зеландия
447	Верзняя Безмехова	Польша
448	Верхнесиневидное	СССР
449	Ветлянское	»
450	Гарауты	»
451	Гирин	КНР
452	Гиссарское	СССР
453	Гойнук	Турция
454	Гомбари-Телавинское	СССР
455	Грин-Ривер	США
456	Дескубридора	Чили
457	Дженгичайское	СССР
458	Диалинское	»
459	Д'Юрвиль	Новая Зеландия
460	Заечара	Югославия
461	Кабуньенское	СССР
462	Калифорния	США
463	Каменец-Подольское	СССР
464	Каратау	»
465	Квантунское	КНР
466	Квинсленд	Австралия
467	Кертис	»
468	Киети-Абруцци	Италия
469	Ляонин	КНР
470	Пайсенс-Крик (Колорадо)	США
471	Конституcьон	Чили
472	Корак-Чайское	СССР
473	Котайское	»
474	Кубинское	»
475	Кусейр	Сирия
476	Кыз-Имчек	СССР
477	Кэмбрайэн	Новая Зеландия
478	Ла-Бутаресс	Франция
479	Лавейсиер	»
480	Лампанг	Таиланд
481	Ли	»
482	Лонкимай	Чили
483	Мае-Сот-Мэсот	Таиланд
484	Мальвезе	Франция
485	Маноск	»
486	Майоминское	КНР
487	Менат	Франция
488	Менген	Турция
489	Менилитовые	СССР, Польша, Румыния, Венгрия
490	Мессел	ФРГ
491	Мессина	Италия
492	Мигри-Чайское	СССР
493	Минас-Лорето	Чили
494	Михайловское	СССР
495	Монастырица	Польша
496	Монгону	Новая Зеландия
497	Монтана	США
498	Монтерей и Сискуок	»
499	Мудурну	Турция
500	Мюра	Франция
501	Мусселимское	СССР
502	Наллыхан	Турция
503	Невада	США
504	Нивис	Новая Зеландия
505	Николаевское	СССР
506	Новодмитровское	»
507	Новоселицкое	»
508	Нор-Аревикское	»
509	Онилахи	Малагасийская Республика
510	Орепуки	Новая Зеландия
511	Охлебининское	СССР
512	Песочинское	»
513	Пиринское	Болгария
514	Радомирское	»
515	Равадское	СССР
516	Рибесалбес	Испания
517	Рио-Мета	Колумбия
518	Розница	Польша
519	Рубиело-де-Моро	Испания
520	Романовская Рудавка	Польша

Продолжение табл. 84

Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна	Номер на рис. 36—41	Месторождение	Страна
521	Самбена-Антанифоси	Малагасийская Республика	540	Чукумата-Тарапака	Чили
			541	Шаньси	КНР
522	Сандакра	Швеция	542	Шешминское	СССР
523	Сан-Паулу	Бразилия	543	Юски-Текерменьское	»
524	Санта-Барбара — Биу-Биу	Чили	544	Юта	США
525	Сицилия	Италия	545	Бассейн Уинта	»
526	Слобода-Савицкое	СССР		Четвертичный	
527	Смок-Хо-Крик	Новая Зеландия			
528	Сукайтинское	СССР	546	Айдахо	США
529	Сумгаитское	»	547	Балхашское	СССР
530	Стулявица	Польша	548	Барковица	Польша
531	Тереклитау	СССР	549	Большая Кощь	СССР
532	Техас	США	550	Корчевское	»
533	Трансвааль	ЮАР	551	Коронг	Австралия
534	Тремембе-Таубате	Бразилия	552	Рава Мазовеска	Польша
535	Флориановское	СССР	553	Радома	»
536	Фроадефонтен	Франция	554	Семятича	»
537	Фушунь	КНР	555	Сидра	»
538	Херинг	Австралия	556	Сулева	»
539	Черемшанское	СССР			

Выявлены многочисленные сланценосные бассейны с запасами сланцевой смолы, например, Грин-Ривер, до сотен миллиардов тонн (рис. 40).

В Австралии, Новой Зеландии, на о. Тасмания горючие сланцы встречаются в отложениях перми, юры, палеогена (рис. 41).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Горючие сланцы, как и любое полезное ископаемое, обладают специфическими свойствами, которые и определяют их промышленное использование. Горючие сланцы прежде всего комплексное органо-минеральное твердое энергохимическое сырье.

Для правильной объективной промышленной оценки горючих сланцев того или иного месторождения необходимо выполнить определенный минимум исследований и испытаний, который позволил бы даже на ранней стадии изучения и разведки установить их качество и тем самым обосновать выбор направления промышленного использования.

Характер выполненных исследований для любого вида промышленного использования горючих сланцев того или иного месторождения должен гарантировать необходимую надежность оценки качества сланцев в пределах разведанной площади [85]. Промышленное использование горючих сланцев в зависимости от их качества и потребности в соответствующих продуктах может быть осуществлено в следующих направлениях:

1) прямое сжигание пылевидного сланца в топках котельных агрегатов электростанций для выработки электроэнергии;

2) высокотемпературная (700—800° С) переработка сланцев, главным образом с целью получения газа с теплотой сго-

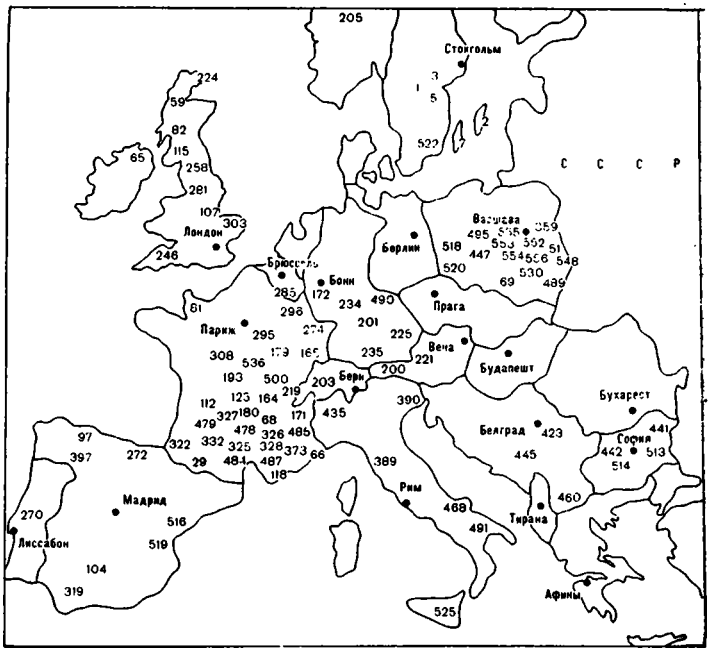


Рис. 37. Схематическая карта главнейших месторождений горючих сланцев Западной Европы. По Е. И. Стефановой.

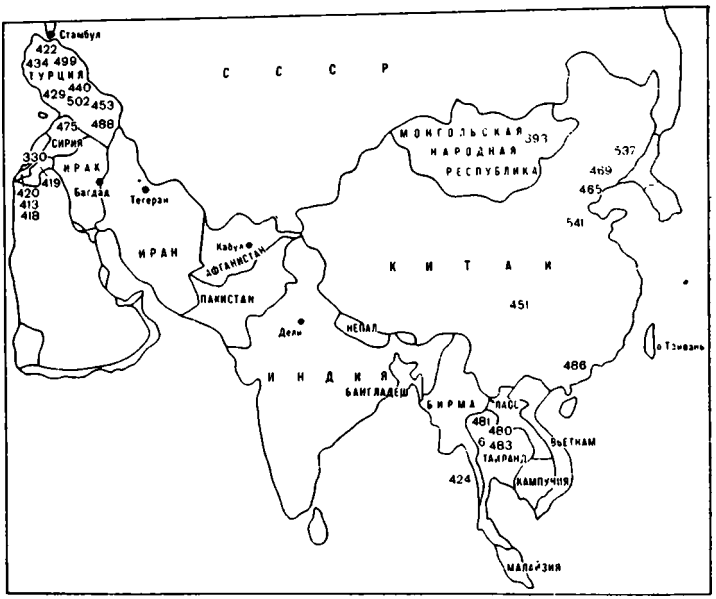


Рис. 38. Схематическая карта месторождений горючих сланцев Азии. По Е. И. Стефановой.

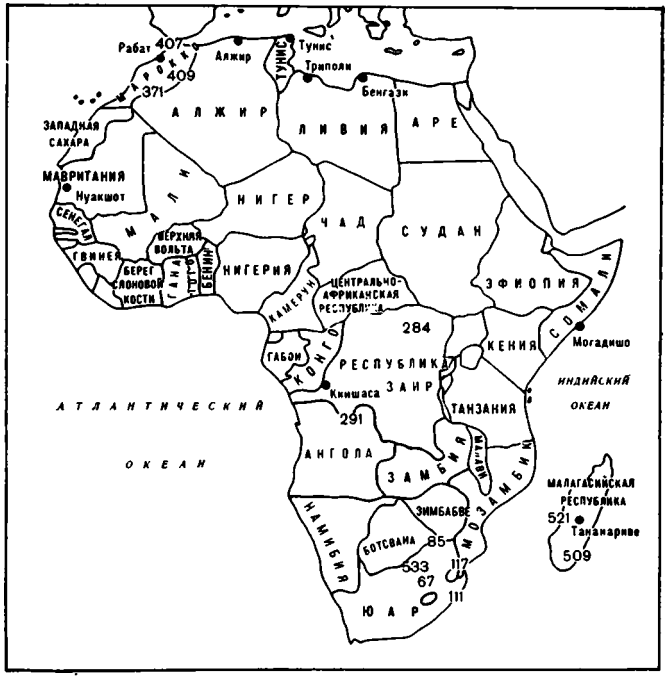


Рис. 39. Схематическая карта месторождений горючих сланцев Африки. По Е. И. Стефановой.

рания 16 750 кДж/кг для бытового потребления, а также получения попутных продуктов — серы, гипосульфита, бензола, сольвентов, водорастворимых фенолов и смолы;

3) высокотемпературная переработка сланца в установках с твердым теплоносителем для получения газа и жидких сланцесмоляных продуктов;

4) полукоксование сланца в газогенераторах или других агрегатах для получения сланцевой смолы, предназначенной в качестве жидкого топлива и для переработки на различные химические продукты;

5) подземная газификация сланца для получения сланцевой смолы;

6) сжигание сланца с жидким шлакоудалением для комплексного использования органической и минеральной части топлива с производством электроэнергии и получением цемента и других продуктов;

7) извлечение сопутствующих промышленно ценных химических элементов;

8) производство вяжущих материалов, сланцезольных бетонов, минеральной ваты, легких наполнителей бетона, щебня для строительных работ и многих других строительных материалов;

9) производство на основе керогена химических продуктов, изделий пластических масс промышленного и бытового назначения, белковых препаратов, стимуляторов роста растений и другой продукции.

Решение вопросов, связанных с определением направления промышленного использования горючих сланцев каждого конкретного месторождения, зависит от многих оценочных факторов, и прежде всего от геологических условий залегания, качества и запасов сланцев, горнотехнических условий добычи, переработки и сжигания с использованием всех компонентов, входящих в состав сланцев. В конечном итоге решающее значение имеет экономический показатель.

Промышленная оценка месторождений горючих сланцев на соответствующей стадии проведения геологоразведочных

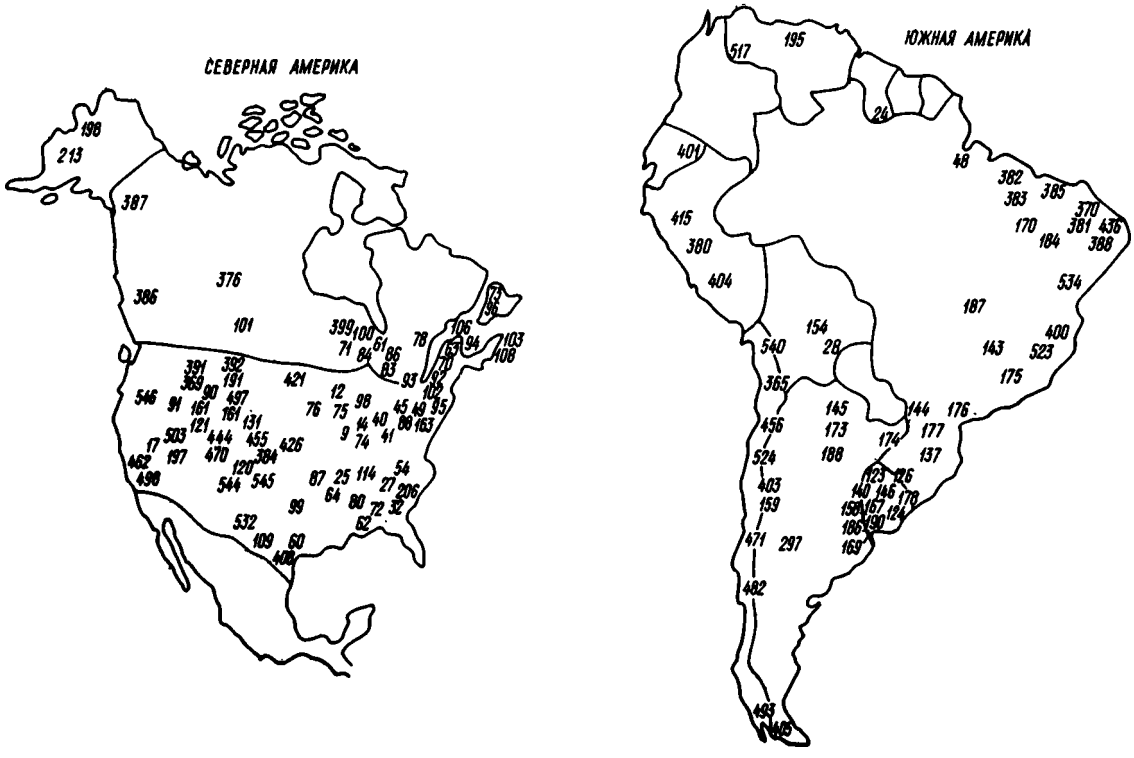


Рис. 40. Схематическая карта главнейших месторождений горючих сланцев Северной и Южной Америки. По Е. И. Стефановой и по другим литературным источникам [1].

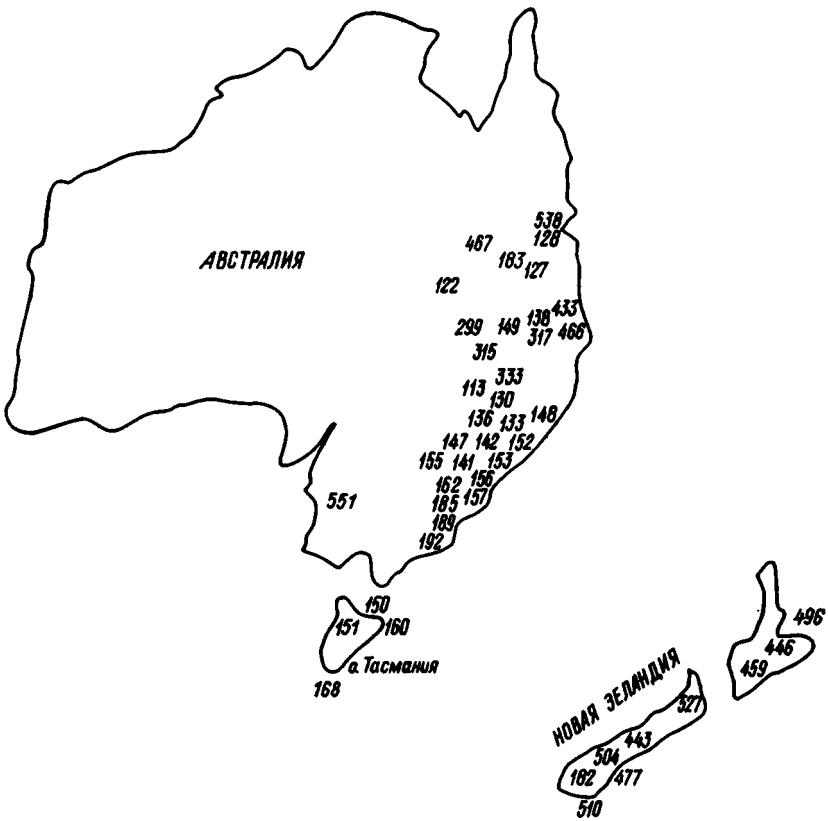


Рис. 41. Схематическая карта главнейших месторождений горючих сланцев Австралии. По Е. И. Стефановой.

работ основывается на совокупности многочисленных оценочных показателей. Исследования проводятся по широкой программе с обязательным освещением всего комплекса вопросов, являющихся основой промышленной оценки месторождения. К числу основных оценочных показателей горючих сланцев, кроме экономической оценки, относятся следующие особенности:

Геологические условия залегания

1) литолого-стратиграфический разрез сланценосной толщи;
2) структурные особенности сланценосной толщи;
3) петрографо-химическая характеристика сланцев, керогена и пород кровли, почвы и межпластовых прослоев;
4) элементы залегания сланценосной толщи;
5) форма и строение сланценосной толщи и промышленного пласта сланцев, площадь распространения;
6) мощность прослоев и пластов сланца и степень их выдержанности по простиранию и падению.

