

УДК 665.7.032.57

Зюба О.А., Глущенко О.Н.Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия, olyazyuba@mail.ru, 31415926@list.ru

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Рассмотрены современные термические наземные и отчасти подземные технологии переработки горючих сланцев. Приведены их технические характеристики – конфигурации реторта и используемых теплоносителей. С помощью технических и экологических критериев проведена оценка экологической опасности наземных термических методов переработки горючих сланцев.

Ключевые слова: горючие сланцы, наземные технологии, подземные технологии, реторта, пиролиз.

В настоящее время накоплен определенный опыт в области переработки горючих сланцев подземными и наземными термическими методами с целью получения жидких углеводородов и топливного газа. Так, в США запасы извлекаемой сланцевой нефти в штатах Колорадо, Юта и Вайоминг оцениваются в 111 млрд. м³, т. е. могут обеспечить потребность страны в нефти в течение 70 лет¹.

При этом любая промышленная технология должна обеспечивать экологическую безопасность региона во время освоения месторождения и после прекращения переработки горючего сланца в течение длительного времени.

Существует достаточно большое количество термических технологий переработки горючих сланцев в наземных аппаратах (табл. 1). Основная цель всех процессов - получение товарной продукции в виде жидких сланцевых масел и газа полукоксования.

Процесс «Галотер». Сланец 0-25 мм в диаметре смешивают с горячей золой при 800 °С, полученной путем сжигания отработанного горючего сланца (полукокса). Смесь перемещают в герметичную вращающуюся печь, где тепло передаётся от горячей золы на частицы сланца, происходит пиролиз (температура 520 °С). Полученные пары сланцевой смолы и газ очищают и переводят в систему конденсации [Golubev, 2003].

Процесс «Энефит» - модификации процесса «Галотер». Основное изменение - это замена печей полукоксования «Галотер» на печи ЦКС (с циркулирующим кипящим слоем).

¹ По данным сайта <http://computerchoppers.ru/skvazhinnaya-dobycha/326-opyt-podzemnoy-gazifikacii-i-peregonka-goryuchih-slancev-chast-1.html>

По сравнению с традиционными «Галотер», «Энефит» обеспечивает полное сгорание углистого остатка [Johnson, Crawford, Bungler, 2004].

Таблица 1

Классификация основных наземных термических процессов переработки горючих сланцев

Название процесса, местоположение	Производительность по сланцу	Конфигурация реторты	Теплоноситель
«Галотер», Эстония, г. Нарва	125 т/час		зола
«Энефит», Эстония, пос. Аувере			зола
«Альберта Тасиук», Австралия, нас. пункт Стюарт		Горизонтальная реторта	зола
«Петросикс», Бразилия, г. Сан-Матеус-ду-Сул	6200 т/сут.	Вертикальная реторта	газ
«Кивитер», Эстония, г. Кохла-Ярве, г. Кивиыли	40 т /час	Вертикальная реторта	газ
«ТоскоII», США, г. Парашют, штат Колорадо	1000 т/сут.	Наклонная вращающаяся печь	керамические шарики
«Фушунь», Китай (г. Фушунь)	около 4 т/ч	Вертикальный цилиндрический генератор	газ
«Парахо», США, г. Рифл, штат Колорадо	230 т/сут.	Вертикальный цилиндрический генератор	газ
«Лурги-Рургаз», Германия	11 т/сут.	Вертикальный цилиндрический генератор	зола
«Шеврон СТБ», США, г. Ричмонд, штат Калифорния	320 т/сут.	Вертикальный цилиндрический генератор реактор с кипящим слоем	зола
«LLNL HRS», США, г. Парашют, штат Колорадо		реактор пиролиза в кипящем слое	зола
«Юнион», США, Парашют Крик, штат Колорадо	1080 т/сут.	Вертикальная реторта	газ
«Супериормультиминерал», США, г. Кливленд, штат Огайо	-	Горизонтальная реторта	газ

Процесс «Альберта Тасиук» - происходит в пределах одного вращающегося горизонтального реактора, разделенного на зоны подогрева, сжигания, дожига полукокса и охлаждения. Частицы горючего сланца размером менее 25 мм смешивают с горячей золой сланца, происходит пиролиз (температура от 500 °С и 550 °С). Парогазовую смесь выводят из реторты через паровую трубу и переводят в систему конденсации [Qian, Wang, 2006].

