

## ДИАГНОСТИКА ЛИТОТИПОВ СРЕДНЕВОЛЖСКИХ СЛАНЦЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГАММА-ГАММА КАРОТАЖА

Н.С. Лавренко, Н.В. Конанова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Lavrenko@geo.komisc.ru,  
Konanova@geo.komisc.ru

На европейском севере запасы мезозойских горючих сланцев (ГС) сосредоточены в отложениях волжского возраста ( $J_3v$ ) в четырех изолированных сланценосных районах: Сысольском, Яренгском, Ижемском и Большеземельском. Среди волжских отложений максимальное развитие на данной территории имеют средневолжские отложения. Они несогласно залегают на отложениях широкого возрастного диапазона от девона до кимеридж-оксфорда и также несогласно перекрываются отложениями поздневолжского, раннемелового и четверичного возраста. Отложения ранневолжского возраста размыты и практически отсутствуют. Верхневолжские отложения в Сысольском районе отсутствуют, в Яренгском районе они развиты локально, в Ижемском и Большеземельском районах пользуются широким распространением. Промышленные пласты ГС во всех районах приурочены в основном к основанию средневолжского подъяруса, к аммонитовой зоне *Dorsoplanites panderi*. На отдельных площадях Яренгского, Ижемского и Большеземельского районов пласты ГС, представляющие практический интерес, известны также в верхней части средневолжского подъяруса и в верхней части верхневолжского подъяруса. Мощность сланценосной толщи на большей площади территории составляет в среднем 8–10 м и редко превышает 20 м.

К настоящему времени в генетическом и в прикладном аспектах более детально исследованы ГС первых трех районов (Горючие сланцы, 1989). Весьма важной задачей для определения целесообразности промышленного освоения ГС является разработка кондиций для различных методов выемки пластов ГС и оценки качества и направления использования данного сырья. Для определения рационального комплекса ГИС на горючие сланцы на Поингской площади ПГО были проведены специальные геофизические исследования. Для выяснения возможности диагностики литотипов сланценосной толщи в традиционный комплекс ГИС был включен гамма-гамма каротаж в плотностной (ГГК-П) и селективной (ГГК-С) модификациях.

**Геологическая характеристика.** Поингская площадь является одной из перспективных объектов ГС Сысольского сланценосного района. На северной и западной части площади горючие сланцы залегают на глубинах не более 50 м. По составу отложения карбонатно-глинистые. Набор литологических типов пород средневолжских сланценосных отложений весьма ограниченный. Визуальное определение керогенсодержащих литотипов вызывает затруднения из-за однообразия пород по внешним признакам. Они преимущественно темно-серые с различными оттенками, известковистые, тонкослоистые с плитчатой отдельностью; не содержат видимых невооруженным глазом органических или минеральных включений; породы сернистые, для них характерно при тлении издавать запах жженой резины; для идентификации их требуется аналитическое определение показателей качества. Основной характеристикой керогенсодержащих пород является их теплотворная способность или теплота сгорания ( $Q_s^d$ ); По теплоте сгорания среди пород толщи выделены следующие основные литотипы: горючие сланцы с  $Q_s^d > 6,3$  МДж/кг, глинистые горючие сланцы (ГГС) с  $Q_s^d = 5,04–6,03$  МДж/кг, керогенсодержащие глины (КСГ) с  $Q_s^d < 5,04$  МДж/кг, глины, мергели, известняки с  $Q_s^d = 0$  МДж/кг. Органическое вещество (ОВ) керогенсодержащих пород представлено, согласно

классификации Гинзбург, в основном коллоальгинитом с незначительной долей (первые проценты в ОБ) псевдовитринита. Исходя из минералогического состава сланцеобразующей части и состава керогена, горючие сланцы можно отнести к известково-глинистому коллоальгинитовому типу. Зольность керогенсодержащих пород обусловлена наличием тонкодисперсного глинистого вещества и известкового вещества. Состав золы в основном алюмосиликатный. Горючие сланцы отличаются высокой степенью разложенности ОБ и связанности с минеральной составляющей. Для керогенсодержащих литотипов установлены повышенные содержания ряда микроэлементов; наибольшие концентрации характерны для пород, наиболее насыщенных органическим веществом, т.е. горючих сланцев. Глины и мергели серые, светло-серые со слабыми зеленоватыми оттенками массивные. Все литотипы разреза изобилуют остатками микро-, макрофауны и известковистых водорослей. По литологическим признакам сланценосная толща условно разделена на две части: верхнюю темноцветную и нижнюю сероцветную. В толще наблюдаются более 20 слоев горючих сланцев. Темноцветная часть толщи содержит три промышленных пласта ГС. Пласт I состоит большей частью из керогенсодержащих глин, а также из слоев ГС. Мощность пласта I варьирует, максимально достигая до 1,5 м.