Физико-механические

1) цвет;
2) плотность сланцев, керогена, минеральной части полукокса;
3) насыпная масса;
4) слоистость;
5) крепость;
6) пористость;
7) влажность;
8) зольность;
9) плавкость золы;
10) размолоспособность;
11) теплоемкость;
12) теплопроводность;
13) радиоактивность;
14) фракционный состав по крупности кусков;
15) брикетируемость;
16) механическая прочность.

Химико-технологические

1) элементарный состав сланца и керогена;
2) массовая доля двуокиси углерода карбонатов;
3) теплота сгорания сланца и керогена;
4) выход летучих веществ;
5) массовая доля серы (общей, сульфатной, пиритной и органической);
6) химический состав золы;
7) выход продуктов полукоксования и их состав (смола, газ, пирогенная вода, полукокс);
8) химическая характеристика смолы (плотность, молекулярная масса, содержание механических примесей и золы, вязкость условная, температура вспышки и застывания, фракционный состав, групповой состав и теплота сгорания);
9) химическая характеристика газа;
10) содержание химических элементов-примесей;
11) канцерогенные свойства;
12) сточные воды;
13) состав отходящих газов.

Гидрогеологические

1) трещиноватость вмещающих пород и промышленного пласта сланцев;
2) закарстованность сланценосной толщи;
3) обводненность промышленного пласта сланцев;
4) водоносные горизонты, их дебит и химический состав воды;
5) водообильность тектонических и закарстованных зон;
6) содержание и распределение в породах кровли и почвы и промышленного пласта сланцев соединений солей и их растворимость.

Горно-геологические

1) глубина залегания промышленного пласта сланцев;
2) строение и состав промышленного пласта или пластов сланца;
3) физико-механические и химические свойства пород кровли и почвы и их устойчивость;
4) физико-механические свойства горючих сланцев;
5) состав и мощность вскрышных пород;
6) газоносность;
7) пылеобразование;
8) обогатимость сланцев полезной толщи;
9) взрывоопасные и пожароопасные свойства;
10) источники снабжения питьевой и технической водой.

Горючие сланцы в различных странах мира, как известно, добываются и перерабатываются с давних времен, но несмотря на это до сих пор не разработаны единые критерии технических требований к промышленным сланцам в зависимости от их использования. Практически только в СССР действуют государственные стандарты на горючие сланцы, сланцехимические продукты и

вторичное сырье, а также на методы отбора проб и различные методы испытаний сланцев и сланцевых продуктов. В СССР издана инструкция по применению классификации запасов месторождений горючих сланцев.

В настоящее время каждая страна с учетом качества, наличия запасов и потребности в сланцах, а также экономической целесообразности организации на их базе определенного комплекса производств устанавливает основные показатели и их нормы, определяя этим самым условия добычи и переработки. В отдельных странах добыча, сжигание и переработка сланцев осуществляются при различных технических требованиях к их качеству (табл. 85).

Таблица 85. **Сравнительные показатели качества горючих сланцев разрабатываемых месторождений**

Месторождение	Страна	Влага рабочая, %	Зола, %	Теплота сгорания, кДж/кг	Выход смолы на сланец, %	Промышленное использование
Эстонское	СССР	12,0	47,0	13900	30,0	Энергохимическое
Ленинградское	»	11,5	49,5	10900	20,0	»
Кашпирское	»	21,0	65,0	10000	13,0	Энергохимическое (медицинские препараты)
Тирольские	Австрия	3,0	78,0	8400	1—30,0	Химическое (медицинские препараты)
Глен-Дэвис	Австралия	5,0	51,6	18800	30,0	Энергетическое (моторное топливо)
Пуэртольяно	Испания	8—10	62,8	1200	13—17,0	Энергетическое (жидкое топливо)
Фушунь	КНР	5,0	78,5	5800	6,5	Энергетическое
Вюртемберг	ФРГ	1—3,0	70,8	3800—3900	4—6,5	Энергетическое (жидкое топливо, цемент)
Кварнторп	Швеция	4—7,0	72,0	8900	4,7—7,6	Энергетическое. В настоящее время из сланцев извлекаются уран и другие компоненты
Ирати	Бразилия	4—5,0	60—75	4200—10400	8,0	Энергетическое

Основными показателями качества прибалтийских сланцев, предназначенных для сжигания и переработки, согласно требованиям государственных стандартов являются: влага рабочая (W^p), теплота сгорания ($Q^c_б$), выход смолы на сланец (T^c) и размер кусков. Эти же показатели используются и для сланцев, поставляемых для обжига цементного клинкера.

При сжигании и термической переработке горючих сланцев существенное значение имеет содержание рабочей влаги. В СССР сланцы с рабочей вла-

гой 20—22% используются без предварительной подсушки, тогда как при более повышенной влажности обязательно требуется организация подсушки. Н. И. Зеленин [77] указывал, что даже при влажности технологического сланца 9—12% расход тепла на его подсушку составляет до 35% общего расхода тепла на переработку. Влага снижает теплоту сгорания сланцев. На ее испарение затрачивается большое количество тепла. Поэтому для кашпирских сланцев массовая доля влаги установлена стандартами не более 21%, а для прибалтийских — не более 14%.

Размер кусков перерабатываемого сланца оказывает влияние на к. п. д. агрегатов: чем однороднее куски сланца, тем выше химический к. п. д. Большой размер кусков (100 мм и выше) также отрицательно влияет на технологические показатели переработки сланцев, а малый (менее 25—30 мм) заметно снижает химический к. п. д. По этим причинам государственные стандарты СССР ограничивают содержание в товарном технологическом сланце как мелких (менее 25 или 30 мм) — «не более 3 и 10%», так и крупных (более 100 и 125 мм) кусков — «не более 5 и 7%».

Количественные значения других показателей качества горючих сланцев обычно учитываются на любой стадии промышленной оценки месторождения, и особенно при выдаче регламента на проектирование опытной или промышленной установки. Все они имеют немаловажное промышленное значение. Так, например, присутствие карбонатов в сланцах снижает их теплоту сгорания при сжигании и переработке за счет их диссоциации; сера колчеданная и органическая переходят в газ, что вынуждает проводить его очистку, часть серы удерживается золой, а часть остается в смоле; высокое содержание серы в сланце не позволяет использовать их в качестве топлива; определение выхода летучих веществ разложения ОВ имеет важное значение, поскольку характеризует ОВ, теплоту сгорания и оказывает влияние на теплотехнический режим переработки сланцев; высокая зольность сланцев ограничивает их прямое сжигание в котельных агрегатах; технический состав золы оказывает влияние на выбор технологии изготовления строительных материалов; наличие в сланцах и сланцезольных остатках химических элементов-примесей может повлиять на выбор технологии переработки сланцев с целью их полного извлечения. Решение вопросов, связанных с добычей горючих сланцев Болтышского месторождения Украины, несмотря на крупные запасы — свыше 3 млрд. т сланцев, высокие теплоту сгорания (в среднем) — 10 460 кДж/кг и выход смолы 13—15% (среднее), пока сдерживается из-за содержания рабочей влаги в сланцах 30%. Затраты на подсушку сланца, по разработанной методике Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Э. Дзержинского, составят 1—2% от общих капитальных затрат на строительство предприятия. Государственными стандартами СССР содержание влаги предусмотрено для прибалтийских сланцев не более 11% для переработки на газ и смолу, не более 12% для сланца при обжиге цементного клинкера и не более 14% для пылевидного сжигания в стационарных котельных установках; для кашпирских сланцев — не более 21%.

Теплота сгорания сланцев имеет большое значение как при выборе метода их сжигания, так и при решении вопросов, связанных с термической переработкой. В настоящее время в СССР для пылевидного сжигания в стационарных котельных установках используется сланец с различной теплотой сгорания: эстонские — 11 500, ленинградские — 10 200, кашпирские — 8370—9200 кДж/кг. Сжигание в топках электростанций высокозольного пылевидного сланца с теплотой сгорания менее 8370 кДж/кг приводит, за счет летучей золы, обладающей агрессивными свойствами, к интенсивному износу поверхностей нагрева и образованию на них плотных зольных отложений. Все это значительно удорожает стоимость вырабатываемой электроэнергии.

ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Вопросам классификации горючих сланцев посвящены работы многих исследователей. Большое внимание этому вопросу уделял А. Ф. Добрянский [3]. Он считал, что рациональная классификация должна опираться на элементарный состав керогена, и по этому признаку выделил пять классов горючих

Таблица 86. **Классификация горючих сланцев по элементарному составу керогена**

Классы горючих сланцев	Содержание, %		Выход смолы, %	Теплота сгорания ОВ, кДж/кг
	углерода	водорода		
Первый	До 60	До 7,3	18—25	24300—26400
Второй	60—65	7,3—7,8	25—35	26400—28500
Третий	65—70	7,8—8,3	35—45	28500—31400
Четвертый	70—75	8,3—8,9	45—57	31400—35600
Пятый	75—80	8,9—9,3	До 67	35600—37500

сланцев (табл. 86), а в каустобиолитах — две генетические линии первичного состава исходного вещества и его превращений: гумусовая линия характеризуется превращениями древесина — торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит, сапропелевая — сапропель — сапропелиты — сланцы — оксиасфальт — нефть (рис. 2).

Считая основой горючих сланцев сапропель, А. Ф. Добрянский не отвергал участия в их образовании и гумусового вещества. Тем самым он допускал существование двух типов сланцев — сапропелевого и сапропелево-гумусового.

Элементарный состав ОВ сланцев, безусловно, является надежным показателем их оценки с генетической точки зрения и степени превращения ОВ, но как единственный показатель он не отражает химико-технологических свойств сланцев с промышленной точки зрения. Кроме того, не всегда устанавливается прямая зависимость между содержанием углерода и водорода и их соотношением и процентом выхода смолы.

С. В. Григорьев [92] проводит классификацию каустобиолитов по их атомной массе. Превращение исходного материала для всех разновидностей каустобиолитов, по представлению автора, происходило с потерей преимущественно кислорода, и в подтверждение своего вывода он привел средний состав различных классов каустобиолитов (табл. 87).

Процесс изменения исходного ОВ был более сложным и глубоким по своему химическому содержанию и сопровождался не только потерей воды и углекислого газа. Атомный состав ОВ лишь в какой-то мере отражает его материальные изменения, но не раскрывает структурных изменений и не характеризует его промышленную ценность. Баланс процесса превращения ОВ на разных стадиях развития различен и находится в прямой зависимости от наличия сапропеля и гумуса и их отношения и степени изменения в конкретных природных условиях. Это наглядно проиллюстрировал В. А. Успенский [37] на примере углефикации гумусового вещества на разных стадиях его изменения (табл. 88).

А. В. Кожевников [6] к горючим сланцам рекомендует относить такие, у которых предельное отношение углерода к водороду не более 10. Он выделяет три категории сланцев: богатые — с выходом смолы более 15%, средние — 8—14, бедные — менее 8. Кроме того, он вводит понятие «теоретический коэффи-

Таблица 87. **Классификация горючих сланцев по атомной массе**

Каустобиолиты	Средний состав	Каустобиолиты	Средний состав
Растительность	$C_{17,5}H_{26}O_{12}$	Фузиты	$C_{16,5}H_8O_{1,25}$
Торф	$C_{16,0}H_{20}O_7$	Антрациты	$C_{17}H_4O_{0,25}$
Лигниты	$C_{16,5}H_{15}O_7$	Сапропелевый уголь	$C_{14,5}H_{20}O_3$
Бурые угли	$C_{16,5}H_{12,5}O_{4,5}$	Сланцы и сапропели	$C_{13,5}H_{22}O_3$
Каменные угли	$C_{15,5}H_{12,5}O_{3,25}$	Сланцы и сапропелиты	$C_{12,67}H_{22}O_{0,67}$

Таблица 88. **Количество и состав летучих продуктов углефикации гумусового материала на разных ее стадиях [37]**

Стадии углефикации	Суммарное количество продуктов углефикации, % к количеству исходного материала	Количество углерода в летучих продуктах, %		Количество углеродсодержащих летучих продуктов, % к общей сумме	
		к количеству углерода в исходном материале	к сумме летучих продуктов углефикации	CO_2	CH_4
Торф — уголь	28,8	14,2	29,1	74,8	11,6
Бурый — каменный уголь (средней степени углефикации)	29,4	14,2	34,3	53,6	26,2
Каменный уголь — антрацит	18,7	10,5	48,2	18,4	57,6
Антрацит — графит	10,5	5,7	51,4	9,3	65,2

циент смолоотдачи горючих сланцев», для вычисления которого предложил формулу

$$K_т^с = (H \cdot K + H + \gamma) - X,$$

где H — содержание водорода в органической массе, %; K — отношение C/H; γ — содержание O+N+S в смоле; X — содержание газа в пересчете на органическую массу, %.

Вопросам генетической классификации горючих ископаемых посвящена работа С. С. Семенова [1955]. В ней автор на основе расчета чисел углеродных связей в органических соединениях делает вывод, что по мере повышения степени метаморфизма гумусовых образований разность чисел углеродных связей непрерывно возрастает, что свидетельствует о непрерывно идущем процессе циклизации ОВ с постепенным образованием ароматических и конденсированных структур. В отношении сапропелевого вещества он считает, что до определенного предела наблюдалось непрерывное повышение, а затем происходило стремительное снижение разности чисел углеродных связей. Это явление С. С. Семенов объясняет переходом твердого сапропелевого вещества в плавкое состояние, т. е. первичное нефтеподобное вещество.

Л. Е. Шлаттер [1, с. 161—166] в предложенной классификации горючих сланцев рассматривает ряд оценочных критериев и в итоге приходит к заключению, что единственным надежным критерием остается процент выхода смолы, который позволяет быстро определять размер запасов рассматриваемого месторождения. Он не считает возможным учитывать другие критерии оценки качества горючих сланцев: а) генетический признак не может дать четкого решения по той причине, что образование сланцев является однородным; б) структура первичных организмов видоизменена и зависит от степени метаморфизма ОВ, но понимание этой проблемы еще недостаточно; в) петрографическая классификация содержания минерального состава не имеет прямого отношения к керогену; г) химический критерий ОВ не может быть использован, поскольку наши знания о точной природе керогена весьма ограниченны, а различные аналитические подходы, направленные на разрешение этой задачи, до сих пор себя не оправдали.

Бесспорно, что выход смолы является одним из основных показателей оценки качества горючих сланцев. Но если учесть, что сланцы — комплексное органо-минеральное полезное ископаемое, то одного этого показателя для перспективной промышленной оценки месторождения явно недостаточно.

В 1968 г. И. М. Озеров и В. Ф. Полозов [1] в «Основах промышленной классификации горючих сланцев» выделили два генетических типа горючих сланцев: сапропелевый и сапропелево-гумусовый. В зависимости от выхода смолы и теплоты сгорания сланцев приведена характеристика трех промышленных классов: энергетического, химико-технологического и энерготехнологического. С учетом химического состава минеральной части сланцев дана харак-

теристика трех видов сланцев: карбонатного, алюмосиликатного и алюмосиликатно-карбонатного. Авторами выделено четыре промышленные группы горючих сланцев: энергетическая, газосмоляная, смоляная и энергохимическая. В классификации приведен примерный перечень возможного производства сланцехимических продуктов для соответствующих разновидностей сланцев. Обращено внимание на возможности извлечения из горючих сланцев целого ряда редких и рассеянных химических элементов.

При оценке горючих сланцев приходится учитывать в них содержание серы, поскольку этот показатель имеет важное значение при выборе технологии их переработки и промышленного использования. Содержание серы в горючих сланцах месторождений, образованных в различные геологические эпохи, — от долей процента до 5—6% и даже больше. Серусодержащие минералы, в основном пирит и марказит, либо распределены равномерно по всей сланценосной толще, либо преимущественно приурочены к определенным горизонтам или к отдельным пластам, занимающим соответствующее стратиграфо-литологическое положение, либо образуют скопления гнездового характера, иногда приуроченные к тектоническим трещинам, секущим сланценосную толщу. Повышенное содержание серы, как общее правило, имеют преимущественно гумусовые сланцы и сланцы зоны выветривания.

По содержанию серы среди горючих сланцев можно выделить три вида: малосернистые — меньше 2, среднесернистые — 2—4 и многосернистые — свыше 4% (табл. 89).