Процесс «Петросикс». Горючий сланец от 12 до 75 мм поступает через верхнюю часть реторты, в то время как горячие газы вводят в середину реторты. Движущимся противотоком горячего газа происходит нагрев сланца до 500 °С. Парогазовую смесь переводят в систему конденсации. Парогазовая смесь после циклонной очистки поступает в электрофильтр, пары сланцевого масла направляются в отделение конденсации, а газ сжимают в компрессоре и разбивают на три части [Jaber et al., 2008]. Одну часть сжатого газа нагревают в печи до

температуры 600 °С и возвращают обратно в середину реторты для нагрева горючего сланца, а другая часть холодного газа циркулирует в нижней части реторты, охлаждает полукокс, нагревается сама и поднимается в секции пиролиза как дополнительный источник тепла для нагрева горючих сланцев. Третья часть подвергается дальнейшему охлаждению, а затем направляется в блок подготовки газа, где производят горючий газ, сжиженный нефтяной газ и восстанавливают серу.

Процесс «Кивитер». Крупнокусковой сланец поступает в шахту выгонки, где навстречу движению сланца проходят горячие потоки горючих газов. Образовавшиеся при выгонке масляные, водяные пары и низкокалорийный газ выходят из верхней части генератора и направляются на узел конденсации. Частично генераторный газ направляется обратно в процесс на сжигание для производства необходимого теплоносителя [Справочник сланцепереработчика, 1988].

Процесс «ТоскоII». Сланцы размером менее 13 мм нагревают горячими дымовыми газами до 260 °С, а затем до 650 °С путем его смешения с раскаленными керамическими шарами размером 12 мм. В наклонной вращающейся печи порода нагревается за счет конвекции и лучеиспускания. Парогазовая смесь поступает в ректификационную колонну. Полукокс и керамические шарики разделяют в перфорированном вращающемся барабане [Johnson, Crawford, Bunger, 2004]. Полукокс падает через отверстия в цилиндре, а керамические шарики перемещают к нагревателю. Газ полукоксования сжигают в нагревателе для повторного подогрева керамических шариков.

Процесс «Фушунь». Горючий сланец движется вниз, контактируя с нагретым газом. Пиролиз происходит при температуре около 500 °С [Qian, Wang, 2006]. Парогазовая смесь выводится из верхней части реторты, двигаясь снизу вверх, а не по диагонали, как в процессе «Кивитер» при температуре 90-110 °С.

Полукокс газифицируется в нижней части реторты при 700-800 °С смесью воздуха и водяного пара, предварительно нагреваемой за счет физической теплоты горячей золы. Циркулирующие газы после выхода из реторты охлаждают в системе конденсации, вновь нагревают в печи до температуры от 500 до 600 °С и возвращают обратно в реторту для нагрева горючего сланца. Сланцевая зола частично используется для производства цемента. Основными компонентами золы являются диоксид кремния (62-64 %), оксиды алюминия (22-23 %) и железа (8-10 %) [Новый справочник химика и технолога, 2009].

Процесс «Парахо». Основная аппаратура процесса «Парахо» может работать в двух различных режимах нагрева - с прямым и косвенным обогревателем [Johnson, Crawford, Bunger, 2004].

Горючий сланец размерами 9-75 мм подается в верхнюю часть реторты через вращающийся распределитель. Движение горючего сланца регулируется движущейся решеткой, расположенной на дне реторты [Новый справочник химика и технолога, 2009]. Смесь холодного обратного газа и воздуха подают в реторту через расположенные выше решетки отверстия и через два комплекта газораспределительных трубок, находящихся над отверстиями. Поступающая в реторту снизу смесь газа и воздуха нагревается идущим навстречу полукоксом, при этом газ загорается, что вызывает горение остаточного углерода в полукоксе при температуре от 700 до 800 °С. Образующиеся газы в зоне над газораспределительными трубками нагревают сланец до температуры полукоксования (около 500 °С). Парогазовая смесь поднимается, нагревая поступающий в реторту сланец, и выводится из верхней части реторты в конденсационную систему. Газы очищают с помощью влажного электрофильтра и сжимают в компрессоре [An Assessment..., 1980]. Часть сжатого газа возвращают обратно в нижнюю часть реторты, где она охлаждает сланцевую золу (полукокс), нагревается сама и поднимается в секции пиролиза как дополнительный источник тепла для нагрева горючих сланцев, а остальная часть может использоваться в качестве низкокалорийного газового топлива [Новый справочник химика и технолога, 2009]. Охлажденная сланцевая зола выходит через разгрузочную решетку в нижней части реторты и направляется в отвалы.