Породы, разделяющие пласт I с нижележащим пластом II, представлены в основном керогенсодержащими глинами мощностью около 2–3 м. Пласт II состоит из 2 или 3 слоев ГС, переслаивающихся со слоями керогенсодержащих глин. Пласт II не выдержан по простиранию, мощность пласта изменяется от 0,8 до 2,5 м.

Пласт III приурочен к низам темноцветной части разреза, также меняется по мощности и качеству, но пользуется более широким распространением за пределами изучаемой площади по сравнению с вышележащими пластами. Мощность варьирует от 0,7 м до 2,5 м, в среднем составляя 1,5 м. Горючие сланцы в пласте характеризуется тонкой плитчатой отдельностью, местами ГС листоватые по наслоению. Пласт состоит из 5–7 слоев ГС, переслаивающихся со слоями керогенсодержащих глин. Мощности КСГ сильно меняются по простиранию, варьируют от 0,01 до 0,9 м.

Общая мощность темноцветной части сланценосной толщи иногда превышает 10 м.

Нижняя часть толщи состоит из переслаивающихся светло-серых с зеленоватым оттенком глин, мергелистых глин, керогенсодержащих глин, глинистых горючих сланцев и горючих сланцев и очень редко слоев известняков незначительной мощности. Мощности слоев ГС составляет всего несколько сантиметров, и промышленные пласты не картированы на данной площади.

Общая мощность нижней части толщи варьирует от 3 до 12 м.

**Геофизическая характеристика.** Керновое и бескерновое бурение обычно при поисках горючих сланцев сопровождается комплексом гамма-каротажа и электрического каротажа методом кажущегося сопротивления с градиент-зондом и потенциал-зондом. С его помощью успешно интерпретировали характеризующиеся повышенной естественной радиоактивностью сланценосные отложения в разрезах скважин. На Поингской площади, кроме этих методов, были поставлены методы бокового токового каротажа (БТК), гамма-гамма каротажа в плотностной (ГГК-П) и селективной (ГГК-С) модификациях и кавернометрия скважин (КВ) в масштабе диаграмм 1:50.

Для всех типов пород были построены диаграммы естественной радиоактивности. Керогенсодержащие глины имеют максимальную естественную радиоактивность — 14 мкр/час, а для горючих сланцев ее значение выше и составляет 19 мкр/час. ГГС и ГС обладают большими значениями кажущегося электрического сопротивления по сравнению с таковыми, характеризующими КСГ и известковистые глины и мергели. Геофизические параметры определены для литологических типов широкого возрастного диапазона: от средней юры до кайнозоя (таблица). На площади в разрезе скважин выделены три геофизических репера (рис. 1).

**Репер I** отбивает границу между подошвой нижнемеловых отложений, литологически представленных глауконитовыми глинами с желваками фосфоритов, и верхнеюрскими глинистыми отложениями. **Репер II** является границей между темноцветной и сероцветной частями сланценосной толщи. **Репер III** представляет границу между подошвой отложений волжского яруса и кровлей кимериджских отложений.

## Геофизические характеристики литологических типов

Возраст	Породы	$g$ , мкР/час	$r$ , Ом×м	$gg-d$ , ×1000 имп/мин	$gg-s$ , ×1000 имп/мин
Q	известняки	7,5-9,1	13-33		
	глины	8-13	6-11	10,5-16,5	2-3
K <sub>1</sub>	глауконитсодержащие глины	10,4-26	30-40	15-17	2,5-3,5
	глины, керогенсодержащие глины	9,1-13	10-12	16,5-23	3,5-5,5
J <sub>3v2</sub>	горючие сланцы, глинистые горючие сланцы	10,4-18,2	30-35	17-33	4-7,5
	мергели, известняки	4,5-9,1	15-30	10,5-15,5	1-2,5
J <sub>2kl</sub> -J <sub>3km</sub>	глины	7,2-16,5	8-12	10,5-16,5	2-3
	глауконитсодержащие глины	10,4-20,8	12-25	13,5-17	2-3,5
J <sub>2</sub>	пески	2,6-9,1	50-250		
	глины	5,0-11,7	50-70		