Таблица 89. **Виды горючих сланцев и содержание серы на сухое вещество, %**

Месторождение	$S_{общ}$, %	Месторождение	$S_{общ}$, %
Малосернистые		Юта	1,40
		Кендерлыкское	1,26—2,80
		Ашанское	1,28—1,86
Бразильские	0,90	Усть-Катавское	2,18
Глен-Дэвис	0,87	Ивановское	2,19
Алексинац	0,80	Ундорское	0,6—3,3
Шотландские	0,70	Каменец-Подольское	1,38—2,52
Оршинское	0,65		
Орепуки	0,60	**Многосернистые**	
Колорадо	0,50		
Фушунь	0,50		
Буртинское	0,47	Новосеменовское	0,4—17,0
Мэсод	0,40	Буинское	4—14,40
Пуэртольяно	0,30	Чернозатонское	7,3—8,20
Балахтинское	0,25	Новодмитриевское	6,50
Пашинское	0,24	Кашпирское	2—18,97
Тремембе	0,20	Ум-Барек	6,20
		Кашпирское	6,00
Среднесернистые		Общесыртовское	2,5—6,20
		Нерке	5,30
		Байсунское	3—5,20
Синегорское	1,6—3,00	Невада	4,90
Египетское	2,90	Богословское	3—4,20
Карпатские менилитовые сланцы	2,80	Вурнарское	2,8—11,10
		Савельевское	2,4—5,20
Воронье-Волосковское	2,80	Озинковское	2,4—4,96
Туровское	2,80	Голюшуровское	3,3—13,47
Карадагское	1,90—2,75	Мантуровское	4,3—5,5
Лемезинское	1,75—2,28	Ульяновское	2,3—6,0
Прибалтийские	1,60	Захарьевское	2,9—4,12
Болтышское	1,40	Левосвияжское	3—11,20

Качественная оценка горючих сланцев не может основываться на одном каком-либо показателе, в частности только на содержании ОВ или зависимости выхода смолы от содержания керогена, или от теплоты сгорания, или от содержания смолы, или от содержания минеральной массы. Например, установление зависимости выхода смолы на сланец от выхода смолы на условную органическую массу оказалось недостаточно надежным. При выходе смолы на сланец 10; 10,3; 10,4; 10,5% выход смолы на условное ОВ соответственно оказался равным 44, 49, 70, 30. Это вполне объяснимо, если учесть неоднородность состава керогена и различную степень его превращения.

Схема единой промышленной классификации горючих сланцев

Несмотря на добычу и переработку сланцев с давних времен, до сих пор не выработана единая промышленная классификация. Это создает определенные трудности в перспективной оценке как отдельных месторождений, так и сланценосных бассейнов и в какой-то мере оказывает влияние на дальнейшее развитие сланцевой промышленности в отдельных странах. Несомненно, сказывается на прогнозировании и ограниченность сведений по генетической характеристике сланцев отдельных месторождений. За последние годы многие ученые в своих исследованиях уделяют большое внимание поискам основных критериев оценки и разработке схем промышленной классификации на их основе.

Научная разработка промышленной классификации горючих сланцев сопряжена с определенными трудностями. Прежде всего весьма немногие месторождения подвергались детальному или сравнительно детальному изучению. Кроме того, испытания сланцев проводились не по единой общепринятой методике, в результате чего в большинстве полученные результаты часто невоз-

Генетический тип	Класс, теплота сгорания (кДж/кг)	Подкласс	Группа*	Подгруппа
Сапропелевый	Высококалорийный, 12500	Высокосмоляной. Выход смолы на кероген >50, на сланец >30, малозольный до 6%	Отношение выхода смолы к теплоте сгорания T/Q >6	Талломоальгинитовый Талломоколлоальгинитовый
Сапропелево-гумусовый	Среднекалорийный, 8400—12500	Среднесмоляной. Выход смолы на кероген 40—50, на сланец 10—12, зольный, 61—70%	Отношение выхода смолы к теплоте сгорания T/Q 5—6	Талломоальгинито-сапрогумосорбомикстинитовый, псевдовитринито-коллоальгинитовый
Гумусово-сапропелевый	Слабокалорийный, 6300—8400	Малосмоляной, выход смолы на кероген 30—40, на сланец <10, высокозольный, >70%	Отношение выхода смолы к теплоте сгорания T/Q <5	Витринито-сапрогумосорбомикстинитовый, витринито-коллоальгинитовый

* Q — теплота сгорания сланца; T — выход смолы полукоксования на 4186 кДж/кг; T/Q — отношение выхода смолы к теплоте сгорания, характеризует состав и строение ОВ.

можно сопоставить и увязать между собой и составить объективную оценку.

Тем не менее накопился немалый фактический материал по характеристике качества и свойств горючих сланцев некоторых месторождений в виде результатов химического анализа лабораторных, опытных или промышленных испытаний. В интересах более углубленного изучения сланцев и выявления наиболее рационального их промышленного использования возникает необходимость в систематизации фактического материала и классифицировании основных оценочных признаков. Систематизация и анализ обширного литературного материала по горючим сланцам, опубликованного учеными СССР и зарубежных стран, позволили прийти к заключению, что основные принципы, изложенные И. М. Озеровым и В. Ф. Полозовым [1], могут быть сохранены и в единой промышленной классификации. Однако некоторые положения и формулировки подлежат уточнению и развитию, особенно в свете рекомендаций Симпозиума, результатов обсуждения опубликованных докладов, содержащих весьма ценные и полезные сведения по горючим сланцам многих стран мира.

Разработанная схема единой промышленной классификации горючих сланцев предусматривает совокупность оценочных показателей, характеризующих промышленное значение каждого генетического типа (табл. 90). Основными предпосылками разработки единой промышленной классификации горючих сланцев служат следующие исходные положения:

1) горючие сланцы — это самостоятельный класс каустобиолитов, отличающихся от других твердых горючих ископаемых условиями образования, петрографическим и химическим составом ОВ;

2) генетическими классификационными группами горючих сланцев являются сапропелиты, сапропелито-гумиты и гумито-сапропелиты;

3) горючий сланец представляет собой дисперсную смесь высокополимерного гетероатомного ОВ в основном сапропеле-

Таблица 90. **Схема единой промышленной классификации горючих сланцев**

Вид	Разновидность	Сопутствующие компоненты	Основные направления промышленного использования	Запасы
Карбонатный ($CaO+MgO$ 20%), алюмосиликатно-карбонатный ($CaO+MgO$ 10—20%)	Малосернистый, $S_{общ}$ 2,0%	Повышенные концентрации редких и рассеянных элементов и промышленных комплексов алюминия, калия, натрия, кальция, фосфора и др.	Химическое (газ, химические продукты), энергетическое (тепло- и электроэнергия, жидкое топливо), производство строительных и вяжущих материалов	Миллиарды, десятки миллиардов тонн
Алюмосиликатный ($CaO+MgO$ < 10%)	Среднесернистый, $S_{общ}$ 2—4%			
Силикатный ($SiO_2+Al_2O_3$ >70%)	Многосернистый, $S_{общ}$ >4%		Химическое (сернистые химические продукты), энергетическое (жидкое топливо)	Десятки—сотни миллиардов (до триллиона) тонн

вого состава с примесью гумусового вещества и минеральной массы различного химического состава;

4) различная доля участия гумусового и сапропелевого вещества в образовании горючих сланцев отражается на элементарном составе керогена и на выходе смолы полукоксования;

5) горючий сланец — это комплексное горючее органо-минеральное полезное ископаемое, используемое на основе керогена для получения химических продуктов путем термического разложения и производства электро- и теплоэнергии при сжигании, а на базе минеральной части — строительных материалов;

6) извлечение из сланцев некоторых месторождений редких рассеянных элементов и сопутствующих им химических элементов, выпуск препаратов для сельского хозяйства;

7) теплота сгорания сланцев и выход смолы на сланец и ОВ находятся в прямой связи с генетическим типом керогена.

Генетические особенности керогена и определяют путь промышленного использования горючих сланцев как комплексного топливно-химического.

Промышленно-генетическая классификация, преследуя цель выявления главнейших промышленных признаков и свойств генетических типов горючих сланцев, предусматривает соблюдение следующих условий:

1) показатели квалификационных параметров должны отражать генетические признаки, специфические свойства и качество, обеспечивающие достоверность промышленной оценки месторождения на любой стадии его изученности и разведанности;

2) квалификационные параметры должны обеспечить качественную характеристику содержания ОВ и минеральной массы с целью выбора рационального направления промышленного использования сланцев;

3) числовые значения показателей должны определяться общеизвестными стандартными методами, гарантирующими наибольшую точность определения;

4) показатели квалификационных параметров должны определяться в условиях заводской лаборатории и не требовать большого объема исследований.

Применительно к принятой в СССР Общесоюзной системе классификации и кодирования промышленной и сельскохозяйственной продукции ОКП в полной (ассортиментной) номенклатуре классификационные параметры включают класс, подкласс, группу, подгруппу, вид и разновидность. Кроме того, выделены генетические типы горючих сланцев.

Классификационные показатели горючих сланцев

Тип — генетический.

Класс — показатель теплоты сгорания сланца. Определяет перспективы промышленного использования сланца как топлива в энергетике.

Подкласс — показатель выхода смолы полукоксования. Определяет перспективу промышленного использования сланцев в качестве химико-технологического сырья.

Группа — показатель отношения выхода смолы полукоксования к теплоте сгорания сланца T/Q. Определяет перспективу промышленного использования сланца в качестве топлива в энергетике и в качестве химико-технологического сырья.

Подгруппа — показатель петрографического состава ОВ горючих сланцев. Устанавливает природу исходного вещества и степень его превращения, микрокомпонентный состав и химические свойства керогена.

Вид — показатель химического состава золы сланца, в частности содержания карбонатов щелочноземельных металлов, образующихся при сжигании и термической переработке сланцев. Твердые зольные отходы в зависимости от содержания окислов щелочноземельных металлов могут быть использованы в производстве строительных и вяжущих материалов, для известкования кислых почв. Показатель указывает направление использования зольных отходов.

Разновидность — показатель содержания серы в сланце. При сжигании и термической переработке сланцев образуются сернистые соединения, которые могут быть превращены при очистке газов в ценные химические продукты. Содержание серы в сланце указывает на опасность загрязнения воздушного бассейна и требует очистки сернистых газов. Повышенное содержание серы свидетельствует о наличии в сланце гумусового вещества.

Классификационная диаграмма

Для вычисления оценки качества горючих сланцев того или иного месторождения фактически используются три основных параметра: теплота сгорания, выход смолы полукоксования и содержание в золе окислов щелочноземельных металлов.

Для характеристики ОВ сланца выход смолы следует относить не к условной органической массе $(A^c+CO^c_2)=100$, определяемой с большой погрешностью, а к реальной величине — теплоте сгорания, точность определения которой несравненно выше. Отношение выхода смолы полукоксования к теплоте сгорания дает устойчивый показатель. Физический смысл этого показателя вытекает из следующих соображений: $Q^c_б=f(C+H+O)$, $T=f(C+H+O)\varphi$ (структура О). Показатель T/Q зависит от характера функциональных групп гетероатомов и главным образом кислорода.

Действительно, при большом содержании гидроксильных групп выход пирогенной воды увеличивается. Водород ОВ расходуется на образование воды, что вызывает соответствующее понижение выхода смолы.

Таким образом, оба показателя $Q^c_б$, T и отношение T/Q характеризуют не только состав ОВ, но и его строение. По этим показателям и по содержанию в золе CaO+MgO составлена классификация сланцев с обозначением кодовых номеров классов групп и видов (классификационная диаграмма).

К л а с с — теплота сгорания — обозначается первой цифрой (табл. 91).

Г р у п п а — выход смолы полукоксования — обозначается второй цифрой.

В и д — содержание в золе CaO+MgO, %. Для оценки качества сланцевой золы приняты обозначения вида сланцев:

	CaO + MgO, %
1. Карбонатный (в)	20
2. Карбонатно-алюмосиликатный (б)	19—10
3. Алюмосиликатный (а) . . .	10

Примеры классификации

1. Прибалтийский сланец.
   Теплота сгорания $Q^c_б=3000$ ккал/кг
   Выход смолы $T^c=22\%$
   Отношение $T/Q=7{,}3$
   Содержание CaO+MgO в золе MeO=25%
   Кодовое обозначение сланца 3.5в.
   Перспектива использования — сланец технологический карбонатный.

2. Кашпирский сланец.
   Теплота сгорания $Q^c_б=2200$ ккал/кг
   Выход смолы $T^c=9\%$
   Отношение $T/Q=4{,}1$
   Содержание CaO+MgO в золе MeO=15%
   Кодовое обозначение сланца 2.2б.
   Перспектива использования — сланец энергетический карбонатно-алюмосиликатный.

Данные исследования сланцев различных месторождений показывают, что значение T не опускается ниже 4, тогда как для углей и торфа оно не превышает 2. Следовательно, кероген сланцев либо представляет собой сапропелит, либо содержит сравнительно небольшое количество гумусового вещества. Отличительным признаком керогена сланцев принимается значение структурного показателя T в пределах от 4 до 8. Именно выход смолы, отнесенный к теплоте сгорания, эквивалентной ОВ, являясь структурным показателем, может служить отличительным признаком керогена от других видов твердого топлива.

ЗАПАСЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Мировые запасы

В оценке мировых запасов горючих сланцев среди исследователей нет единого мнения. В опубликованной литературе приводятся различные оценки — от сотен миллиардов до многих триллионов тонн сланца (табл. 92). Приведенные

Таблица 91. **Классификационная диаграмма**

Группа: $\frac{T}{Q_б^c}$	Группа: вторая цифра кода	Кодовые номера					
8	6	06	16	26	36	46	56
8—7	5	05	15	25	35	45	55
7—6	4	04	14	24	34	44	45
6—5	3	03	13	23	33	43	53
5—4	2	02	12	22	32	42	52
4	1	01	11	21	31	41	51
Классы (первая цифра кода) 0 $Q_б^c$, ккал/кг <1500			1 1501—2000	2 2001—2500	3 2501—3000	4 3001—3500	5 >3500

Таблица 92. **Оценка запасов**

Мировые потенциальные запасы горючих сланцев или смолы	Потенциальные запасы горючих сланцев в пересчете на условное топливо. Калорийные эквиваленты сланца — 0,03, смолы — 1,37	Литературные источники
250 млрд. т смолы	342,5 млрд. т	Озеров Г. В., 1965 г.
275 трлн. т жидкого топлива	376,7 трлн. т	Геологическое Управление США, 1966 г.
26 000 000 млн. т смолы	35 620 млрд. т	Департамент экономических и социальных проблем, секретариат ООН, 1967 г.
700—800 млн. т смолы	1027,6 млрд. т	Томашпольский Л. М., 1968 г.
—	200 млрд. т у. т.	Лисичкин С. М., 1969 г.
—	375 млрд. т у. т.	Жуков В. А., 1972 г.
360 млрд. т сланца	108 млрд. т	Мельников Н. В., 1975 г.

Таблица 93. **Общие запасы сланцев, содержащих ОВ, на континентах, трлн. т. [94]**

Континенты	Горючие сланцы с содержанием ОВ 10—65%		Горючие сланцы с содержанием ОВ 5—10%	
	Потенциальные запасы сланцев	Минимальный объем ОВ	Потенциальные запасы сланцев	Минимальный объем ОВ
Африка	340	34	3400	170
Азия	450	45	4500	225
Австралия	80	8	800	40
Европа	110	11	1100	55
Северная Америка	200	20	2000	100
Южная Америка	160	16	1600	80
Всего	1340	134	13400	670

Таблица 94. **Потенциальные запасы горючих сланцев мира [94]**

Страна	Месторождение	Возраст	Запасы смолы, млн. т
	Африка		
Республика Заир	Луалаба между городами Кисангани и Понтьеввилем, залежи неизвестной мощности находятся в районе Маюмба	Юрский	15 000
Малагасийская республика (Мадагаскар)	Самбена-Антанифоси	Третичный	4
ЮАР	Вдоль Трансваальского высокого вельда (оценена только небольшая часть залежей)	Система Карру (серия Экка нижней перми)	19
	Залежи невыясненных размеров встречаются также в Мали, Марокко, Сомали, Тунисе, Уганде, АРЕ, Танзании, Замбии		
Итого по Африке			15 023
	Северная Америка		
Канада	Нью-Брансуик	Раннекаменноугольный	22 000
	Ньюфаундленд. Залежи неустановленной величины встречаются в провинциях Онтарио, Квебек, Британская Колумбия, Новая Шотландия, Юкон и Северо-Западных Территориях	То же	15 000
США	Колорадо, Юта, Вайоминг. Кроме того, встречаются залежи в центральной и восточной частях США и на Аляске	Палеогеновый	1 200 000 23 400 000
Итого по Северной Америке			24 637 000
	Южная Америка		
Бразилия	Ирати, Рио-Кларо, Татуи, Томасин, Инбутува, Сан-Матеус-Перимбо, Сан-Габриель, Тремембе — Таубате Кроме того, залежи неустановленной величины имеются в Кодо, Барра-ду-Корда, Рио-Серено, Арарипа, Марау	Третичный	290

Продолжение табл. 94

Страна	Месторождение	Возраст	Запасы смолы, млн. т
Чили	Эль-Пулар	Юрский	5
	Лонкимай	Третичный	50
	Залежи неустановленной величины имеются в Аргентине, Колумбии, Эквадоре, Перу, Уругвае		
Итого по Южной Америке			1 200 345
	Азия		
КНР	Фушунь, Кансу, Шаньси, Ляонин, Кирин, Квантун	Третичный	24 500
Бирма	Анхерст	»	280
Израиль	Эйн-Бокуек	Меловой	3
	Эфье	»	10
	Залежи неустановленной величины встречаются в районе Галилеи		
Иордания	Неби-Муса	»	10
Таиланд	Мэсот	Третичный	670
	Ли	»	1,5
Турция	Болу-Менген	Эоценовый	1,5
	Гойнук-Мудурну-Наллыхан	»	40
	Бахчеджик	»	12,5
	Залежи неустановленной величины встречаются также в районе Улукышла, Анталья-Дойран, Амасья-Сулова, Селтик, Газиантеп-Килис, Конья-Бейшехир, Сусурлык, Канкири, Анкара, Кизилирман, Есил-Ирмак и Инегёль		
Итого по Азии			25 528,5
	Океания, Австралия		
	Новый Южный Уэльс, Тасмания	Пермско-каменноугольный	11
	Квинсленд	Третичный	30
Новая Зеландия	Орепуки, Невис, Фрешфорд, Кэмбрайэн, Уайтати	»	30
Итого по Океании, Австралии			71