Процесс «Лурги-Рургаз» - технология переработки твердых топлив, в которой применяются мелкие частицы горючих сланцев в размере от 6,3 до 12,7 мм. В качестве теплоносителя в процессе используется горячая зола, смешанная с песком или другими, более прочными материалами [Assessment of technology, 1977; Sunggyu Lee, 1990]. Измельченный горючий сланец подают в верхнюю часть реторты и смешивают с нагретым до 550 °С шлаком сланца в механической мешалке (шнек) [Sunggyu Lee, 1990]. В реакторе и далее в сепараторе происходит разложение сланца. Парогазовая смесь проходит систему циклонов и конденсационных аппаратов, а полукокс из сепараторов поступает в нагреватель-подъемник (топку), где он сжигается с помощью горячего воздуха.

Полученная зола транспортируется в сепаратор. Часть золы выводится из цикла, ее теплота используется для нагрева воздуха в теплообменнике. Охлажденная зола увлажняется

до содержания влаги 5 %. Дымовые газы проходят циклон, котел-утилизатор и промыватели, а затем выбрасываются в атмосферу [Новый справочник химика и технолога, 2009].

Процесс «Шеврон СТБ». Измельченный сланец до 6,4 мм подают в верхнюю часть реторты и смешивают с горячей сланцевой золой. В реакторе кипящего слоя горючие сланцы продвигаются сверху вниз. Тепло передается от подогретой сланцевой золы к сырому горючему сланцу, вызывая пиролиз. В реакторе происходит разложение сланца на пары сланцевого масла и газа (парогазовая смесь) с образованием зольного остатка (полукокса). Газообразные продукты полукоксования (парогазовая смесь и твердые частицы) перемещают из нижней части реторты в секцию отделения твердых частиц. Выделенные твердые частицы направляются в камеру сгорания, где смешиваются с основной массой золы, а продукт разложения в виде парогазовой смеси после циклонной и мокрой очистки поступает в отделение конденсации. В нижней части реторты твердый остаток разложения сланца (полукокк) транспортируют в камеру сгорания (в аэрофонтанную топку) на дожиг [Taback, Goldstick, 1987; Tamm et al., 1982].

Процесс «LLNLHRS». В качестве теплоносителя, в процессе LLNLHRS используется горячая зола, полученная от сгорания полукокса. Горючий сланец и золу смешивают в смесителе с кипящим слоем. Использование смесителя кипящего слоя обеспечивает достаточно полное смешение, которое, в свою очередь, увеличивает среднее количество выхода сланцевого масла и пропускную способность горючего сланца. От смесителя кипящего слоя горючий сланец движется вниз к реактору с кипящим слоем (пиролизатор). Тепло передается от горячей золы на частицы горючего сланца, вызывая пиролиз. В результате происходит разложение сланца на пары сланцевого масла и газа (парогазовая смесь) с образованием полукокса. Парогазовая смесь выводится из пиролизатора и направляется в систему конденсации. Твердый остаток (полукокк), содержащий углерод, транспортируется по пневматическому трубопроводу к камере сгорания на дожиг с целью получения горячей золы. Камера сгорания обеспечивает больший контроль над процессом сгорания по сравнению с камерой сгорания с введенной в нее подъемной трубой. С камеры сгорания горячая зола попадает в зольные циклоны с кипящим слоем, где происходит выделение золы, затем зола направляется в смеситель с кипящим слоем [Cena, Thorsness, 1990; Cena, 1994].

Процесс «Union». Основное отличие реторты «Юнион» от других вертикальных реторт, таких как «Кивитер», «Петросикс», «Парахо» и «Фушунь» в том, что измельченный сланец подается через нижнюю часть реторты, а не сверху. Горючий сланец от 3,2 до 50,8 мм

перемещается вверх по реторте с помощью специального поршневого загрузочного устройства (толкателя) диаметром 3 м. Сланец нагревается нисходящим потоком циркулирующего газа. Пиролиз происходит при температуре от 510 °С до 540 °С. Парогазовая смесь охлаждается, смола конденсируется при контакте с холодным, вновь поступающим сланцем и выводится из нижней части реторты в жидком виде. Часть высококалорийного газа, полученного в процессе, поступает в подогреватель и применяется в качестве теплоносителя, а другая после очистки от сероводорода используется для выработки тепловой и электрической энергии. Полукокк удаляется через верхнюю часть реторты, охлаждается и направляется ленточным транспортером в отвал [Новый справочник химика и технолога, 2009].