Обычно гамма-гамма-каротаж используется для детального расчленения угленосных толщ, количественной оценки зольности и теплотворной способности углей. Метод основан на измерении рассеянного гамма-излучения, возникающего при облучении пород  $\gamma$ -квантами средней энергии, до 1–2 МэВ. По физическим свойствам горючие сланцы во многом схожи с углями. Поэтому метод ГГК был использован для выяснения его возможности определения

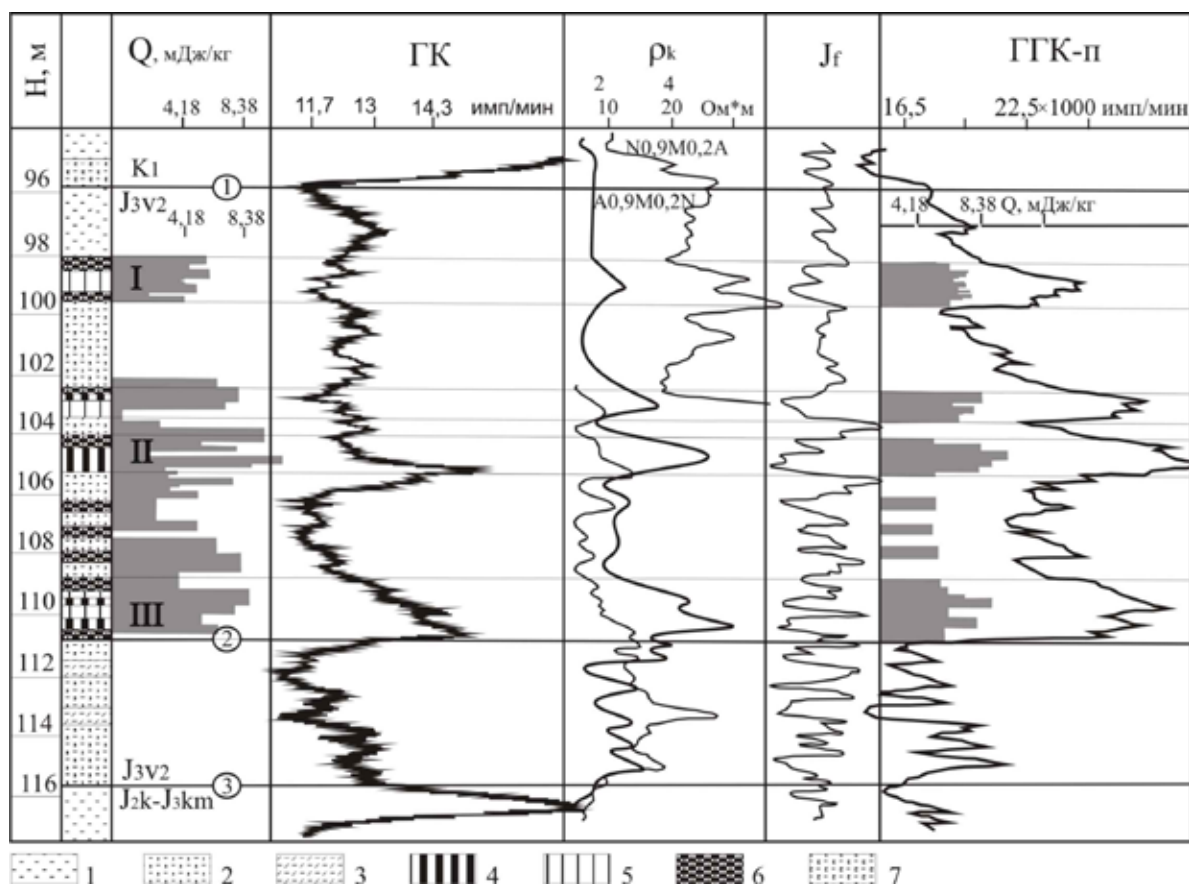


Рис. 1. Результаты комплексной интерпретации данных каротажа в скважине 325:

- 1 — глина; 2 — керогенсодержащие глины (<5,04 МДж/кг); 3 — мергель; 4 — горючие сланцы (>7,5 МДж/кг); 5 — горючие сланцы (6,3–7,5 МДж/кг); 6 — глинистые горючие сланцы (5,04–6,3 МДж/кг); 7 — глауконитсодержащие глины

теплотворной способности литотипов узкого стратиграфического интервала средневожского возраста, и для выяснения корреляции между значениями ГГК, и, соответственно, лабораторными определениями теплотворной способности пород. Поскольку коэффициент корреляции между зольностью и теплотой сгорания близок к единице, то по данным каротажа достаточно было определение только одного параметра — теплоты сгорания горючих сланцев —  $Q_s^d$ . Определение  $Q_s^d$  проводилось по величине прироста интенсивности рассеянного  $\gamma$ -излучения  $\Delta J_{\gamma\gamma-n}$ ,  $\Delta J_{\gamma\gamma-c}$  (рис. 2). При этом за нулевой уровень берется интенсивность рассчитанного регионального фона рассеянного  $\gamma$ -излучения пород, залегающих выше и ниже продуктивных пластов.