Продолжение табл. 94

Страна	Месторождение	Возраст	Запасы смолы, млн. т
	Европа		
Австрия	Херинг (Тироль)	Третичный	1
Болгария	Брезник	Палеогеновый	30
	Залежи неустановленной величины имеются в районах Софии, Кюстендила, Радомира, Стара-Загоры, Казанлыка, Благоевград		
Франция	Отён	Пермский	10
	Сент-Илер	»	20
	Северак-ле-Шате	Юрский	40
	Ванде, Канталь, Вар, Кальвадос, Нижние Альпы, Ду, Эи, Шер, Ло, Ардеш, Од, Пюи-де-Дом и др.		135
ФРГ	Вюртемберг, Брауншвейг	»	285
Италия	Сицилия	Эоценовый	5500
Люксембург	Вся территория	Юрский	10
Испания	Пуэртольяно	Пермско-каменноугольный	40
	Залежи неустановленной величины имеются в Восточной Испании		
Швеция	Остерготланд, Вестерготланд, Нёрке	Кембрийско-силурийский	600
Великобритания	Шотландия (Западно-Лотское, Среднелотское)	Каменноугольный	90
	Дорсет, Норфолк, Линкольншир, Йоркшир	—	150
СССР	Эстонское, Ленинградское	Ордовикский, кембрийский	2900
	Горючие сланцы других месторождений и бассейнов СССР	Юрский, меловой и др.	12 000
Югославия	Алексинац	Третичный	30
	Месторождения имеются также возле Валево, Заечар, Скопье		
	Залежи неустановленных размеров имеются в Албании, Чехословакии, Греции, Гренландии, Ирландии, Польше, Румынии и Швейцарии		
Итого по Европе			21 841
Общие запасы сланцевой смолы			26 000 000

Сланцевые бассейны, районы, месторождения	Общегеологические		Учтенные ВГФ		
	Всего	В том числе кондиционные	Балансовые		Забалансовые
			A, B, C_2	C_2	
Европейская часть	143,1	54,900	6,280	4,120	3,170
Волжский бассейн	40,84	34,767	1,303	3,054	1,129
Ижма-Печорский	11,000	10,550	—	0,550	0,450
Сысольский	0,002	0,002	0,002	—	—
Кировский	0,353	—	—	—	—
Костромской	0,048	0,042	0,006	0,036	0,006
Ульяновский	1,030	0,160	0,048	0,112	0,139
Куйбышевско-Саратовский	2,475	2,145	0,724	1,421	0,330
Общесыртовский	25,933	21,868	0,523	0,935	0,204
Прибалтийский бассейн					
Кукерские сланцы	24,527	18,550	4,970	1,033	2,040
Ленинградская область	8,161	2,238	1,078	1,033	0,086
Эстонская ССР	16,366	16,312	3,892	—	1,954
Диктионемовые сланцы	62,308	—	—	—	—
Белорусская ССР	11,000	—	—	—	—
Украинская ССР	4,365	3,445	—	—	—
Волго-Уральская область					
Девонские сланцы	0,043	0,043	0,011	0,032	—
Казахская ССР	0,867	0,217	0,053	0,162	0,640
Тургайский бассейн	0,113	0,040	0,033	0,007	0,073
Кендерлыкское	0,708	0,175	0,020	0,155	0,533
Прочие	0,046	0,002	—	—	0,034
Средняя Азия	48,405	0,333	0,026	0,080	0,007
Киргизская ССР	0,082	0,076	0,022	0,043	—
Таджикская ССР	1,266	0,257	0,004	0,037	—
Тереклитау	0,030	0,030	0,004	0,026	—
Гарауты и Кыз-Имчек	0,227	0,227	—	0,011	—
Зеравшанская долина	1,009	—	—	—	—
Узбекская ССР	47,057	—	—	—	0,007
Байсунское	0,007	—	—	—	0,007
Юго-западные отроги Гиссарского хребта	2,081	—	—	—	—
Кызылкумский бассейн	24,613	—	—	—	—
Амударьинский бассейн	20,356	—	—	—	—
Восточная Сибирь и Северо-Восток СССР	0,860	0,590	0,130	0,090	0,010
Барзасское	0,755	0,500	0,042	0,090	—
Алюйское	0,100	0,090	0,090	—	0,010
Оленекский и Анабарский районы	Запасы в количестве 849 млрд. т.				
Всего	193,2	56,600	6,280	4,450	3,820

Таблица 95. **Геологические запасы горючих сланцев СССР по подсчетам 1968 г. [84], млрд. т.**

Прогнозные			
I группа		II группа	
Кондиционные	Некондиционные	Кондиционные	Некондиционные
25,500	82,300	19,000	2,700
11,447	2,260	18,863	2,685
—	—	10,000	—
Запасы отнесены к III группе			
—	0,353	—	—
—	—	—	—
—	0,731	—	—
—	—	—	—
11,447	1,176	8,963	2,685
10,647	5,837	—	—
0,127	5,837	—	—
10,520	—	—	—
—	10,308	—	—
—	11,000	—	—
3,445	0,920	—	—
Не оценивались			
0,002	—	—	0,010
—	—	—	—
—	—	—	—
0,002	—	—	0,010
—	—	0,227	48,100
—	—	0,011	0,006
—	—	0,216	1,009
—	—	—	—
—	—	0,216	—
—	—	—	1,009
—	—	—	47,050
—	—	—	—
—	—	—	2,081
—	—	—	24,613
—	—	—	20,356
0,370	0,260	—	—
0,368	0,255	—	—
—	—	—	—
отнесены к III группе			
25,900	82,600	19,200	50,800

данные о мировых запасах горючих сланцев или смолы весьма противоречивы. Диапазон оценочных данных находится в широких пределах, что объясняется отсутствием единого координирующего органа по учету и апробации мировых запасов сланцев.

Впервые в литературе потенциальные запасы горючих сланцев и ОВ в недрах Земли были опубликованы в 1967 г. Отделом экономики и социального развития ООН [94]. Приведенные в табл. 93 запасы сланцев следует рассматривать лишь в качестве теоретического оценочного прогноза распределения сланцев по странам мира. В опубликованном докладе Департамента экономических и социальных проблем секретариата ООН [94] впервые на основании обобщенных материалов приведен обзор запасов сланцевой смолы по отдельным месторождениям и регионам, дана прогнозная оценка значения и роли горючих сланцев в топливно-энергетическом балансе некоторых стран Европы, Азии, Африки, Америки и Австралии (табл. 94). Ценность выполненной работы заключается еще и в том, что в основу прогнозирования дальнейшего развития сланцевой промышленности в отдельных странах мира положен геологический критерий — возраст сланцев.

Приведенные в табл. 93 запасы горючих сланцев, скорее, занижены, чем завышены, так как бо́льшая часть известных месторождений мира детально не разведана и не изучена. Оценка их приведена на основе ограниченных сведений как по качеству, так и по запасам.

За последние 15 лет во многих странах мира в связи с повышенным интересом к горючим сланцам осуществлен немалый объем геологоразведочных работ, которые внесли существенные дополнения в оценку отдельных месторождений и бассейнов некоторых стран. В СССР выявлены новые сланценосные бассейны — Припятский, Оленекский, Кызылкумский, Амударьинский, разведаны Болтышское, Тапасское месторождения, а также проведены научно-исследовательские работы по комплексной оценке мелилитовых сланцев Карпат.

Запасы горючих сланцев СССР

Горючие сланцы СССР занимают обширные площади во многих районах страны. Известны такие крупные сланценосные бассейны, как Прибалтийский, Волжский, Оленекский, Кызылкумский

и др., с запасами сланцев от 20—40 до 300—800 млрд. т. Зарегистрированы многие месторождения горючих сланцев в европейской части, Казахстане, Узбекистане, Киргизии, Восточной Сибири, на Северо-Востоке страны, в Белоруссии и на Украине. Общегеологические запасы сланцев по подсчетам 1968 г. составляют 193,1 млрд. т (табл. 95).

В. Р. Клер и В. Ф. Ненахова [84] в зависимости от качественной характеристики горючих сланцев выделяют пять групп, из которых только запасы I и II групп относятся в кондиционным (табл. 96). Запасы I группы могут быть использованы при оперативном планировании добычи горючих сланцев в пределах шахтных полей действующего предприятия либо при разработке проектного задания:

I — запасы горючих сланцев, удовлетворяющие действующим кондициям;

II — запасы горючих сланцев, для которых кондиции не установлены; сланцы с высшей теплотой сгорания на сухую массу не ниже 8372 кДж/кг и горной массы на сухое вещество с учетом породных прослоев сланценосной пачки не ниже 6698 кДж/кг;

III — запасы горючих сланцев, не удовлетворяющие требованиям двух предыдущих групп; сланцы с высшей теплотой сгорания на сухую массу не ниже 6698 кДж/кг и горной массы на сухое вещество не ниже 5023 кДж/кг;

IV — запасы горючих сланцев с высшей теплотой сгорания на сухую массу не ниже 5023 кДж/кг в сланценосных пачках мощностью не менее 0,5 м;

V — запасы горючих сланцев с высшей теплотой сгорания на сухую массу ниже 5023 кДж/кг при наличии обоснования целесообразности комплексного их использования.

Горючие сланцы, учитываемые в той или иной группе, должны соответствовать требованиям по теплоте сгорания как чистого горючего сланца, так и горной массы, засоренной породными прослоями. Запасы I и II групп отнесены по качеству к кондиционным, запасы остальных групп — к некондиционным. Подсчет запасов горючих сланцев проведен с разделением по глубинам залегания 0—300 и 300—600 м с выделением запасов сланцев, пригодных для открытой добычи, принятых в соответствии с нормативами.

В число суммарных запасов горючих сланцев СССР 193,2 млрд. т не входят прогнозные запасы горючих сланцев Оленекского бассейна Сибирской платформы (300 млрд. т), подсчитанные до глубины 300 м. Ранее считалось, что в пределах бассейна горючие сланцы ранне-среднекембрийского возраста располагаются на глубине не более 600 м, но в центральной (мульда Суханского прогиба) и южной частях бассейна глубина их залегания достигает 1200—1400 м [1, с. 545—568]. По условиям залегания, мощности сланценосной толщи, распространению горючих сланцев по площади Оленекский бассейн, по-видимому, является самым крупным в СССР и по запасам близок к формации Грин-Ривер. Прогнозные запасы В. Р. Клер и В. Ф. Ненахова [84] оценивают в 849 млрд. т.

Вдоль северо-восточных склонов и в западной части юго-западного склона Карпат на обширной площади распространены менилитовые сланцы олигоцена. Они невысокого качества — теплота сгорания 4186—6280 кДж/кг, выход смолы 3—6%. Запасы смолы оцениваются в 15—20 млрд. т [44].

В пределах северо-запада Русской платформы — в Северной Эстонии и Ленинградской области — залегает сланценосная толща диктионемовых сланцев нижнего ордовика. Сланцы бедны ОВ. Теплота сгорания невелика — 4186—6280 кДж/кг, но общие запасы диктионемовых сланцев более 600 млрд. т [46, с. 14—16].

На востоке Русской платформы распространены горючие сланцы доманикового горизонта франского яруса верхнего девона. Массовая доля ОВ 17—38%. Выход смолы 4—15%. Теплота сгорания 2930—12 520 кДж/кг. Прогнозные запасы сланцев значительны. Д. Т. Кузнецов [13] приводит такое число запасов сланцев — 500 000 млн. т, или 45 000 млн. т сланцевой смолы. Это число появилось впервые без всякого пояснения. Значительным резервом яв-

Таблица 96. **Распределение запасов горючих сланцев в СССР по качеству, млрд. т. [84]**

Сланцевые бассейны, районы, месторождения	Группы качества запасов				
	I	II	III	IV	V
Европейская часть	6,548	12,992	25,888	45,646	52,010
Волжский бассейн	2,529	5,940	12,761	15,681	3,930
Ижма-Печорский	—	1,000	—	10,000	—
Сысольский	—	0,002	—	—	—
Кировский	—	—	0,353	—	—
Костромской	—	0,048	—	—	—
Ульяновский	—	0,299	0,731	—	—
Куйбышевско-Саратовский	2,145	0,330	—	—	—
Общесыртовский	0,384	4,240	11,676	5,681	3,930
Озинковское и месторождения Западного Казахстана	—	0,021	0,001	—	—
Прибалтийский бассейн					
Кукерские сланцы	4,019	2,687	13,127	4,694	—
Ленинградская область	0,127	2,196	1,144	4,694	—
Эстонская ССР	3,892	0,491	11,983	—	—
Диктионемовые сланцы	—	—	—	25,228	37,080
Белорусская ССР	—	—	—	—	11,000
Украинская ССР	—	4,365	—	—	—
Волго-Уральская область					
Девонские сланцы	—	—	—	—	—
Лемезинское месторождение	—	—	—	0,043	—
Казахская ССР	—	0,754	—	0,113	—
Тургайский бассейн	—	—	—	0,113	—
Кендерлыкское	—	0,708	—	—	—
Прочие	—	0,046	—	—	—
Средняя Азия	—	0,072	48,059	0,268	0,006
Киргизская ССР	—	0,065	—	0,011	0,005
Таджикская ССР	—	—	1,009	0,257	—
Тереклитау	—	—	—	0,030	—
Гарауты и Кыз-Имчек	—	—	—	0,227	—
Зеравшанская долина	—	—	1,009	—	—
Узбекская ССР	—	0,007	47,050	—	—
Байсунское	—	0,007	—	—	—
Юго-западные отроги Гиссарского хребта	—	—	2,081	—	—
Кызылкумский бассейн	—	—	24,613	—	—
Амударьинский бассейн	—	—	20,356	—	—
Восточная Сибирь и Северо-Восток СССР	—	0,232	0,623	—	—
Барзасское	—	0,132	0,623	—	—
Алюйское	—	0,100	—	—	—
Всего	6,548	14,050	74,570	46,027	52,016

ляются горючие сланцы Тимано-Печорской области с перспективными запасами 400 млрд. т сланца. Все эти, а также и другие районы СССР являются резервом прироста запасов горючих сланцев, и каждый из них может рассматриваться самостоятельным крупным энергохимическим центром страны.

Горючие сланцы встречаются в отложениях триаса на Северо-Востоке СССР, на территории Омолонского массива Колымской платформы. ОВ представляет собой студнеобразную водорослевую массу. Это единственное месторождение в СССР, близкое по своему составу к австралийским торбанитам. Горючие сланцы триасового возраста известны на Аляске, где прослеживается полоса залежей длиной 500, шириной 26 км. Выход смолы 10—15%.

Немало месторождений горючих сланцев верхнемезозойского континентального комплекса зарегистрировано в Иркутском и Забайкальском регионах. В основном это смешанные углесланцевые месторождения. Структурно-геологические условия указанных регионов весьма благоприятны для открытия промышленных месторождений горючих сланцев, как типично сланцевых, так и углесланцевых. Прирост запасов горючих сланцев прежде всего возможен за счет Волжского бассейна, где известно наибольшее количество месторождений, детально не разведанных. Сланценосная толща распространена на огромной площади, где встречаются многочисленные месторождения горючих сланцев, от Каспия до Ухты. Прирост запасов возможен и в Прибалтийском бассейне. Выявлено новое Тапасское месторождение в Эстонии. Установлено продолжение сланценосной толщи в сторону Чудова, Гатчины, Луги, Бабино.

Горючие сланцы по условиям образования имеют различную качественную характеристику. Одни богаты ОВ (свыше 30%), другие бедны им. Теплота сгорания основного количества сланцев известных месторождений и бассейнов 6280—8373 кДж/кг, что соответствует массе ОВ 15—25%. Сланцы, богатые ОВ, составляют не более 10% от общего количества известных месторождений. Следовательно, в перспективе развитие сланцевой промышленности должно идти в основном за счет горючих сланцев (необогащенных) с теплотой сгорания в пределах 6280—8373 кДж/кг. Повышение качества сланцев возможно только за счет механического обогащения. Этот фактор приходится учитывать при планировании добычи и переработке горючих сланцев. В США уже в современных условиях считается экономически оправданной разработка горючих сланцев бассейна Грин-Ривер с выходом смолы 4—15, в среднем 6—8% на сланец. Добыча горючих сланцев такого качества экономически эффективна при условии применения комплексной безотходной технологии переработки, т. е. полного использования ОВ и сопутствующих минеральных компонентов. В интересах обеспечения широкого использования такого типа горючих сланцев потребуется разработка более эффективных технологических процессов по сравнению с действующими. Известные современные технологические процессы малопроизводительные, допускают большие потери ОВ, а главное, не обеспечивают использование минеральной части, т. е. отсутствует единый совмещенный процесс переработки в одном и том же агрегате ОВ и минеральной массы.

ПЕРЕРАБОТКА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Переработка горючих сланцев началась давно. Однако до сих пор не выработаны какие-то общие, явно целесообразные технологические приемы переработки, не созданы единые принципы типов промышленных аппаратов с учетом свойств и качества сланцев.

