

Б. Д. БЕСОВ, В. И. ВЛАСИХИН

## ОБОГАЩЕНИЕ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА ПЕРЕЛЮБ-БЛАГОДАТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Горючие сланцы разведанного в Поволжье уникального по запасам Перелюб-Благодатовского месторождения могут быть использованы в народном хозяйстве страны для получения как чистых энергоносителей (бессернистого газа и жидкого топлива), так и остродефицитных химических продуктов [1]. Однако необходимым условием, обеспечивающим высокую экономическую эффективность использования этих сланцев, является их обогащение.

Для изучения принципиальной возможности обогащения волжских сланцев Институтом обогащения твердых горючих ископаемых Минуглепрома СССР в 1983 г. были проведены предварительные исследования обогащения трех керновых проб пластов II, III и IV Перелюб-Благодатовского участка. Опыты проводили в лабораторных условиях с применением методов флотации и гравитации — в криволинейных потоках (в шнековом сепараторе) и на полупромышленном стенде с пневматическим сепаратором. Установлено, что рассматриваемые сланцы весьма труднообогащаемы, поскольку характеризуются высоким содержанием серы (до 4%), которая генетически связана с органическим веществом и при обогащении переходит в концентрат, повышая его сернистость по сравнению с ее уровнем в исходной горной массе. Применение флотационного метода для обогащения сланцев всех трех пластов месторождения оказалось нецелесообразным. Гравитационные методы (пневматический и в шнековом сепараторе) дали удовлетворительные результаты по пластам III и IV.

Для обогащения крупнотоннажной представительной пробы сланца гравитационными методами в полупромышленных условиях\* была взята керновая проба массой 100 т, отобранная на Коцебинском участке месторождения в районе поисковой скважины 105 по III сложному пласту, представленному переслаивающимися горючими сланцами и сапропелевыми глинами. В пробу были включены также вмещающие глины — слои толщиной 10 см из кровли и подошвы пласта, — которые попадают в добычу при механизированной выемке. По данным изучения стратиграфического разреза, только 54% его общей мощности приходится на сланцы. С учетом разницы в плотностях сланца и глины содержание сланца в пробе оценивается не более чем в 46—48%.

Характеристика пробы: теплота сгорания  $Q_s^d$  7,1 МДж/кг, зольность  $A^d$  66,3%, содержание общей серы  $S_t^d$  3,4%. После дробления пробы до крупности менее 100 мм выход предназначенного для обогащения в тяжелосреднем сепараторе сланца крупностью более 25 мм составил около 50% при  $Q_s^d$  10,4 МДж/кг и  $A^d$  59,4%. При аналогичном выходе качество сланца крупностью менее 25 мм гораздо ниже:  $Q_s^d$  4,5 МДж/кг и  $A^d$  73,3%. Это объясняется склонностью глины к переизмельчению и должно учитываться при разработке тех-

\* В проведении испытаний принимали участие инженеры института Е. А. Иванова, В. И. Королева, Э. М. Семенова и др.

нологической схемы обогащения. Выход сланца крупностью до 1 мм, переходящего в шлам при мокрых процессах обогащения или в пыль при сухих процессах, составил 4,2%.

Распределение общей серы свидетельствует о тесной связи ее содержания с теплотой сгорания (рис. 1): чем больше теплота сгорания и соответственно меньше зольность, тем выше содержание серы. Такой характер распределения подтверждает связь серы с органическим веществом сланца. Поэтому при обогащении содержание серы должно увеличиваться в концентрате и уменьшаться в отходах по сравнению с ее содержанием в исходном продукте. Самые легкие фракции, как и следовало ожидать, отличаются наибольшей теплотой сгорания и минимальной зольностью. Качество более тяжелых фракций резко ухудшается, и начиная с плотности более 1800—1900 кг/м<sup>3</sup> эти фракции, судя по качественным показателям, представлены в основном глинистым материалом.