Отсутствие каверн в интервале вожского яруса позволяет широко применять метод ГГК обеих модификаций для выделения пластов горючих сланцев в толще. Все пласты на их диаграммах отмечаются максимумами интенсивности рассеянного  $\gamma$ -излучения. Диаграммы каротажа сопоставлялись с гистограммами теплоты сгорания горючих сланцев. Например, пласт нулевой по ГГК не выделяется, но довольно четко определяется повышенными значениями

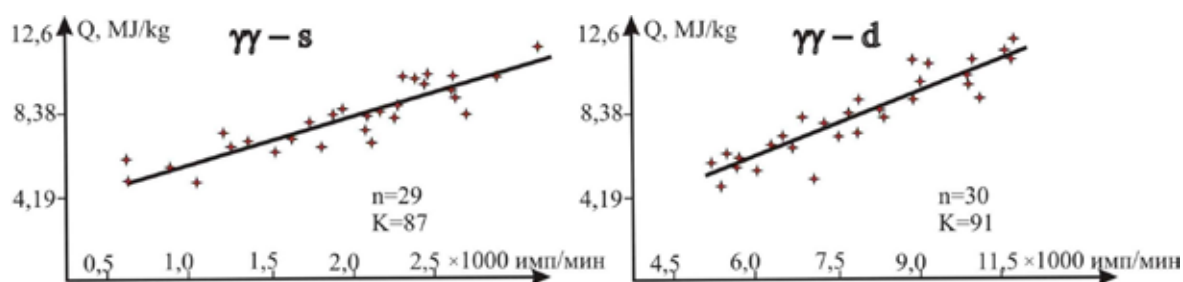


Рис. 2. Корреляция теплоты сгорания горючих сланцев с геофизическими данными ГГК-С ( $\gamma\gamma-s$ ) и ГГК-П ( $\gamma\gamma-d$ )

$J_{\gamma\gamma}$ . По ГГК условно выделяется только кровля пласта I-в, а на диаграмме ГГК можно было различить в пласте I-в два сдвоенных пропластка. Комплекс ГИС позволяет уверенно выделять пропластки ГС мощностью 0,2 м и меньше. Погрешность определения теплоты сгорания горючих сланцев по данным каротажа составляет 10–20 %. Для уменьшения погрешности необходимо предусматривать отбор образцов из стенок скважин на уровне геофизических аномалий боковым сверлящим грунтоносом при производстве комплекса ГИС во всех опорных скважинах.

**Выводы.** Установлена значительная дифференциация литологических типов средневожских пород по геофизическим характеристикам. Применение ГГК, входящего в комплекс ГИС, позволяет с высокой достоверностью диагностировать керогенсодержащие разновидности пород, уточнять литологическое строение сланценовой толщи и прогнозировать состав рабочих пластов средневожских горючих сланцев. Сочетание данного комплекса геофизических работ и детальной геологической документации с полным отбором и анализом керна в опорных скважинах и применение ГИС с обязательным включением в комплекс ГГК в бескерновых скважинах позволит рентабельно провести разведочные работы на горючие сланцы. Модели сланцевых залежей, построенные с помощью ГИС, возможно, будут востребованы на этапе разработки локальных объектов горючих сланцев в регионе, например, при необходимости селективной выемки пропластков или слоев горючих сланцев с определенными качественными показателями, а также будут учитываться при обосновании перспективных направлений геологоразведочных работ в других сланценозных районах.

*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН № 12-У-5-1018 «Онтогенез углеводородных систем Печорского нефтегазоносного бассейна».*

#### Литература

Васильева Л.Ф., Дедеев В.А., Дурягина Л.А. и др. Горючие сланцы европейского севера СССР. Сыктывкар: Коми научный центр УрО АН СССР, 1989. 152 с.

Konanova N.V., Lavrenko N.S. Determination of the calorific value of Sysola oil shale from gamma-gamma logging data // Oil shale. 2012. V. 29. № 3. P. 295–302.