Наступивший в 70-х годах энергетический кризис вызвал повышенный интерес к сланцам со стороны различных нефтяных фирм и государственных организаций США, Бразилии, ЮАР, Египта и др. Появилась исключительно обширная, главным образом экономическая и патентная, литература, в которой рассматриваются преимущественно прогнозные вопросы, почти без всяких технических описаний и деталей. В данной работе приводится описание только тех предложений, которые носят более или менее законченный характер и технологически опробованы.

Горючие сланцы — трудное по своей природе технологическое сырье. Извлечение органической составляющей сегодня возможно только за счет термической переработки сланца, которая понимается как нагревание сырья до тех температур, когда происходит полная деструкция керогена, причем одна часть керогена превращается в кокс, другая — в летучие вещества (смолу, газ), которые за счет физической конденсации разделяются и используются раздельно. Этот простой принцип переработки может осуществляться весьма различными методами, выбор которых определяется свойствами исходного сырья.

1. Нагреванию подвергается не только кероген, но и минеральная составляющая горючих сланцев. Известно, что чем больше этой части, тем больше тратится на ее нагрев тепла и, следовательно, существует какая-то граница содержания минеральной составляющей, выше которой переработка сланца становится экономически неоправданной из-за некомпенсированных расходов тепла. Установление этой границы делит горючие сланцы на две группы: непосредственно пригодных для переработки в существующих условиях современной техники и экономики и резервных, очередь которых для использования еще не дошла и, более того, еще не ясна перспектива их переработки в будущем. Таким образом, потенциальные запасы горючих сланцев должны рассматриваться с этой точки зрения. К сожалению, современные сведения о ресурсах сланцев не имеют показателя их пригодности для переработки в существующих условиях, это порождает необъективный или необоснованный подход к подсчетам запасов горючих сланцев. Одновременно степень неорганической минерализации горючих сланцев существенным образом влияет и на выбор методов их переработки термическим способом. Таким образом, эта сторона дела является одной из причин многообразия в области сланцепереработки.

Существуют методы обогащения горючих сланцев, в том числе и такие, при которых содержание органической части может быть доведено до 90% и выше. В этом случае мы имеем дело уже с совершенно новым видом сырья, для которого требуются свои технологические решения.

2. Вторым решающим обстоятельством является гранулометрический состав сырья. В зависимости от техники добычи сланца сырая масса добытого материала весьма разнообразна по размеру кусков — от тончайшей пыли до крупных многокилограммовых кусков. Не требует пояснения положение, что переработка такой сырой массы в целом в одном агрегате невозможна по теплотехниче-

ским и гидравлическим причинам. Любое сланцеперерабатывающее предприятие включает в состав своих агрегатов также и установки по предварительной обработке сырья (дробление — рассев — отбор гранулометрических фракций сырья). Естественно, что в процессе обработки сырья немалую заботу вызывает не столько сама подготовка сырья, сколько целесообразность использования сырьевых фракций, не входящих в объект переработки в основном технологическом процессе. Вопрос об использовании той или иной гранулометрической фракции сырья в большинстве случаев определяет подбор технологических методов переработки сланцев. В этом вопросе видна определенная историческая последовательность. В прошлом в основном перерабатывался кусок средних размеров 25—125 мм с большим количеством мелочи, направляемой в отвал или в топки электростанций. В настоящее время продолжаются попытки решить проблему комплексной переработки валовой выемки горной массы, включая крупный и мелкий сланец. Однако следует указать, что если для кускового сланца существует богатый промышленный опыт (СССР, КНР, Шотландия), то переработка мелких фракций, которая рассматривается как более перспективное направление, еще находится в стадии эксперимента.

3. Цели переработки определяют и подбор технологии, что видно из промышленного опыта. Эстонский опыт 30—40-х годов был нацелен на производство жидкого топлива, это и определило технологию — туннельные печи и сланцеперегонные генераторы. В 40—50-х годах основная задача переработки этих же горючих сланцев Прибалтики была переориентирована на производство газа как топлива. Была применена совершенно другая технология. В настоящее время вновь возник вопрос о производстве жидкого топлива.

Возможны и другие цели переработки, например использование минеральной составляющей, извлечение ценных сопутствующих компонентов, производство медицинских препаратов и др. В каждом из этих случаев появляются соответствующие технологические решения. И в настоящее время, и в будущем наиболее важными целями являются и будут являться производство жидкого топлива взамен нефти и производство отопительного газа. Видимо, в этом направлении и будут выработаны общеотраслевые принципы переработки горючих сланцев.

4. На технологию переработки горючих сланцев существенно влияют масштабы производства. Существуют способы, хорошо решающие переработку с высоким химическим и тепловым к. п. д., однако при увеличении масштабов переработки труднее развивать такую технологию. Например, в 30—40-х годах были выдвинуты и хорошо освоены туннельные печи, реторты Давидсона. Ценность этих агрегатов заключалась в высоких выходах смолы (почти равных лабораторным выходам), практически полном использовании всех фракций добытого сланца, хороших теплотехнических балансах, высоких качествах смолы и газа. Однако эти способы в наше время уже не могут быть использованы, так как одиночная производительность агрегатов мала и при больших размерах производства явно нецелесообразна (сотни или тысячи агрегатов на одном предприятии).

5. Генетический тип сланца также в значительной степени влияет на выбор технологии. Так, например, ордовикские сланцы Прибалтийского бассейна с высоким выходом летучих, с высоким содержанием кислородных соединений потребовали для переработки своеобразной технологии и техники. Юрские сланцы Волжского и других бассейнов, с малым процентом выхода летучих на кероген, сернистые, дающие высокосернистые смолы, не подходят для переработки в агрегатах, приспособленных для прибалтийских сланцев. Парафинистые сланцы СССР, США, Шотландии, Австрии кембрия, силура, юры также нуждаются в специфической технологии. Опыт переработки сланцев показывает, что для каждого отдельного генетического типа сланцев вырабатывается своя технология.

Все эти общие соображения говорят о многовариантности технологии переработки горючих сланцев. Следовало бы классифицировать наиболее признанные технологические приемы и рассмотреть их в соответствии с этой классификацией (табл. 97).

Описать все методы переработки сланцев невозможно. Ниже приводится описание только наиболее интересных исторически и перспективных.

Таблица 97. **Классификация технологических приемов переработки горючих сланцев**

Сланец	Технологические приемы	Направление движения	
		слоя	теплоносителя
Газообразный теплоноситель			
Рядовой или кусковой	Реторты с подвижным слоем		
	а	↓	↑
	б	↓	→
	в	↓	↓
	г	↓	—
	Реторты с неподвижным слоем		
	а	—	↓
	б	—	↑
	в	—	—
Сланцевая мелочь	а	↓	↑
	б	↑	↑
	в	→	→
Твердый теплоноситель			
Рядовой сланец	Теплоноситель — сланцевая зола	↓	↓
	Теплоноситель специальный	↓	↓

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Реторты. Этот тип перерабатывающих аппаратов имеет только историческое значение. Основные недостатки — малая производительность и внешний, через металлическую стенку, обогрев. Этот тип сланцеперерабатывающих устройств вырос на опыте каменноугольных газовых заводов, где, правда, применялись реторты горизонтальные и огнеупорные из-за высоких температур газификации. Техника газовых реторт — отвод газа, холодильные аппараты, загрузка — была широко использована в первых шотландских ретортах «Памферстон». Эти реторты — уже значительный шаг вперед по сравнению с примитивными угольными газовыми заводами. Расположение реторт, собранных в блоки, вертикальное, загрузка и выгрузка практически непрерывная — отдельными порциями. Сланец поступает сверху вниз, обогрев — через стенки. Реторты чугунные, производительность 8—12 т/сут.

Реторты «Памферстон» были первой конструкцией, которая получила всеобщее признание и большое распространение во многих странах, в том числе и в СССР. Начальная производительность по сланцу — 4 т/сут. Реторты имеют общие загрузочные и разгрузочные устройства. Обогрев внешний. Реторты группировались в пачки до 64 шт. в одном агрегате. Совершенствование реторт позволило увеличить их производительность до 16 т/сут. В Шотландии реторты работали с 1913 по 1952 г. Сланцеперегонные заводы в г. Осташково, а потом и в г. Кашпир применяли эти реторты еще до Великой Отечественной войны. В ретортах шотландского типа были

изучены и освоены процессы полукоксования горючих сланцев. Этот опыт имеет значение еще и в настоящее время.

Интересна по замыслу реторта Давидсона. Она была обстоятельно опробована для прибалтийского сланца в Эстонии. Еще в 30-х годах было построено несколько реторт, которые успешно функционировали до 50-х годов. Производительность реторт 25—50 т/сут. Использовался сланец рядовой с выходом смолы до 25% на сухой сланец. Реторты Давидсона давали лучшую по качеству сланцевую смолу с максимальным по сравнению с другими агрегатным выходом.

Туннельные печи. Наиболее интересными по переработке сланцев являлись туннельные печи. Эти достаточно мощные агрегаты производительностью до 500 т/сут работали на довольно широких гранулометрических фракциях, практически используя весь добытый сланец. Туннельные печи вобрали в себя весь накопленный опыт переработки горючих сланцев в прошлом. Следует признать, что туннельные печи подходят ко всем случаям переработки. Конструкция печей, их принципы работы могут подойти к любому типу сланцев и к любому гранулометрическому составу. Имея несколько печей, можно комбинировать и подбирать режимы для всевозможных случаев переработки. Тем не менее этот метод не удержался в перспективных по целому ряду причин.

Туннельные печи впервые спроектированы в начале 20-х годов в Эстонии. В 1927 г. работала опытная печь. В 1930—1937 гг. в Эстонии (Кивиыли) функционировали четыре туннельные печи 250—350 т/сут каждая. В 1956 г. пущен новый цех (Кохтла-Ярве). Мощность печей до 370 т/сут. Всего в туннельной печи 21 место для вагонеток. Выход смолы на сухой сланец (прибалтийский) — 21%, химический к. п. д. процесса 85%. Электроемкость туннельных печей остается во всех случаях чрезмерно высокой, в то время как другие методы, имея уже лучшие экономические показатели, продолжают развиваться и совершенствоваться за счет простоты обслуживания, меньших затрат на энергию и т. д.

Шахтные генераторы. Зародились на базе широко распространенных газогенераторов — агрегатов для производства низкокалорийного отопительного газа. Сочетание газогенератора с шахтой полукоксования оказалось весьма плодотворным для переработки сланцев. В шахте полукоксования за счет тепла газогенераторного газа, идущего на шахты газификации полукокса, в свою очередь поступающего из шахты полукоксования, происходит деструкция керогена. Таким образом, при очень простом конструктивном решении используется тепло сжигания углерода полукокса, с сохранением физического тепла нагретой минеральной части, на частичный подогрев воздуха в шахте газификации. Первые генераторы были предложены немецкой фирмой «Пинч» еще в 20-х годах. Эти агрегаты сразу получили признание в СССР, КНР и других странах и стали вытеснять все другие конструкции.

На рис. 42 представлены генераторы, изготовленные фирмой «Пинч» для Эстонии (Кохтла-Ярве) в 1925 г. Подача воздуха — за счет разрежения на выходе продуктов полукоксования. Производительность 35 т/сут. Материал генератора — кладка огнеупорная в стальном кожухе. Между шахтами полукоксования и газификации — пережим для регулирования подачи теплоносителя на шахты газификации и в шахту полукоксования. Вращающийся поддон, на который беспрерывно поступает из шахты полукоксования зола («огарок»), заполнен водой и разгружается в вагонетки. Газы полукоксования и пары смолы, разбавленные газом газификации, следуют в систему конденсации. Аналогичные конденсаторы были поставлены в Китай (Фушунь). Одновременно в СССР началось проектирование и строительство аналогичных генераторов для Кашпирского сланцеперегонного завода (Союзсланец).

За последние годы промышленные шахтные печи претерпели значительные изменения. Современные принципы их работы значительно отличаются от первоначальных. На основе опыта работы маломощных генераторов для Кохтла-Ярве был спроектирован газогенератор мощностью 100 т/сут (рис. 42). Он имел более мощную шахту газификации и регулярный ввод теплоносителя не только через суженное сечение пережима между шахтами полукоксования и газификации, но также через обводные каналы, что ясно видно из схем генераторов (рис. 42). Всякое расширение диаметра шахт круглого сечения, неизбежное при увеличении их мощности, влекло за собой труд-

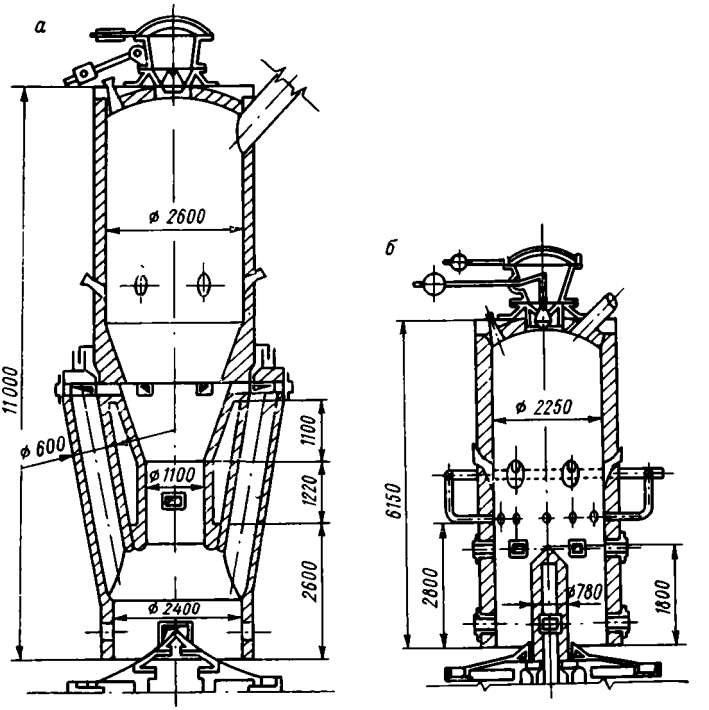


Рис. 42. Генераторы.

а — пережимные, типа «Пинч»; *б* — цилиндрические, типа «Кохтла-Ярве».

ности при равномерном распределении теплоносителя в шахте полукоксования и правильном сходе сверху вниз сланца. Сначала это потребовало всяких обводных ходов для теплоносителя, ввода его в центр шахты и т. п., но и эти мероприятия только частично решали задачу. Конечно, мощности новых конструкций были явно недостаточны (около 100 т/сут) для предполагаемых объемов переработки горючих сланцев — миллионы или десятки миллионов тонн в год. Работами специалистов Сланцеперерабатывающего комбината им. В. И. Ленина были выдвинуты принципиальные изменения в конструкции генераторов. Вместо шахты полукоксования круглого сечения вверху генераторов стали встраивать коробки прямоугольного сечения, и равномерно через весь движущийся слой проходил поток теплоносителя.

Такая реконструкция резко увеличила производительность. Генераторы в новом решении давали уже 200 т/сут, а старые 35-тонные генераторы «Пинч» также удвоили свою производительность. Стало очевидным, что круглое сечение генераторов смолы — анахронизм, связанный с классической формой угольных газогенераторов. Для генераторов сланцевой смолы необходимы квадратные шахты, где сход сланца и распределение теплоносителя обеспечиваются равномерно при любой их мощности. Очевидно также, что и шахта газификации в процессе полукоксования сланцев играет другую роль — не газогенератора, а обычной топки. В настоящее время созданы генераторы производительностью до 1000 т/сут, уже полностью оторвавшиеся от внешнего вида и предельной мощности своего прародителя — шахтного газогенератора круглого сечения. Генераторы такого типа не ограничены производительностью 1000 т/сут. Уже сейчас планируются аппараты 3000 и, возможно, 10 000 т/сут. Следует считать,

что для переработки кускового сланца подобные генераторы являются лучшими среди существующих сейчас.

Шахтный генератор является наиболее перспективным агрегатом для развития основного направления сланцеперерабатывающей промышленности — получения жидкого топлива, тем более что наряду с целевым продуктом — смолой — в генераторах получается 1000 м³/т газообразного топлива (около 10% в расчете на исходное потенциальное тепло), что вполне обеспечивает энергетические потребности предприятий по переработке горючих сланцев.

Однако генераторы не решают другой неизбежно возникающей проблемы: использование сланцевой мелочи и минеральной массы сланцев. Даже в самых оптимальных условиях подбора гранулометрического состава для переработки в газогенераторах более 50% добытых из недр сланцев нельзя переработать с помощью существующей в настоящее время техники полукоксования топлив. До сих пор мелочь используется как топливо для электростанций, что является вынужденным решением. При сжигании таких топлив образуются огромное количество пыли, засоряющей атмосферу, и плавкие шлаки, затрудняющие работу тепловых установок. При современных требованиях по экологии использовать горючие сланцы в этом направлении нецелесообразно. Следовательно, создание технологического процесса комплексной переработки сланцев валовой выемки является единственно правильным решением проблемы.

Появление в технологических схемах современной химии процессов «кипящего» и «псевдоожиженного» слоев повлекло за собой многочисленные исследования по применению аналогичных методов переработки мелкозернистого сланца. В этих случаях в качестве теплоносителей применялись либо горючие топочные газы, либо чаще всего воздух — активный компонент газификации и сжигания части сланца в слое теплоносителя в целях их полукоксования. Все эти многочисленные исследования и испытания на полупромышленных установках не получили дальнейшего развития, слишком очевидно было их несоответствие задачам переработки сырья (бедного по содержанию углерода) теплоносителем (бедным по содержанию кислорода). В этих условиях мелкие фракции горючего сланца переходили в поток теплоносителя, унося с собой и образовавшуюся при этом смолу. Дальнейшее разделение их было невозможно, и сам процесс был не оправдан. Переработка же сланцевой мелочи на газ при повышенных температурах (чистая газификация) дает бедный и очень запыленный газ.