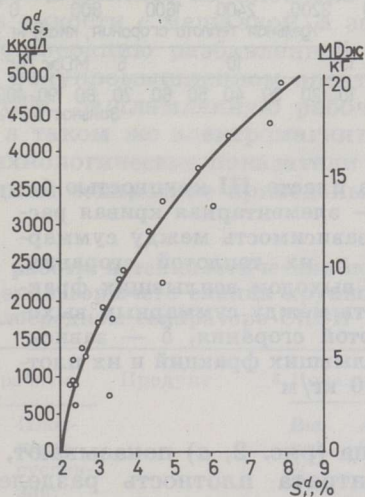


Рис. 1  
Корреляционная зависимость между содержанием серы (общей) и теплотой сгорания сланца

Для определения обогатимости горючих сланцев использован метод Бэрда [2]. Суть его заключается в том, что решающим фактором при определении обогатимости гравитационным методом является количество материала, которое содержится в пределах 100 кг/м<sup>3</sup> выше и ниже принятой плотности разделения исследуемого материала на составляющие компоненты. Теоретический баланс продуктов обогащения представлен в табл. 1, кривые обогатимости, построенные по данным фракционного анализа, приведены на рис. 2.

Таблица 1

Теоретический баланс продуктов обогащения  
(плотность разделения 1650 кг/м<sup>3</sup>)

Продукт	Выход, %	$Q_s^d$ , МДж/кг	$A^d$ , %	$S_s^d$ , %
Сланец машинного класса 25—100 мм				
Концентрат	74,0	12,2	54,5	4,59
Отходы	26,0	3,8	74,1	2,51
Исходный	100,0	10,0	59,6	4,05
Сланец машинного класса 1—25 мм				
Концентрат	27,5	9,6	54,5	3,43
Отходы	72,5	3,1	77,3	2,38
Исходный	100,0	4,9	71,0	2,67

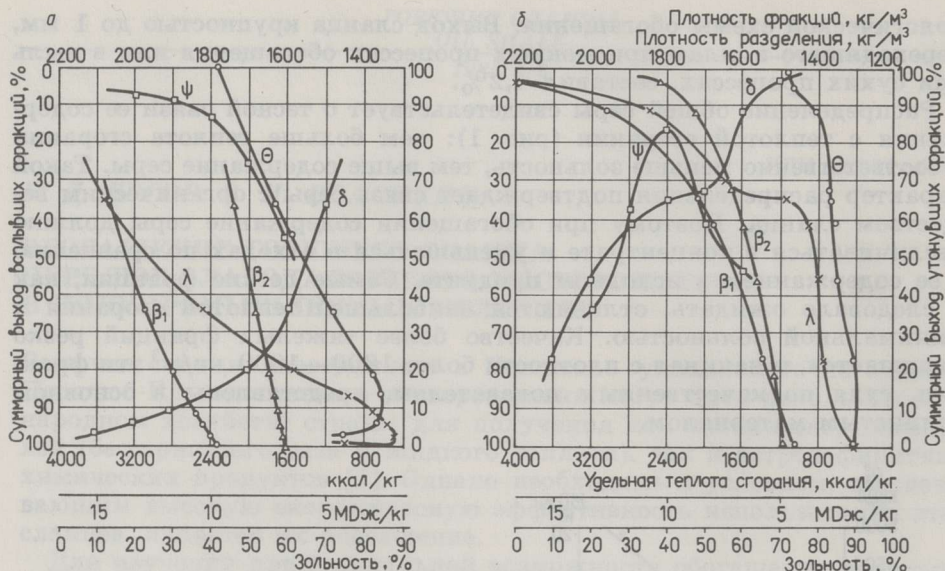


Рис. 2

Кривые обогатимости горючего сланца пласта III крупностью более 25 мм (а) и менее 25 мм (б):  $\lambda$  — элементарная кривая распределения теплоты сгорания,  $\beta_1$  — зависимость между суммарным выходом всплывших фракций и их теплотой сгорания,  $\beta_2$  — зависимость между суммарным выходом всплывших фракций и их зольностью,  $\psi$  — зависимость между суммарным выходом утонувших фракций и их теплотой сгорания,  $\delta$  — зависимость между суммарным выходом всплывших фракций и их плотностью разделения,  $\psi$  — кривая  $\pm 100 \text{ кг/м}^3$

Кривые обогатимости крупного сланца (рис. 2, а) показывают, что для получения кондиционного концентрата плотность разделения должна доходить до  $1650 \text{ кг/м}^3$ , причем разделение будет происходить в области «исключительно трудной» обогатимости. Для получения из мелкого сланца крупностью менее 25 мм (рис. 2, б) концентрата с зольностью не более 54,5% плотность разделения должна приближаться к  $1650 \text{ кг/м}^3$  (область «почти непреодолимой» трудности обогащения). Для получения концентрата с теплотой сгорания не менее 11,7 МДж/кг плотность разделения должна доходить до  $1610 \text{ кг/м}^3$ . Выход концентрата в этом случае уменьшится до 15%.