Существует две конфигурации реторты «Юнион». В технологии «Юнион А» используется воздух для дожигания полукокка с целью получения горячего газа (теплоносителя). В «Юнион Б» осуществляется внешний нагрев потока циркулирующего газа при помощи пара и горячего газа.

Процесс «Superior multimineral». В прямой реторте горючий сланец движется в горизонтальном направлении, проходя последовательно несколько зон, через которые проводят горячий инертный газ, для подогрева сырья горючих сланцев, воздух для горения углеродистого остатка (шлака или полукокка) в отработанных горючих сланцах, а также холодный инертный газ для охлаждения отработанного сланца. Горизонтальное движение слоя сланца обеспечивается вращающейся дисковой (карусельной) колосниковой решеткой. Позонное секционирование решетки по ходу ее вращения позволяет создать на ней зоны полукоксования, газификации полукокка и охлаждения твердого остатка. Необходимое тепло для пиролиза образуется в блоке восстановления углерода при дожигании полукокка. Сланцевая зола охлаждается при помощи холодного инертного газа, газы нагреваются, поднимаются в секцию пиролиза как дополнительный источник тепла для нагрева горючих сланцев.

Процесс может быть осуществлен в режиме внутреннего обогрева, как описано выше, или комбинированного с дополнительным использованием теплоты циркулирующего газа, нагреваемого в калорифере. В последнем случае для газификации полукокка вместо воздуха применяется чистый кислород [An Assessment..., 1980].

В технологиях, представленных в табл. 1, используется два источника нагрева горючих сланцев:

- твёрдый теплоноситель (сланцевая зола, керамические шарики) – процессы «Галотер», Эстония, г. Нарва; «Энефит», Эстония, пос. Аувере; «Альберта Тасиук»,

Австралия, нас. пункт Стюарт;

- газовый теплоноситель (с внутренним нагревом - процессы Юнион А, Парахо Прямой, Кивитер, Superior Прямой, КентортII и внешним - Юнион Б, Парахо Косвенный, Петросикс, Superior Косвенный, Фушунь).

Существующие методы пиролиза имеют ряд недостатков: повышенный расход сырья, низкую удельную производительность реактора. Анализ развития сланцехимической промышленности показывает, что основным резервом повышения комплексного использования сланцевого сырья является замена источника энергии.

Представляется целесообразным провести оценку экологической опасности наземных термических методов переработки горючих сланцев с учетом используемой технологии.

С этой целью авторами сформировано две группы:

- инженерных (выход целевых продуктов; коррозионная безопасность; универсальность технологического процесса; эффективность теплоносителя);

- экологических (требования к сырью: возможность переработки горючего сланца определенного фракционного и химического состава, использования других видов углеводородного сырья; зависимость технологического процесса от качества сырья; образование дополнительного объема твердых и газообразных отходов; возможность замыкания в технологических циклах газообразных и твердых потоков; потребление водных ресурсов; надежность и безаварийность в работе).

На основании выбранных критериев установлено, что наиболее продвинутым является «Энефит», так как в этом процессе минимальное влияние на окружающую среду и максимальный выход целевых продуктов (90-95 %). Очевидно, минимальное воздействие на окружающую среду объясняется использованием потенциального тепла золы уноса, возможностью переработки горючего сланца мелкой фракции при добыче, достигающей 30%, высоким выходом сланцевого масла, незначительным потреблением водных ресурсов. Полное сгорание углеродистого остатка обеспечивает относительную безопасность грунтовых вод и приводит к возможности использования золы, способной заменить клинкер при производстве цемента. Кроме того, использование отработанного тепла для производства электричества также позволяет предотвратить выбросы диоксида углерода.

На сегодняшний день в ряде стран проводятся широкие научно-исследовательские и опытные работы, направленные на создание новых технологий по использованию горючего сланца. Одним из термических перспективных методов комплексной переработки горючих сланцев является плазмохимический метод.

Плазмохимическая технология имеет более широкие возможности, поскольку температура теплоносителя может достигать значений 3000÷5000 К, а при высокой температуре ускоряются химические превращения углеводородов. В этом процессе деструкция органических веществ осуществляется за счет энергии низкотемпературной плазмы восстановительного газа (водород, смеси водорода с метаном).

Необходимым условием подземного промышленного способа переработки являются благоприятные геологические условия, а именно - глубина залегания. Например, в США промышленное производство сланцевой нефти подземным способом начато в 1985 г., причем в бассейне Пайсенс Крик (штат Колорадо) максимальная мощность сланцевого пласта достигает 600 м (глубина залегания 450 м) [Справочник сланцепереработчика, 1988].