Процесс переработки мелкозернистого сланца интересен не только с точки зрения использования отходов добычи сланцев, но и по принципиальным возможностям организации высокоинтенсивных производственных процессов. Для нагрева и разложения мелкозернистого сланца требуется всего несколько минут, а для кускового — 150—400 мин.

Были предложены методы переработки не с газообразным, а с твердым теплоносителем. В этом случае тепло концентрируется в небольшом по объему количестве теплоносителя, падают скорости движения газового потока, создаются условия полного отделения продуктов разложения от теплоносителя.

В настоящее время достаточно полно в литературе освещены две принципиально различные схемы: а) теплоноситель — раскаленная сланцевая минеральная часть (зола); б) теплоноситель — нагретые вне процесса специально изготовленные прочные тела (например, керамические шары). По первой схеме в СССР разработаны методы Энергетического института им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН) и Всесоюзного научно-исследовательского института по переработке нефти (ВНИИНП) [1, с. 401—407].

Метод ЭНИН был осуществлен в 1950 г. на пилотной установке производительностью 2,4 т/сут в г. Таллине. В 1953—1962 гг. на сланцехимическом комбинате «Кивиыли» эксплуатируется полупромышленная установка мощностью по сланцу 200 т/сут (УТТ-200). В 1962 г. начала функционировать установка УТТ-500 производительностью 500 т/сут. Это уже достаточно мощный агрегат для всесторонних испытаний. В 1980 г. пущен первый промышленный агрегат на Прибалтийской ГРЭС мощностью 1000 т/сут.

Решающим показателем процесса является температура смеси в реакторе. Повышение или понижение температуры в реакторе может быть достигнуто соотношением теплоноситель — зола или форсированием подогрева теплоносителя в аэрофонтанной топке. Так, были раз-

работаны «смоляной» и «газовый» режимы. Выяснилось, что форсировать подогрев теплоносителя можно только в пределах 100—150° С, поэтому основным способом изменения режима является соотношение теплоносителя и сланца. Основной смоляной режим проводится при температуре 480—485° С. Кроме того, серьезным препятствием для форсирования температур в топке является шлакование теплоносителя, что практически начинается уже при 850° С, в то время как при температуре ниже 750° С снижается выжигание углерода в полукоксе, что ведет к ухудшению к. п. д. процесса в целом.

Метод ЭНИН весьма привлекателен по своим принципам. Это обеспечило ему широкое признание и интерес со стороны в первую очередь энергетиков и технологов. В самом деле, с применением малопригодных мелких фракций горючих сланцев для сжигания топливные энергетические установки получают жидкое топливо (сланцевую смолу) и газообразное топливо как продукт их низкотермического разложения (полукоксование), что исключает трудности, связанные со сжиганием мелкозернистого сланца. Это в случае чисто энергетического направления использования сланца.

Другой вариант — смола следует на переработку, а газовая составляющая процесса — на цели энергетики. Возможности процесса исключительно благоприятны. Однако реализацию этих возможностей тормозят трудноустранимые недостатки процесса: короткий эксплуатационный пробег — не более 30 дней с длительной остановкой на чистку, запыленные продукты, низкий уровень выжига углерода из золы.

Одновременно со схемой ЭНИН была опробована аналогичная по принципу схема ВНИИНП. В 1957 г. сооружена полупромышленная установка производительностью 50 т/сут. Схема ВНИИНП предназначена главным образом для работы по газовому режиму. На испытанных режимах были получены в основном легкая смола + газовый бензин 5—5,5 м³/т. Тяжелая смола с содержанием пыли до 25% возвращается на пиролиз. В газе содержится до 33% олефинов, что открывает большие возможности для химического использования такого газа. Следовательно, процесс ВНИИНП в его испытанной форме представляет собой частный случай сланцепереработки, и его возможности как базового процесса энерготехнологии или метода производства смолы не рассматривались. Более подробно схемы переработки прибалтийских сланцев рассмотрены Н. И. Зеленины м в монографии [77].

В настоящее время в мировой практике приводится описание нескольких схем переработки горючих сланцев. В ФРГ процесс Лурги-Газ (рис. 45) разработан для полукоксования топлив, содержащих летучие продукты, бурые угли, битуминозные угли, горючие сланцы. Установка может быть использована и для пиролиза нефтепродуктов. Процесс осуществлен в Югославии в промышленных масштабах. В ФРГ на установке производительностью 16 т/сут были опробованы сланцы США с целью получения смолы и газа. Выходы смолы превосходили выходы на лабораторной установке.

Сущность метода близка к схеме ЭНИН и ВНИИНП СССР. Вместо вращающейся реторты или шахты в описанных схемах в методе Лурги-Газ применяют шнековый транспортер, где сланец смешивается с горячим песком, сланцевой золой или коксом. Шнек герметизирован. Нагрев теплоносителя осуществляется в восходящей топке. Все другие технологические узлы подобны установке ЭНИН.

В США разработка технологических приемов переработки горючих сланцев в широких масштабах началась еще в 30-х годах. После второй мировой войны эти работы были развернуты преимущественно в учреждениях Горного бюро США, так как практически все месторождения горючих сланцев на территории США были объявлены государственным резервом. Горное бюро на выделенные государством средства создало несколько опытных организаций, которые успешно разработали системы выемки пластов и переработки извлеченного сланца. Однако если в отношении горных разработок были достигнуты результаты, достаточные для организации крупных промышленных предприятий, то в области переработки дело не продвинулось дальше опытных маломощных установок.

В 60-х годах месторождения горючих сланцев были изъяты из государственного резерва и частные фирмы, главным образом нефтяные, получили доступ к месторождениям. Этими фирмами были разработаны и осуществлены проекты

использования горючих сланцев в опытно-промышленном масштабе. Был получен обширный экспериментальный материал, широко освещенный в литературе.

Процесс Тоско практически представляет собой видоизменение разработанной в СССР схемы ЭНИН. Видоизменение заключается во введении в процесс теплоносителя в виде нагретых до 650° С керамических шаров диаметром 12 мм. Разогрев шаров проводится в специальной топке за счет горения газа полукоксования горючих сланцев. Схема Тоско опробована в 1957 г. в Денвере (штат Колорадо) на пилотной установке производительностью 24 т/сут. В последующем была спроектирована и построена установка мощностью 1000 т/сут, на которой и были отработаны основные режимы работы и получены данные для проектирования завода мощностью 66 тыс. т/сут. О планах развития этого метода ничего не известно [1, с. 431—440].

Газосжигательный процесс. Если схема Тоско является модификацией схемы ЭНИН, то газосжигательная схема является модификацией советских смоляных генераторов, применяемых на комбинате в г. Кохтла-Ярве. Если советские генераторы работают на определенной фракции по крупности сланца, то газосжигательные реторты потребляют рядовой раздробленный сланец. В американской литературе указано, что прообразом газосжигательных реторт явились реторты известково-обжигательных печей. Особенностью схемы является также применение газовых горелок для изготовления теплоносителя. В качестве горючего для этой цели служит смесь газа полукоксования сланцев с дымовыми газами газовых горелок. В качестве теплоносителя служат также дымовые газы дожигания углерода полукоксования в нижней части реторты.

Газосжигательная схема оправданна в опытно-промышленном масштабе. На установке в г. Райфа (штат Колорадо) были проведены, как пишут американские авторы, «испытательные пробеги» длительностью до 32 сут. Выход смолы 98% от выхода на лабораторной реторте, выход газа 24 м³/т. Имеются два проектных варианта: один со сжиганием газа в слое сланца с одновременным выжиганием углерода и второй — за счет циркуляции теплоносителя [1, с. 294—302]. Испытана установка различной производительности — от 6 до 150 т/сут, что показало достаточно успешную работу агрегата. Правда, рядовой сланец не перерабатывался, однако при минимальном размере куска 3,2 мм установка работала успешно. Видимо, будущее за газосжигательным процессом.

Схема процесса «Юнион-Ойл» является оригинальной и не имеет аналогов в практике какой-либо страны. Это единственная схема, где подача сланца идет снизу вверх, а теплоноситель — сверху вниз. Раскаленная зола разгружается сверху, а проходящий через нее воздух нагревается сначала за счет тепла золы, а затем за счет дожига углерода в полукоксе. Эта «перевернутая» схема процесса интересна, но, к сожалению, публикации о ней очень скромны и не дают возможности оценить процесс. Известно, что схема предложена в начале 50-х годов, неоднократно испытывалась, в том числе на установке 1200 т/сут. Основой установки является оригинальное подающее устройство поршневого типа «рокпамп».

Кроме СССР, США, КНР переработку сланца начала также Бразилия. Здесь эксплуатируется схема «Петросикс», разработанная американскими фирмами. С 1970 г. функционирует ряд установок «Петросикс», в том числе полупромышленная установка мощностью 2200 т/сут сланцев месторождения Ирати [1, с. 303—310].

Установка «Петросикс» содержит те же узлы, что установки газосжигательного процесса. Характерной особенностью процесса является разделение подогрева теплоносителя и процесса полукоксования. Газ или другие теплообразователи сжижаются в специальных горелках и затем распределяются по реторте, где сланец за счет естественного схода опускается сверху вниз реторты. Теплоноситель подводят в реторту хорошо подогретым и с определенной температурой, что исключает перегревы и образование спекшихся глыб и шлаковых пробок. Сланец измельчают до 15 см и применяют целиком. Для загрузки используют трубневый питатель, разработанный и запатентованный специально для описываемой установки.

Прошло более 15 лет после начала работ по испытанию схемы «Петросикс», однако сведений о развитии промышленности на его основе нет.

В КНР существует довольно значительная по объему сланцеперерабатывающая промышленность, использующая сланцы месторождения Фушунь. Сланец залегает пластами совместно с каменным углем, добыча которого связана с выемкой сланцевых пластов. Переработка сланцев организована еще до второй мировой войны японцами. После войны, с помощью специалистов из СССР, заводы были восстановлены и функционируют по настоящее время. Основное оборудование в Фушуне было поставлено еще до второй мировой войны немецкой фирмой «Пинч», аналогичное оборудованию, которое эта фирма поставляла до 1940 г. в Эстонию. В КНР вырабатывалась сланцевая смола, которая применялась как жидкое топливо. Генераторный газ использовался внутри предприятия для собственных нужд.

Подземная газификация сланцев. Большой интерес представляют попытки подземной переработки горючих сланцев. В истории слакцепереработки известны опыты в этом направлении, например в Швеции переработка сланцев за счет электрообогрева (метод Люнгстрема), многократные опыты в СССР (площадка Кивиыли) и др. Все эти опыты имели только отрицательный результат, главным образом из-за низкого к. п. д. процессов, неоправданных затрат на подготовку подземных устройств переработки и проницаемости покрывающих пластов. В США, где у большинства месторождений горючих сланцев нулевая газопроницаемость сланцевого целика, проблема эта может быть решена.

Идея переработки сланца в слое весьма привлекательна. В этом случае нет необходимости извлекать из недр зольные компоненты сланца, особенно если их состав не позволяет квалифицированно их использовать. Отпадает большой объем горных, практически бесполезных работ. Сланцевые месторождения работают как нефтяная скважина. К сожалению, как это упомянуто, большой опыт такой переработки в условиях прибалтийских сланцев был совершенно бесполезным. Сланцы залегают относительно неглубоко, и прикрывающие их породы не герметичны. Идея эта после долгих бесполезных усилий была окончательно отброшена.

Однако в других случаях такая переработка может быть удачной. В месторождениях Грин-Ривер имеются пласты сланца мощностью более 600 м с покрытием породами толщиной 300 м. Были рассмотрены возможности подземной переработки этих мощных пластов. Были проведены эксперименты по разрыву пласта электрическим током. В скважины, разделенные слоями 1—40 м, введены электроды. Во всех случаях образовались трещины. Напряжение 34 500 В. Сопротивление 100 кОм.

Для разрыва пластов сланца были предложены также взрывчатые вещества, как химические, так и ядерные. Однако эксперименты по термическому разложению сланца производились не в слое, а в специальной реторте на поверхности. В США был также предложен способ переработки сланцев с использованием ядерных взрывов [1, с. 338—368]. Ядерные заряды для подземных взрывов выпускаются различной мощности (табл. 98). Диаметры их относительно невелики, что облегчает бурение соответствующих скважин и закладку заряда.

Таблица 98. Стоимость ядерных зарядов

Мощность взрыва, т	Диаметр, см	Стоимость, тыс. дол.
10	30,5	350
50	30,5	400
100	40,6	460
250	40,6	500
500	40,6	535
1000	61	570
2000	61	600

Успешному применению ядерного взрыва для подземной переработки должны сопутствовать некоторые условия: неглубокое залегание пластов сланца (бурение глубоких скважин для ядерных взрывов сопряжено с трудностями), но и не слишком близкое к поверхности (чтобы перекрывающие породы могли выдержать ударную силу взрыва и не повлечь за собой обрушений). Кроме того, мощность пластов должна быть весьма значительной и формации не должны содержать водоносных горизонтов. Всем этим требованиям прежде всего отвечает месторождение Грин-Ривер.

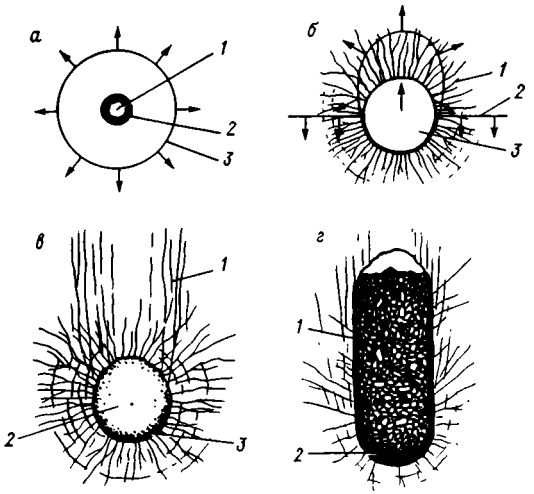


Рис. 43. Процесс образования полости и трубки закрытого ядерного взрыва [1, с. 358—368].

а — 3 мс: *1* — испарившаяся порода, *2* — расплавленная порода, *3* — сильно сжимающая ударная волна; *б* — 300 мс: *1* — открытые разрывы, *2* — обратная ударная волна (отраженная от поверхности земли), *3* — расширившаяся полость (сдвинута к поверхности земли); *в* — 3 с: *1* — зона сдвига (результат преобладающего толчка вверх), *2* — полость неустойчива, *3* — накопление разрушенной породы и расплава; *г* — окончательная конфигурация: *1* — трубка взрыва (после обвала полости), *2* — затвердевшая постель.

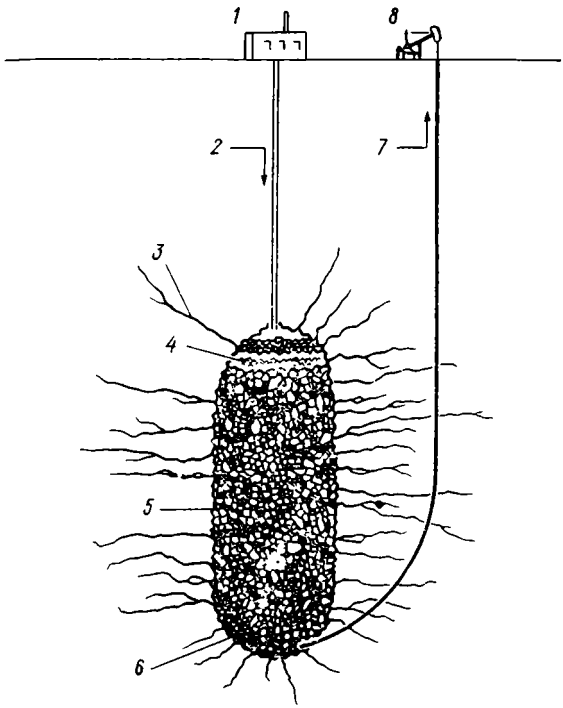


Рис. 44. Подземная перегонка сланца.

1 — компрессорная; *2* — поток воздуха; *3* — трещины; *4* — горение; *5* — разрушенная в трубке взрыва порода; *6* — смола; *7* — поток смолы; *8* — насос для смолы.