В целях изучения поведения исследуемого материала при обогащении мокрыми методами, а также для определения количества образующегося в воде шлама была исследована размокаемость сопутствующих сланцу пород, которая определялась потерей массы исходной пробы за время нахождения ее в воде. Наиболее размокающей оказалась серая глина. Находясь в воде, она уже через 1 мин дает 13,8% шлама крупностью 0—1 мм, а через 10 мин — 41,4%. Размокаемость черной сапропелевой глины составляет 11,9—14,0% при выдержке 10 мин. Наличие сильноразмокающей глины при обогащении мокрыми методами приведет к значительному усложнению схем и удорожанию процесса обогащения.

Принимая во внимание результаты исследований исходной пробы, для крупного сланца (более 25 мм) был выбран наиболее эффективный метод обогащения в минеральных суспензиях — в тяжелосредных сепараторах. Для мелкого сланца (крупностью менее 25 мм) первоначально предполагалось использовать отсадочные машины, однако

из-за неудовлетворительной работы на сланцах их заменили шнековыми сепараторами, хорошо зарекомендовавшими себя на лабораторной стадии исследований. Из сухих методов обогащения наиболее приемлемым оказался пневматический.

При проведении испытаний мы руководствовались требованиями заказчика (Саратовской геологоразведочной экспедиции) к качеству концентрата:  $Q_s^d$  не менее 11,7 МДж/кг и  $A^d$  не более 54,5% при максимально возможном выходе.

Обогащение крупного сланца проводили на полупромышленном стенде, оснащенном тяжелосредним двухпродуктовым сепаратором СКВП производительностью до 20 т/ч, по типовой технологической схеме с использованием магнетитовой суспензии. Схема предусматривала подачу исходного сланца из бункера в сепаратор, где при заданной плотности происходило его разделение на концентрат и отходы. Отделение суспензии, обезвоживание и промывка продуктов обогащения производились на плоскокачающихся грохотах. Суспензию готовили в емкости с мешалкой, а затем насосом перекачивали в сепаратор. Регенерацию разбавленной суспензии осуществляли в одну стадию в полупромышленном электромагнитном барабанном сепараторе типа ЭБМ. Зашламленную рабочую суспензию периодически перечищали в таком же электромагнитном сепараторе (режимы и полученные технологические показатели обогащения крупного сланца в тяжелосреднем сепараторе приведены в табл. 2).

Таблица 2

Режим работы и технологические показатели обогащения горючего сланца крупностью более 25 мм в тяжелосреднем сепараторе СКВП

Режим работы		Продукт	Показатели обогащения					
Производительность, т/ч	Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>		Выход, %	$A^d$ , %	$Q_s^d$ , МДж/кг	Содержание тяжелых фракций в концентрате, %	Плотность разделения, кг/м <sup>3</sup>	Показатель эффективности обогащения, кг/м <sup>3</sup>
3,5	1670	Концентрат	77,2	53,3	12,4	3,3	1760	65
		Отходы	22,8	79,9	3,3			
		Исходный	100,0	59,4	10,3			
3,4	1680	Концентрат	82,7	54,3	12,3	2,1	1780	70
		Отходы	17,3	80,1	3,0			
		Исходный	100,0	58,8	10,6			
4,2	1740	Концентрат	87,3	57,0	11,9	2,3	1870	107
		Отходы	12,7	80,6	3,1			
		Исходный	100,0	60,0	10,7			
7,5	1740	Концентрат	86,8	57,2	11,6	2,4	1875	120
		Отходы	13,2	80,8	2,9			
		Исходный	100,0	60,4	10,4			

Наилучшие показатели обогащения получаются при плотности разделения 1760—1780 кг/м<sup>3</sup>. При этом выделяется концентрат, отвечающий требованиям заказчика. Дальнейшее повышение плотности разделения приводит к росту выхода концентрата и увеличению его зольности. Теплота сгорания при этом закономерно снижается. Обогащение в магнетитовой суспензии происходит удовлетворительно. Однако наличие большого количества размокающей глины приводит к забиванию дробилки, залипанию сит на грохотах разгрузочного порога сепаратора, а также к ухудшению реологических свойств магнети-