К достоинствам подземной переработки можно отнести: исключение потерь при добыче сланца и его транспортировке, а также отсутствие золоотвалов.

Выводы

Проведенный анализ патентов из информационной базы Роспатент (<http://www1.fips.ru>) и Интернет-ресурсов позволил выявить следующие проблемы экологической безопасности подземных термических технологий горючих сланцев: деформация земной поверхности над выработанным пространством; нарушение гидрогеологического режима; значительный объем отходящего газа; трудности, возникающие при контроле термического процесса и, вследствие этого, потери сырья² [Гери, 1982; Патент №2388790, 2010; Стрижакова Ю.А., 2011; Патент № 2442885, 2012]. Кроме этого необходимо учитывать возможность возникновения антропогенных факторов, включающих энтропийную компоненту, векторизованного, осцилляторного или труднопредсказуемого во времени типа.

Проведена оценка экологической опасности наземных термических методов переработки горючих сланцев с учетом инженерных и экологических критериев. Наиболее перспективной является технология реализованная в процессе «Энефит».

Литература

Гери Дж.Х. Производство и свойства моторного топлива, полученного из горючих сланцев // Перспективные автомобильные топлива. - Перевод: А.П. Чочиа. Под ред. профессора Я.Б. Черткова. – Москва. - 1982.

Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. 1. / Под ред. Поконовой Ю.В., Страхова В.И. – СПб.: АНО НПО «Мир и Семья», АНО НПО «Профессионал». - 2002. - 988 с.

Патент № 2388790 Российская Федерация, МПК С 10 В 53/06, Е 21 В 43/24, Е21В43/295. Способ термической переработки глубокозалегających горючих сланцев. Авторы: Карасевич А.М., Крейнин Е.В., Зоря А.Ю. Заявитель и патентообладатель:

² по материалам сайта <http://computerchoppers.ru/skvazhinnaya-dobycha/326-opyt-podzemnoy-gazifikacii-i-peregona-goryuchih-slancev-chast-1.html>

Открытое акционерное общество «Газпром промгаз» (ОАО «Газпром промгаз»). - № 2008137285/04; заявл. 18.09.2008; опубл. 10.05.2010, <http://www.fips.ru>

Патент № 2442885 Российская Федерация, МПКЕ 21 В 43/24, В 01 D 53/00. Способ и устройство для улавливания и секвестрирования двуокси углерода и для извлечения энергоносителей из крупных континентальных массивов в процессе и после завершения извлечения углеводородных видов топлива или загрязняющих веществ с использованием электрической энергии и критических жидкостей. Авторы: Коглиандро Д.А. (US), Мосес Д.М. (US). Патентообладатель: Рейтеон Компани (US). - № 2008148629/03, заявл. 03.05.2007; опубл. 20.02.2012, <http://www.fips.ru>

Справочник сланцепереработчика. / Под ред. М.Г. Рудина, Н.Д. Серебрянникова. - Л.: Химия. Ленингр. отд-ние. - 1988. - 255 с.

Стрижакова Ю.А. Развитие и совершенствование переработки горючих сланцев с получением химических продуктов и компонентов моторных топлив. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - Уфа. - 2011.

An Assessment of Oil Shale Technologies. - DIANE Publishing. - 1980. - 517 p. - <http://www.princeton.edu/~ota/disk3/1980/8004/8004.PDF>

Assessment of technology for the liquefaction of coal. National Academy of Sciences. - 1977. - P. 29.

Cena R.J. Modified Retorting for Waste treatment. - E&TR. - 1994. - 10 p.

Cena R.J., Thorsness C.B. LLNL Oil Shale Pilot Plant status report. Eastern oil shale symposium, Lexington, Kentucky, 6-8 November, 1990.

Golubev N. Solid heat carrier technology for oil shale retorting // Oil Shale. - 2003. - Vol. 20. - No. 3. - P. 324-332. - http://kirj.ee/public/oilshale/6_golubev_2003_3s.pdf

Jaber J.O., Sladek T.A., Mernitz S., Tarawneh T.M. Future Policies and Strategies for Oil Shale Development in Jordan // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. - 2008. - Vol. 2. - No. 1. - P. 31-44.