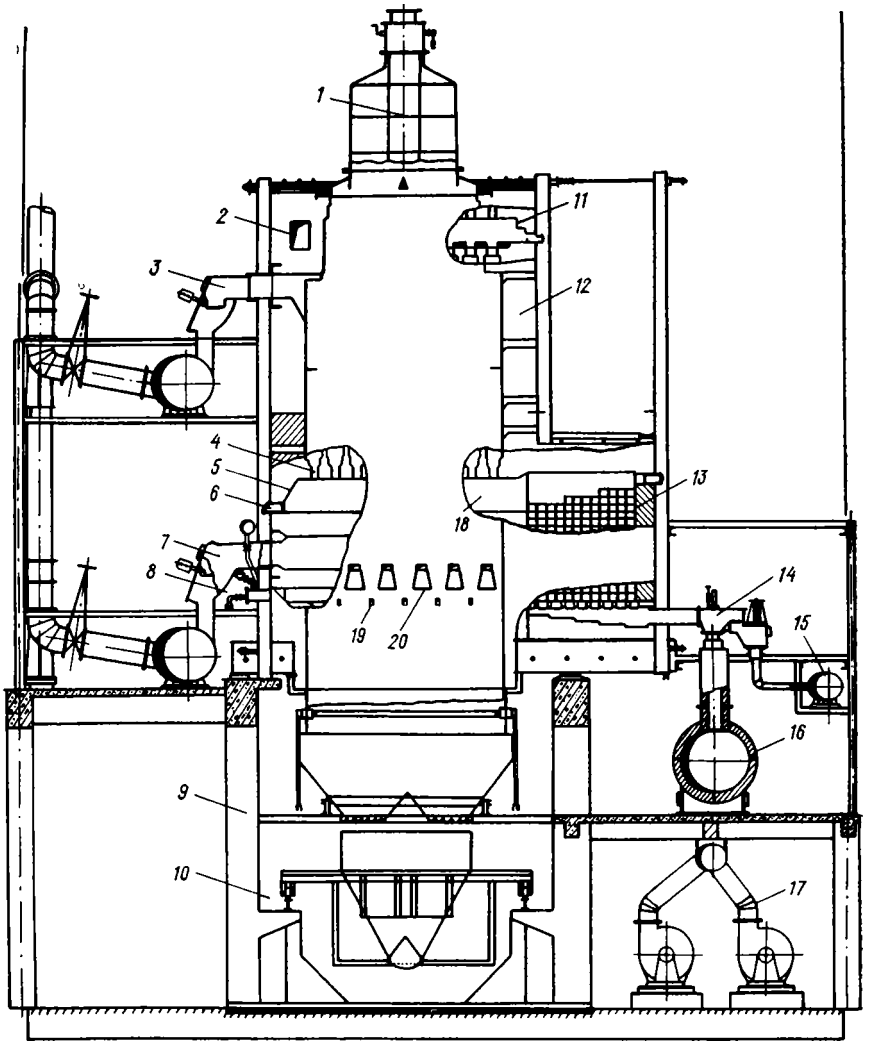


Рис. 45. Камерная печь типа VIII.

1 — загрузочное устройство, гидрозатвор и бункер; *2* — отводный дымовой канал; *3* — верхний газоотвод; *4* — вертикальные огневые каналы; *5* — распределительный канал; *6* — газосборочный канал; *7* — газоотвод; *8* — ввод пара, воздуха или кислорода; *9* — экстрактор; *10* — стол камеры; *11* — верхний дымовой канал; *12* — камера; *13* — регенератор; *14* — газовоздушный канал; *15* — коллектор отопительного газа; *16* — боров; *17* — воздушный вентилятор; *18* — газовые каналы; *19* — дутьевой коллектор; *20* — дутьевые каналы.

Последовательность явлений, протекающих при подземном ядерном взрыве, примерно следующая (рис. 43). В момент взрыва происходят испарение, плавление и дробление горной массы с образованием сферической каверны, радиус которой зависит от мощности взрыва и характера породы. После некоторого промежутка времени (от нескольких секунд до нескольких часов) кровля каверны обрушивается. При этом образуется цилиндрический вертикаль-

ный канал, заполненный дробленым сланцем.

В случае взрыва заряда мощностью 250 тыс. т на глубине 600 м (из которых около 300 м приходится на сланец) высота вертикального канала составит 300, диаметр 120 м, количество раздробленной породы 9—11 млн. т. Гранулометрический состав раздробленной массы благоприятен для переработки: 70% кусков имеют диаметр меньше 300 мм.

Вертикальный канал с раздробленной массой окружен растрескавшимся сланцем, который также может быть подвергнут газификации. Проницаемость его достаточно велика. С учетом этого сланца общее количество раздробленной массы составит 20 млн. т.

90—95% энергии взрыва выделяется в виде тепла. В первые месяцы температура в центре взрыва значительно превышает температуру в периферической зоне. Затем она выравнивается и через 11 месяцев после взрыва составляет 40—90° С. После этого подземная реторта готова к разработке. По своему действию (рис. 44) она аналогична газосжигательной реторте. Количество смолы, которое может быть из нее получено, составляет (с учетом использования растрескавшегося сланца «стенок» реторты) 710 тыс. м³.

Наиболее целесообразной для промышленной разработки представляется следующая американская схема [1, с. 338—347]. Район разделяют на участки несколько менее 2 км², каждый из которых рассматривается как самостоятельная технологическая единица. На каждом участке производят 20 ядерных взрывов. Таким образом получаются четыре группы по пять реторт, причем разработке подвергаются не только сами реторты с раздробленной массой, но и находящийся между ними разрыхленный сланец. В результате в пределах одного района планируется получение 24 млн. м³ смолы в год (16 тыс. м³/сут) в течение 4 лет (выход смолы 50% от теоретического). Метод применим и для более бедных сланцев, чем колорадские.

К числу проблем, могущих осложнить воплощение этого проекта, относятся радиация и сейсмические толчки.

Все рассмотренные выше способы переработки горючих сланцев предусматривали только одно направление: получение смолы — заменителя нефти. В то же время в широком плане горючие сланцы — энергетическое сырье и как таковые должны быть использованы и по другим направлениям. Одно из таких направлений — производство газов для энергетического использования. Любой метод термической переработки сланцев связан с получением горючих газов, поэтому любой метод производства смолы является одновременно и методом производства газа.

Следует сказать и о специальных методах производства газа из сланцев как целевого процесса. Еще до Великой Отечественной войны в СССР был разработан процесс производства бытового газа для газоснабжения городов. Этот метод был реализован в 1948 г. на двух крупных предприятиях — в ЭССР (Кохтла-Ярве) и в Ленинградской области (г. Сланцы). Метод камерных печей, разработанный В. И. Жунко, С. Л. Загладиным и М. И. Подклетновым, основан на нагревании непрерывно движущегося сверху вниз сланца крупностью 25—125 мм в специальных камерных печах, объединенных в батареи и блоки аналогично коксовым печам. Обогрев внешний. Конструкция печей, система обогрева аналогичны коксовым печам. Основное отличие камерных печей от коксовых — непрерывность работы [1, с. 327—335].

Конструкция печей приведена на рис. 45. Коксование сланца происходит в камере, высота которой около 10, длина 4, ширина вверху 4,6, внизу 5,1 м. Обогревательные простенки разделены на девять вертикальных каналов, в которых горит газ, полученный в сланцевых генераторных установках. Таким образом, камерные печи и сланцевые смоляные генераторы составляют единый комплекс. Камеры объединены в батареи, в каждой батарее 23 камеры. Две батареи составляют полублок, являющийся самостоятельной единицей. Два полублока объединяются в блоке, имеющем общий бункер сланца и приемные питатели коксозольного остатка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горючие сланцы встречаются на всех континентах земного шара, занимая в отдельных районах обширные площади. Общие мировые потенциальные запасы сланцевой смолы во много раз превышают запасы нефти.

Образование горючих сланцев происходило во все геологические периоды развития нашей планеты — от кембрия до современных условий, иногда более, иногда менее интенсивно.

Горючие сланцы — это самостоятельная ветвь класса каустобиолитов, керогенсодержащая порода, которая по природе образования отлична от всех известных твердых горючих ископаемых. Исходным веществом образования горючих сланцев в основном служили водоросли, подвергнутые биохимическому преобразованию бактериями в аэробных и анаэробных условиях. В зависимости от примесей гумусового вещества горючие сланцы разделяются на три основных класса: сапропелевые (преимущественно керогеновые), сапропелево-гумусовые (подчиненное значение гумуса) и гумусово-сапропелевые (преобладание гумуса или в равных соотношениях). Каждый из этих типов сланцев отличается по петрографическому и химическому составу и свойствам и соответственно с этим имеет различное промышленное значение.

Горючий сланец — это комплексное органо-минеральное полезное ископаемое, состоящее из органического вещества и минеральной массы, содержит нередко в промышленных количествах такие сопутствующие компоненты, как алюминий, титан, железо, калий, натрий, серу, и в качестве примесей редкие и рассеянные элементы уран, висмут, рений, германий, молибден и др. в концентрациях, заслуживающих извлечения.

Минеральная масса горючих сланцев большинства исследуемых месторождений по своему химическому составу пригодна для производства различных строительных материалов. Однако неиспользование минеральной части сланцев при добыче и переработке значительно удорожает стоимость получаемых сланцехимических продуктов, образует огромных размеров отвалы шахт, заводов, загрязняет воздушное пространство, требует отвода земляных участков немалых размеров.

Комплексная безотходная переработка горючего сланца обеспечивает максимальное использование природных ресурсов, получение топливных и химических продуктов, организацию производства раз-

нообразной продукции на основе сопутствующих компонентов, извлечение всех промышленно ценных редких и рассеянных элементов и изготовление широкого ассортимента строительных материалов, а также препаратов для сельского хозяйства и медицины. Добыча и переработка горючих сланцев промышленно оправдана и экономически эффективна только при условии осуществления их комплексного безотходного использования и организации единого многоотраслевого промышленного комбината-объединения. Мировой опыт организации переработки горючих сланцев в пределах только одного узкого направления (топливного, или химического, или производства строительных материалов, или извлечения редких металлов) показал нерентабельность предприятия за счет неоправданных больших потерь других ценных компонентов.

Решение экологических вопросов, занимающих все большее место в программах использования природных ресурсов, невозможно вне безотходного использования горючих сланцев, тем более если учесть, что основная масса горючих сланцев известных месторождений мира имеет теплоту сгорания в пределах 6280—8370 кДж/кг и выход смолы не более 10% на сланец.

В современных условиях энергетику мира в основном определяют нефть и газ. Следовательно, если в качестве их заменителя выступят горючие сланцы, то потребуется добывать десятки миллиардов тонн этого полезного ископаемого, чтобы получить сотни тысяч тонн смолы. Горючие сланцы абсолютного большинства известных месторождений по сравнению с прибалтийскими сланцами значительно беднее ОВ, имеют меньший процент выхода смолы и меньшую теплоту сгорания. Следовательно, ежегодные отходы добычи и переработки таких сланцев составят не десятки, а сотни миллионов тонн в год. Это следует учитывать при промышленной оценке новых месторождений.

Промышленное использование горючих сланцев известных месторождений, в том числе и прибалтийских и кашпирских в СССР, сложилось с учетом их природной специфики и исторической практики развития отрасли как газо-химико-энергетического комплекса с соответствующим созданием энергетических и технологических агрегатов.

Опыт технологии добычи, переработки и сжигания горючих сланцев Прибалтийского бассейна и Кашпирского месторождения СССР используется другими странами. Разработанная технология переработки продуктов полукоксования горючих сланцев — смолы и газового бензина — позволила создать в стране новую отрасль — сланцехимию с получением специфически сланцехимических и типично нефтехимических продуктов.

Для комплексной безотходной технологии переработки сланцев нет готовых технологических решений, но в этой области ведутся поиски в СССР, Швеции и других странах.

Мировые прогнозные запасы горючих сланцев огромны. По прогнозной оценке запасы смолы, заключенной в сланцах, составляют

26 трлн. т. В недалеком будущем горючие сланцы — единственное природное твердое топливное сырье, заменитель нефти и газа.

Большинство известных месторождений слабо изучено и разведано. В целях обеспечения своевременного развития сланцевой промышленности в должных масштабах следует форсировать проведение геологоразведочных работ на перспективных площадях для выявления и подготовки промышленных запасов горючих сланцев. Прежде всего должны привлечь внимание сланценосные бассейны, запасы которых способны обеспечить переработку достаточно высококачественных сланцев в крупных масштабах в течение длительного периода (не менее 25—30 лет). На выполнение геологоразведочных работ, разведку и проектирование технологии добычи и переработки, строительство шахт, заводов потребуется 15—20 лет.

Проявление сланценосности установлено в Болгарии, Венгрии, Монголии, Польше, Румынии и Югославии. Если учесть, что многим из них приходится использовать привозное топливо (уголь, нефть, газ), то добыча собственных горючих сланцев может заметно улучшить топливно-энергетический баланс. Используя многолетний опыт добычи и переработки горючих сланцев СССР, страны — члены СЭВ, на базе промышленно перспективных месторождений своей страны имеют все предпосылки для развития отечественной сланцевой промышленности по комплексной переработке горючих сланцев.

Горючие сланцы распространены в Афганистане, Аргентине, Бразилии, Заире, Ливане, Марокко, Сирии, Турции, на Мадагаскаре. В Марокко в ближайшие годы будут разрабатываться горючие сланцы месторождения Тарфайя, запасы которых оцениваются в 200 млрд. т. Крупные запасы сланцев приходятся на месторождение Луалаба в Заире — 15 трлн. т сланцевой смолы. В Бразилии сланценосные отложения распространены на обширной площади. Запасы сланцевой смолы оцениваются в 1 200 млрд. т. Переработка сланцев формации Ирати ведется в крупных масштабах.

В КНР распространение сланценосных отложений установлено в десяти провинциях. Сланцы бассейна Фушунь разрабатываются с 1929 г. Прогнозные запасы горючих сланцев только одного этого бассейна оцениваются в 360 млрд. т.

Крупные сланценосные бассейны известны в США, Канаде. Прогнозные запасы сланцевой смолы формации Грин-Ривер штата Колорадо оценивают в 300—600 млрд. т.

На территории многих штатов Австралии и Новой Зеландии распространены многочисленные месторождения горючих сланцев весьма разнообразного и сложного состава. Ими заняты обширные площади. Сланцы от мало- (0,6%) до многосернистых (30%), от мало- (6—10%) до высокосмоляных (30%).

СССР располагает значительными резервами развития сланцевой промышленности. В европейской части страны кроме Прибалтийского бассейна известен крупный сланценосный Волжский бассейн, а к северу от него расположены Яренгский бассейн, Ижевская и Сысольская площади. В Белоруссии за последние годы выявлен бассейн

Припятской впадины. Запасы сланцев Болтышского месторождения на Украине, по данным предварительной разведки, не менее 3 млрд. т, теплота сгорания 8400—12 500 кДж/кг. На Северо-Востоке СССР расположен Оленекский сланцевый бассейн с запасами свыше 300 млрд. т сланца. Горючие сланцы обнаружены в Иркутской области, Восточном Забайкалье, Западной Сибири. Одним из перспективных угольно-сланцевых бассейнов является Кендерлыкский Казахской ССР. Заслуживают более детального изучения многочисленные месторождения Узбекистана и Таджикистана, содержащие редкие и рассеянные элементы в повышенных концентрациях.

В СССР многие десятки лет успешно работают четыре сланцеперерабатывающих предприятия, которые на основе продуктов полукоксования—сланцевой смолы и газового бензина—выпускают свыше 30 сланцесмоляных и сланцехимических продуктов. Многие продукты выпускаются по высшей категории и с государственным Знаком качества. Некоторые продукты экспортируются в зарубежные страны. На основе горючих сланцев работают две крупные электростанции и несколько теплоэлектростанций. В дальнейшем предусмотрено довести добычу сланцев Прибалтийского бассейна до 50 млн. т/год. Горючие сланцы известны на западе, востоке, в северных и южных районах страны. Геологические предпосылки для развития сланцевой промышленности в более крупных масштабах весьма благоприятны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Труды* I симпозиума Организации Объединенных Наций по разработке и использованию запасов горючих сланцев. Таллин, Валгус, 1970. 623 с.
2. *Залесский М. Д.* О морском сапропеле силурийского возраста, образование сине-зеленых водорослей. Пгр. АН, IV серия, 1917, № 1.
3. *Добрянский А. Ф.* Горючие сланцы СССР. Л., Гостоптехиздат, 1947. 232 с.
4. *Геология* месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. II. М., Недра, 1968. 607 с.
5. *Аарна А. Я., Уров К. Э.* О некоторых терминах в области горючих сланцев. Химия твердого топлива, 1978, № 6, с. 149—151.
6. *Кожевников А. В.* Генезис, распространение и химический состав сланцев. Тарту, Научная литература, 1947. 29 с. (Горючие сланцы. Вып. 1).
7. *Гельмерсен Г. П.* Отчет по исследованиям, произведенным в 1838 г. над месторождениями горючего сланца, открытого в Эстляндской губернии в окрестностях мызы Фалль, принадлежащей г. генерал-адъютанту графу Бенкендорфу, и мызы Толкс барона Врангеля. — Горный журнал, 1838, т. II, № 8. 258 с.
8. *Бакинов Г. П., Ширенко К. И.* Технология и экономика добычи горючих сланцев Ленинградской области. Л., Гостоптехиздат, 1961. 144 с.
9. *Серебрянников Н. Д.* Новые проблемы. — Горючие сланцы, 1977, № 7, с. 1—8.
10. *Варкки Е. П.* Сланцеперерабатывающий комбинат им. В. И. Ленина. Таллин, Валгус, 1974. 32 с.
11. *Стефанова Е. И.* Горючие сланцы зарубежных стран. — В кн.: Месторождения полезных ископаемых. Т. 4. М., 1973, с. 151.
12. *Горючие* сланцы / Под ред. Т. Ф. Йена и Дж. В. Чилингаряна. Л., Недра, 1980. 261 с.
13. *Кузнецов Д. Т.* Горючие сланцы мира. М., Недра, 1975. 355 с.
14. *Файнберг В. С.* Исследование и переработка горючих сланцев за рубежом. М., ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1967. 92 с.
15. *Гранат Д. А.* Комплексное использование глинистых сланцев: обзор. Таллин, Бит, 1979. 25 с.
16. *Йен Т. Ф., Чилингарян Дж. В.* Горючие сланцы. Л., Недра, 1980. 261 с.
17. *Шопов Г.* Труды симпозиума ООН. Таллин, 1968, с. 226—227.
18. *Словарь* по геологии нефти. Л., Гостоптехиздат, 1958. 776 с.
19. *Дашкевич З. В.* Палеогеография. Л., Изд-во Лен. гос. ун-та, 1969. 150 с.
20. *Словарь* по геологоразведочному делу. Л. — М. — Новосибирск, НКТП—ОНТИ, 1933. 573 с.
21. *Барашков Г. К.* Химия водорослей. М., Изд-во АН СССР, 1963. 140 с.
22. *Вериго А. С.* О влиянии микроорганизмов на образование лиманной грязи. Одесса, Одесское бальнеологическое об-во, вып. III, 1889. 7 с.
23. *Исаченко Б. Л.* Геологическая деятельность микробов. — Природа, 1950, № 8, с. 34—37.
24. *Вологдин А. Г.* Земля и жизнь. М., Изд-во АН СССР, 1953. 173 с.
25. *Холодный Н. Г.* Железобактерии. М., Изд-во АН СССР, 1953. 224 с.
26. *Кожевников А. В., Первунинская Н. А.* Бактерии в горючих сланцах. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Вып. 9. Л., 1960, с. 295.
27. *Раудсепп Х. Т.* О генезисе эстонского горючего сланца-кукерсита. — В кн.: Генезис твердых горючих ископаемых. М., 1959, с. 69—76.