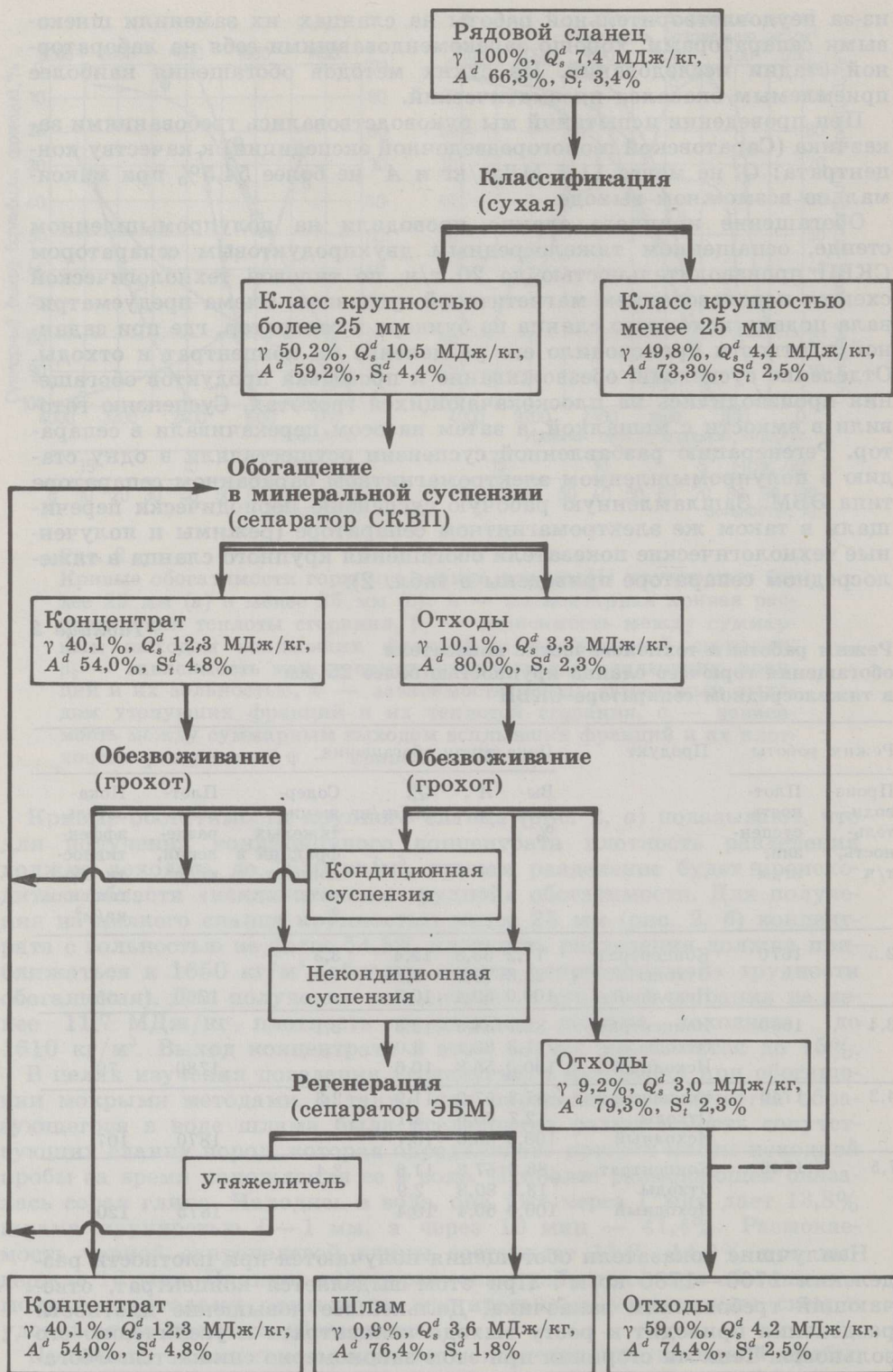


Рис. 3

Качественно-количественные показатели обогащения горючего сланца пласта III в тяжелосреднем сепараторе в полупромышленных условиях при плотности разделения 1770 кг/м<sup>3</sup>

товой суспензии. Качественно-количественные показатели обогащения горючего сланца в тяжелосреднем сепараторе в полупромышленных условиях приведены на рис. 3.