Johnson H.R., Crawford P.M., Bungler J.W. Strategic significance of America's oil shale resource. Volume II: Oil shale resources, technology and economics. - http://www.fossil.energy.gov/programs/reserves/npr/publications/npr_strategic_significancev2.pdf

Qian J., Wang J. World oil shale retorting technologies. - International Oil Shale Conference. - Amman, Jordan. - http://www.sdnj.jo/International_Oil_Conference/rtos-A118.pdf

Sunggyu Lee. Oil Shale Technology. - CRC Press. - 1990. - pp. 117-118.

Taback H.J., Goldstick R.J. Air Pollution Control Alternatives for Shale Oil Production Operations. - 1987. - P. 202-204.

Tamm P.W., Bertelsen C.A., Handel G.M., Spars B.G., Wallman P.H. Chevron STB oil shale retort // Energy Progress. - Vol. 2. - No. 1. - P. 37-42.

Zyuba O.A., Glushchenko O.N.

St. Petersburg State National Mineral and Raw University "Gorny", St. Petersburg, Russia, olyazyuba@mail.ru, 31415926@list.ru

REVIEW OF MODERN THERMAL METHODS OF OIL SHALE PROCESSING AND ECOLOGICAL ASPECTS OF THEIR USE

The review of modern of oil shale processing thermal methods (onsurface and partly underground) are analyzed. Their specifications (configurations of retorts and coolants) are described. The environmental risks of thermal surface technologies of oil shale processing are evaluated on the basis of technical and environmental criteria.

Key words: oil shale, surface technology, ground technology, retort, pyrolysis.

References

An Assessment of Oil Shale Technologies. DIANE Publishing, 1980, 517 p., available at: <http://www.princeton.edu/~ota/disk3/1980/8004/8004.PDF>

Assessment of technology for the liquefaction of coal. National Academy of Sciences, 1977, p. 29.

Cena R.J. Modified Retorting for Waste treatment. E&TR, 1994, 10 p.

Cena R.J., Thorsness C.B. LLNL Oil Shale Pilot Plant status report. Eastern oil shale symposium, Lexington, Kentucky, 6-8 November, 1990.

Geri Dzh.Kh. *Proizvodstvo i svoystva motornogo topliva, poluchennogo iz goryuchikh slantsev* [Production and properties of motor fuel from oil shale]. Perspektivnye avtomobil'nye topliva. Moscow, 1982.

Golubev N. Solid heat carrier technology for oil shale retorting. Oil Shale, 2003, vol. 20, no. 3, p. 324-332, available at: http://kirj.ee/public/oilshale/6_golubev_2003_3s.pdf

Jaber J.O., Sladek T.A., Mernitz S., Tarawneh T.M. Future Policies and Strategies for Oil Shale Development in Jordan. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2008, vol. 2, no. 1, p. 31-44.

Johnson H.R., Crawford P.M., Bunger J.W. Strategic significance of America's oil shale resource. Volume II: Oil shale resources, technology and economics. Available at: http://www.fossil.energy.gov/programs/reserves/npr/publications/npr_strategic_significancev2.pdf

Novyy spravochnik khimika i tekhnologa. Syr'e i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv. Ch. I. [New Handbook of chemical and process engineer. Raw materials and industrial organic and inorganic substances. Part 1.]. Edited by Pokonova Yu.V., Strakhov V.I. Saint Petesburg: ANO NPO «Mir i Sem'ya», ANO NPO «Professional», 2002, 988 p.

Qian J., Wang J. World oil shale retorting technologies. International Oil Shale Conference, Amman, Jordan, available at: http://www.sdnj.org/International_Oil_Conference/rtos-A118.pdf

Spravochnik slantsepererabotchika [Handbook of shale processor]. Edited by M.G. Rudin, N.D. Serebryannikov. Leningrad: Khimiya. Leningr. otd-nie, 1988, 255 p.

Strizhakova Yu.A. *Razvitie i sovershenstvovanie pererabotki goryuchikh slantsev s polucheniem khimicheskikh produktov i komponentov motornykh topliv* [The development and improvement of oil shale processing with income of chemicals and components of motor fuels]. Synopsis of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Ufa, 2011.

Sunggyu Lee. Oil Shale Technology. CRC Press, 1990, p. 117-118.

Taback H.J., Goldstick R.J. Air Pollution Control Alternatives for Shale Oil Production Operations, 1987, p. 202-204.

Tamm P.W., Bertelsen C.A., Handel G.M., Spars B.G., Wallman P.H. Chevron STB oil shale retort. Energy Progress, vol. 2, no. 1, p. 37-42.