28. *Колесников М. П., Егоров И. А.* Палеобиохимическое изучение древних пород Земли. — В кн.: Палеонтология докембрия и раннего кембрия. Новосибирск, 1976, с. 151.

29. *Сафронов В. Т.* Об условиях происхождения некоторых углесодержащих пород Кольского полуострова и Северной Карелии. — Там же, с. 152—153.

30. *Неручев С. Г.* Взаимозависимость вспышек биопродуктивности фитопланктона эпох уранонакопления и переломных моментов в эволюции в докембрии и раннем палеозое. Труды Всесоюзного симпозиума. Л., 1979.

31. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Л., Госхимтехиздат, 1933. 247 с.

32. *Формации* горючих сланцев. Таллин, Валгус, 1973. 159 с.

33. *Петров Н. П., Горбачев М. Г.* Сера из Черного моря. — Химия и жизнь, 1974, № 3, с. 54—55.

34. *Наливкин Д. В.* Краткий очерк геологии СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957. 144 с.

35. *Нишанходжаев Р. Н.* Фациально-петрографические и геохимические особенности нижнеэоценовых туранских горючих сланцев Бухаро-Каршинского района. Автореф. дис. Ташкент, 1947. 25 с.

36. *Шакс И. А., Гинзбург А. И.* Особенности химической структуры в различных типах органического вещества горючих сланцев (по инфракрасным спектрам поглощения). — Химия твердого топлива, 1967, Вып. 5, с. 110—117.

37. *Успенский В. А.* Введение в геохимию нефти. Л., Недра, 1970. 370 с.

38. *Фомина А. С.* Кукерсит, его химическая природа и происхождение. Сообщение 1 и 2. — Изв. АН ЭССР. Сер. техн. и физ.-мат. наук, 1958, № 1, с. 19—33.

39. *Гинзбург А. И.* Петрография органического вещества горючих сланцев. — В кн.: 8-й Междунар. конгр. по стратигр. и геол. карбона. Т. 4. М., 1979, с. 102—108.

40. *Фомина А. С.* и др. Получение насыщенных дикарбоновых кислот и стимулятора роста растений окислением керогена-кукерсита кислородом воздуха. Симпозиум ООН. Таллин, 1968, с. 217—219.

41. *Кейн Р. Ф.* Природа и строение коронгита. Там же, с. 202—209.

42. *Борисов П. А.* Карельские шунгиты. Петрозаводск, 1956. 92 с.

43. *Рухин Л. Б.* Основы общей палеогеографии. Л., Гостоптехиздат, 1962. 628 с.

44. *Порфір'єв В. Б., Грінберг І. В., Ладиженський М. Р.* Менілітові сланці Карпат. Київ, Вид. АН УРСР, 1963. 206 с.

45. *Химия* и технология горючих сланцев. Л., Химия, 1968. 316 с.

46. *Прогноз* горючих сланцев европейской части СССР. Таллин, 1974. 72 с.

47. *Мэн Сюнь-цзе.* Характеристика маоминских сланцев и процесс их низкотемпературной сухой перегонки. — Шию Ляньчжи, 1959, № 6, с. 38—41.

48. *Раамусокс А. С.* Стратиграфия кукерского горизонта (C_{II}) Эстонской ССР. — Учен. зап. Тартуского гос. ун-та, 1956, вып. 40, с. 24—48.

49. *Паффенгольц К. Н.* Геологическая история Западной Грузии в третичное время. М., Изд-во АН СССР, 1959. 37 с.

50. *Баженов И. И., Леоненко И. А., Харченко А. К.* Угольная промышленность Китайской Народной Республики. М., Недра, 1968. 479 с.

51. *Гинзбург А. И., Явхута Г. В.* Новые данные по характеристике горючих сланцев Волжского бассейна. — Химия твердого топлива, 1969, № 6, с. 49—59.

52. *Богданов В. В., Гинзбург А. И.* Горючие сланцы Болтышского месторождения Украины. — Химия твердого топлива, 1967, № 5, с. 128—135.

53. *Химия,* сводный том (П—Т). Исследование битума и керогена австралийского торбанита. — Реферативный журнал, февраль, 1982, с. 11.

54. *Вески Р. Э., Сидорова С. М., Бондарь Е. Б., Фомина А. С.* Исследование органического вещества кашпирского сланца путем окисления азотной кислотой. — Химия твердого топлива, 1979, № 3, с. 151—157.

55. *Ефимов В. М., Дойлов С. К., Соо М. О., Раппу Л. И.* Опытная переработка сланцев Болтышского месторождения Украинской ССР. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев, вып. 19. Таллин, Валгус, 1973, с. 44—55.

56. *Гинзбург А. И.* Органическое вещество петрографических типов горючих сланцев (на примере некоторых месторождений СССР). — В кн.: Литология и полезные ископаемые. М., Изд-во АН СССР, 1969, с. 39—52.

57. *Аарна А. Я.* Успехи сланцевой промышленности ЭССР. Таллин, 1979. 40 с.
58. *Полозов В. Ф.* Горючие сланцы месторождения Общий Сырт. Вып. 5. Л., 1956, с. 5—10.
59. *Наливкин Д. В.* Учение о фациях. М. — Л., Изд-во АН СССР, т. 1, 1955, 534 с.; т. 2, 1956, 395 с.
60. *Корнилова Ю. И., Семенов С. С.* Исследование органического вещества сланцев Кашпирского месторождения. — Труды ВНИИТ, вып. 8. Л., Гостоптехиздат, 1959, с. 4—13.
61. *Веселовский В. С.* Испытания горючих ископаемых. Симферополь, Крымиздат, 1951. 236 с.
62. *Ефимов В. М., Дойлов С. К., Кундель Х. А.* и др. Сравнительная характеристика и опытная переработка горючих сланцев различных месторождений. — В кн.: Проблемы полукоксования горючего сланца, вып. 22. Таллин, Валгус, 1978, с. 27—52.
63. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. IV. Л., Геохимиздат, 1939. 350 с.
64. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.
65. *Виноградов А. П.* Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой. — В кн.: Микроэлементы в жизни растений и животных. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 7—20.
66. *Соловушкова Г. Э.* Содержание редких элементов в горючих сланцах, форма связи их с керогеном и пути их практического использования. Автореф. дис. Л., 1970. 22 с.
67. *Матусевич Н. И.* Исследование минеральной части горючих сланцев некоторых месторождений Волжского бассейна. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки, вып. 7. Л., Гостоптехиздат, 1959, с. 5—16.
68. *Проскуряков В. А., Рембашевский А. Г., Соловейчик З. В.* Флотационное обогащение волжских сланцев. — Труды ВНИИТ, 1961, вып. 10, с. 5—22.
69. *Ефимов В. М., Пийк Э. Э., Роокс И. Х.* О возможности снижения потерь физического тепла при переработке горючего сланца в генераторах. Труды НИИ сланцев, вып. 19. Таллин, Валгус, 1973, с. 16—28.
70. *Арукюла Х. Х.* Исследование физических свойств пород сланцевого пласта Эстонского месторождения. Симпозиум ООН. Таллин, 1968, с. 118—120.
71. *Русчев Д. Д.* Химия твердого топлива. Л., Химия, 1976. 253 с.
72. *Бауков С. С.* Закономерности вещественного состава горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна. — Труды Ин-та геологии АН ЭССР, 1958, II.
73. *Куратова О. В., Коган М. Б., Широкова Н. Е.* Физико-химическая характеристика сланцев Чудовского месторождения. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев, вып. 1. Л., Гостоптехиздат, 1948, с. 5—13.
74. *Коллеров Д. К., Матвеева Н. И.* Удельные теплоемкости сланца, кокса и концентрата. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев, вып. 4. Л., Гостоптехиздат, 1955, с. 236—243.
75. *Барщевский М. М., Безмозгин Э. С., Шапиро Р. Н.* Справочник по переработке горючих сланцев. Л., Гостоптехиздат, 1963. 157 с.
76. *Губергриц М. Я., Куйв К. А.* К теории теплового расчета некоторых систем термической переработки сланца-кукерсита. — В кн.: Горючие сланцы. Химия и технология, вып. 3. Таллин, 1959.
77. *Зеленин Н. И., Файнберг В. С., Чернышева К. Б.* Химия и технология сланцевой смолы. Л., Химия, 1968. 308 с.
78. *Ефимов В. М., Пийк Э. Э., Раппу Л. И.* О некоторых особенностях термической переработки богатых битумиинизирующихся сланцев. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев, вып. 19. Таллин, Валгус, 1973, с. 29—43.
79. *Арефьев В. А.* Сланцевый кокс — ценное сырье для цементной промышленности. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев, вып. 3. Л., 1955. 257 с.
80. *Брук Э. Л., Мотин Ю. Д., Озеров И. М., Полозов В. Ф.* О пригодности известняков межпластовых прослоев горючего сланца Гдовского месторождения для производства портландцемента. — В кн.: Химия и технология топлива и продуктов его переработки, вып. 11. Л., Гостоптехиздат, 1962.

81. *Иванова С. П.* Исследование условий образования сланцезольного стеклокристаллического теплоносителя. — Автореф. дис. Л., Наука, 1970. 23 с.

82. *Майоров Б. А., Мотин Ю. Д., Озеров И. М., Хазанович К. К.* О производстве легкого заполнителя из сланцевой золы методом агломерации. — В кн.: Химия и технология горючих сланцев. Л., Гостоптехиздат, 1963, с. 109—118.

83. *Кярблане Х. А., Кеввай Л. Б.* Об использовании сланцевой золы для известкования кислых почв. — Горючие сланцы, 1978, № 5, с. 18—21.

84. *Клер В. Р., Ненахов В. Ф.* Геологические запасы горючих сланцев в СССР. — Сов. геология, 1971, № 3, с. 20—28.

85. *Озеров И. М.* Основные требования к сланцевому сырью. — В кн.: Формации горючих сланцев. Таллин, Валгус, 1973, с. 89—91.

86. *Томашпольский Л. М.* Нефть и газ в мировом энергетическом балансе. М., 1968. 263 с.

87. *Мельников Н. В.* Минеральное топливо. М., Недра, 1971. 215 с.

88. *Антропов П. Я.* Топливно-энергетический потенциал Земли. М., 1974. 263 с.

89. *Эллиот М. А.* Перспективы развития энергетических ресурсов США. — Инженер-нефтяник, 1964, № 11, с. 6—16.

90. *Озеров И. М.* Комплексное использование горючих сланцев. — СЭВ, Бюллетень Постоянной комиссии химической промышленности, № 1 (52). М., 1975, с. 65—71.

91. *Полозов В. Ф., Озеров И. М.* Генетическая классификация газов и рассеянного органического вещества пород. — Труды ВНИГРИ, 1981.

92. *Григорьев С. В.* Классификация горючих ископаемых и их технологические свойства. — В кн.: Энергетическое совещание по горючим сланцам ЭССР. Тарту, 1948, с. 21—26.

93. *Gavin J. M.* Oil shale. Wahington Government Printig Office, 1924. 200 p.

94. *Utilization* of oil shale Progrees and Prospects. Deportament of Economic and Social affoirs. United National. New York, 1967.

95. *Burger J.* L'exploitation des pyroschistes on shistes bitumeuh. Données generales et perspectives dávenir. — Revue de Institut Français du Petrole, 1973, 28, № 3.

96. *Badak J.* Wystepowanie i wlasnosci lupkow bitumicznych w Polsce, Nafta, 1965, № 7.

97. *Sandler N.* Israel sees shale as energy solution. — Chemical Engineering, 1980. № 19, p. 38E—38F.

98. *Gomes* Brain Shale venture gains Down Under. — Chemical Engineering, 1980, 87, № 7, p. 38E—38F.

99. *Bradley W. H.* Green River Oil shale — Concept of Origin Extended. Geol. Soc. Am. Bull., 1970, № 8, p. 985—1000.

100. *Shale,* tar sande development gaining. — Oil and gas Journal, 1981, 79, № 27, p. 95—96.

101. *Oil* shale is ignited in a big underground test. Chem. Week, 1981, 129, № 1, p. 19.

102. *1980* refining process handbook. H — oil. — Hydrocarbon Processing, 59, № 9, p. 112—154.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 5

Глава 1. **История развития сланцевой промышленности** 7
Понятие «горючие сланцы» . . . . . —
Краткая история развития сланцевой промышленности . . 10

Глава 2. **Условия образования горючих сланцев** 26
Палеогеографические условия проявления сланценосных формаций . . . . . —
О роли бактерий в преобразовании ОВ 36
Глубина накопления ОВ горючих сланцев 42
Химическая природа керогена горючих сланцев 43
Стадийность сланцеобразования 50

Глава 3. **Сланценосные формации и форма залежей горючих сланцев** 53
Основные сланценосные формации . . . . . —
Фации и ритмы сланценакопления 82
Адсорбционные свойства минеральной массы горючих сланцев 88
Геотектонические типы месторождений горючих сланцев 90
Форма залежей горючих сланцев 93

Глава 4. **Типы горючих сланцев** 107
Петрографические типы 108
Генетические типы 113

Глава 5. **Основные свойства горючих сланцев** 125
Элементарный состав ОВ . . . . . —
Выход смолы 134
Зольность 138
Сопутствующие минеральные компоненты, редкие и рассеянные химические элементы 142
Концентраты керогена 147
Влажность 149
Крепость . . . . . —
Плотность 150
Пористость 153
Пределы прочности 154
Теплофизические свойства . . . . . —
Термическая деструкция горючих сланцев 156
Плавкость минеральной зольной массы сланцев 158
Радиоактивность сланцев 159

Глава 6. **Промышленное значение минеральной части горючих сланцев** 160
Сланцезольное вяжущее . . . . . —
Цемент на базе сланцевого полукокса 163

Плавленый цементный клинкер (энергоклинкер) 164
Цемент на основе известняков-отходов добычи сланцев 165
Пригодность известняков для производства извести . . . 168
Минеральная вата и изделия из нее 169
Сланцезольный стеклокристаллический теплоноситель . . 170
Сланцезольный газозолосиликат 172
Дренажные сланцезольные трубы 175
Сланцезольный аглопорит 178
Сланцезольный аглопоритобетон 180
Минеральные отходы для известкования кислых почв . . 181
Щебень для строительных работ 182

Глава 7. **Запасы горючих сланцев и прогноз развития сланцевой промышленности** 184
Промышленные комплексы . . . . . —
Географическое размещение 191
Технические требования 203
Промышленная классификация 210
Запасы горючих сланцев 217

Глава 8. **Переработка горючих сланцев** 227
Общие замечания . . . . . —
Методы переработки 229

Заключение 239

Список литературы 243

Николай Иванович Зеленин,
Иван Моисеевич Озеров

СПРАВОЧНИК ПО ГОРЮЧИМ СЛАНЦАМ

Редактор издательства *З. Г. Сегаль*
Переплет художника *В. А. Тюлюкина*
Технический редактор *А. Б. Ящуржинская*
Корректоры *И. Б. Афиногенова, О. Г. Шаляпина*

ИБ № 4412

Сдано в набор 08.12.82. Подписано в печать 03.08.83. М-28064. Формат 60×$^{1}/_{16}$. Бумага кн. журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,5. Усл. кр.-отт. 15,5. Уч.-изд. л. 21,4. Тираж 1700 экз. Заказ 2702/584. Цена 1 р. 50 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.

Типография № 2 Ленуприздата. 191104, Ленинград, Литейный пр., 55.