Экономическая целесообразность обогащения горючего сланца крупных классов в тяжелосредних сепараторах должна определяться при составлении технико-экономического обоснования строительства обогатительной фабрики на месторождении.

Опыты по обогащению мелкого сланца крупностью 6—25 мм в полупромышленном шнековом сепараторе проводили с отсевом, полученным при грохочении исходной пробы сланца, додробленной до крупности менее 100 мм, а также со сланцем, полученным при додроблении исходной пробы до крупности менее 25 мм (табл. 3). Показатели обогащения оцениваются как неудовлетворительные по ряду причин.

Таблица 3

Результаты полупромышленных испытаний  
обогащения горючего сланца крупностью 6—25 мм  
в шнековом сепараторе

Продукт	Выход, %	$Q_d^d$ , МДж/кг	$A^d$ , %	$S_i^d$ , %
Опыт 1				
Концентрат	3,7	14,2	49,2	5,1
Отходы	71,3	5,1	73,6	2,2
Шлам	25,0	4,5	75,2	1,5
Исходный продукт (отсев)	100,0	5,3	73,1	2,1
Опыт 2				
Концентрат	13,0	10,9	58,2	3,9
Отходы	62,0	4,1	76,5	1,9
Шлам	25,0	4,5	75,4	1,6
Исходный продукт (отсев)	100,0	5,1	73,9	2,1
Опыт 3				
Концентрат	9,0	14,6	48,2	4,7
Отходы	71,0	5,1	69,7	2,3
Шлам	20,0	6,2	68,8	3,0
Исходный продукт (дробленный сланец)	100,0	6,4	67,6	2,7
Опыт 4				
Концентрат	27,5	12,7	52,9	4,1
Отходы	57,5	4,8	72,7	2,3
Шлам	15,0	5,1	71,6	2,2
Исходный продукт (дробленный сланец)	100,0	7,0	67,1	2,8

При обогащении отсева выход кондиционного концентрата составил всего 3,7%, тогда как основная масса органического вещества осталась в отходах и шламах, качество которых оказалось на уровне исходного продукта. К тому же даже при обогащении сланца машинного класса (6—25 мм) количество образующегося шлама чрезвычайно велико (до 25% от сланца машинного класса). Учитывая, что проблема грохочения сланца по зерну в 6 мм технически еще не решена, в реальных промышленных условиях следует рассчитывать на обогащение сланца крупностью 0—25 мм, которое приведет к значительно большему выходу шлама по сравнению с полученным при испытаниях.

Обогащение дробленого сланца дало выход кондиционного концентрата до 27,5% от сланца машинного класса при теплоте сгорания отходов 4,8 МДж/кг. Налицо низкая эффективность обогащения сланца в шнековом сепараторе и его неспособность конкурировать с тяжелосредним сепаратором.

Пневматический метод обогащения, достоинствами которого считаются получение сухих конечных продуктов, низкая себестоимость процесса, простота технологических схем и отсутствие шламов и водно-шламовых систем, может применяться как самостоятельный метод обогащения рядового сланца крупностью 0—75 мм, а в комплексе с мокрыми методами — для обогащения мелочи (отсевов).

Испытания пневматического обогащения горючего сланца, додробленного до крупности 0—25 мм, были проведены в полупромышленном сепараторе ПСК-1 производительностью до 3 т/ч. Этот сепаратор — полупромышленный аналог серийно выпускаемых пневматических сепараторов СП-12.

Поточно-транспортная схема стенда является типовой для отделений обогащения пневматических фабрик и предусматривает выделение в сепараторе концентрата и отходов при циркуляции промпродукта. Воздушная система сепаратора замкнутая, с дополнительным отсосом запыленного воздуха из-под зонта и выбросом его в атмосферу после двухстадийной (сухой и мокрой) очистки от пыли.

Проведенные испытания подтвердили принципиальную возможность обогащения исследованного сланца пневматическим методом (табл. 4). Из исходного сланца ( $Q_s^d$  6,2—6,8 МДж/кг,  $A^d$  68,7—66,8%) получен концентрат с  $Q_s^d$  7,5—8,4 МДж/кг и  $A^d$  64,5—63,1%. Выход концентрата 74,4—70,3%. При этом выделены отходы с  $Q_s^d$  2,5—2,9 МДж/кг и  $A^d$  81,2—77,6%.

Таблица 4

Результаты полупромышленных испытаний  
обогащения горючего сланца крупностью менее 25 мм  
в пневматическом сепараторе

Продукт	Выход, %	$Q_s^d$ , МДж/кг	$A^d$ , %	$S_t^d$ , %
Опыт 1				
Концентрат	74,4	7,5	64,5	3,6
Отходы	25,0	2,4	81,2	3,0
Пыль из циклонов	0,6	6,9	65,5	3,7
Исходный продукт (дробленый сланец)	100,0	6,2	68,7	3,3
Опыт 2				
Концентрат	70,3	8,4	63,1	3,4
Отходы	28,4	2,8	77,6	2,7
Пыль из циклонов	1,3	7,5	64,0	3,9
Исходный продукт (дробленый сланец)	100,0	6,8	66,8	3,2

Однако полученные при пневматическом обогащении концентраты не отвечают требованиям заказчика ни по зольности, ни по теплоте сгорания. По этой причине пневматический метод обогащения не рекомендуется использовать для получения высококачественных продуктов из исследованных сланцев.

## Выводы

1. Исследованный сланец по классификации Бэрда характеризуется «исключительно трудной» и «почти непреодолимой» обогатимостью. Сопутствующие сланцу породы представлены сильноразмокающими глинами.

2. По результатам полупромышленных испытаний для обогащения сланца крупностью более 25(20) мм рекомендуются тяжелосредние сепараторы с магнетитовой суспензией. Однако наличие большого количества размокающей глины может усложнить процесс обогащения, что потребует дополнительных затрат на обработку шламовых вод.

3. Экономическая целесообразность применения тяжелосредних сепараторов для обогащения сланцев Перелюб-Благодатовского месторождения должна быть определена при разработке технико-экономического обоснования строительства обогатительной фабрики на месторождении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Илясов В., Каширский В. Сланцы Поволжья. — Соц. индустрия, 1983 г., 21 июля.
2. Фоменко Т. Г., Буговецкий В. С., Погарцева Е. М. Исследование углей на обогатимость. — М., 1978.

Представил Э. Г. Кальюез

Поступила в редакцию  
30. 11. 1984

Институт обогащения  
твердых горючих ископаемых  
Министерства угольной промышленности СССР  
г. Люберцы



**PILOT PLANT PREPARATION  
OF THE PERELYUB-BLAGODATOVSKOYE OIL SHALE**

The proved deposits of oil shales in the Volga area are unique ones, but their quality must be improved by the preparation processes. This paper covers the results of studying the particle size composition, fraction and quantitative compositions of the layer III oil shale core-sample of the Perelyub-Blagodatovskoye deposit. This shale is found to be high-ash and high-sulfur (4%) one, has low specific energy (7409 kJ/kg) and poor washability characteristics. The shale is accompanied by clays highly degraded in water. The results of the pilot plant testing of coarse shale (+25 mm) preparation in the dense medium separator with magnetite suspension and of fine shale (-25 mm) preparation in screw type and pneumatic separators are discussed. Positive results were obtained while using a dense medium separator. The specific energy of the produced concentrate was (Q<sub>d</sub>) 12 307 kJ/kg, the ash content 54.0%, sulfur totals 4.8%. The yield of the +25 mm concentrate is 82.7%.

The results of these investigations are intended to evaluate technical and economic expediency of the oil shale extraction and utilization in the Volga oil shale basin.

Ministry for Coal Industry, USSR,  
Institute for Solid Fossil  
Fuels Preparation  
Ljubertsy

Пробит	Влага, %	Q <sub>d</sub> , kJ/kg	S, %	A, %
Опыт 1				
Концентрат	11.1	12307	4.8	54.0
Отход	20.0	7409	4.0	50.0
Пыль из шлюза	10.0	7409	4.0	50.0
Исходный продукт (дробленый образец)	100.0	7409	4.0	50.0
Опыт 2				
Концентрат	10.0	12307	4.8	54.0
Отход	20.0	7409	4.0	50.0
Пыль из шлюза	10.0	7409	4.0	50.0
Исходный продукт (дробленый образец)	100.0	7409	4.0	50.0