

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА ПО ДАННЫМ ГИС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

© 2019 г. В.С. Илясов¹, В.Н. Староверов², П.А. Вахрамеев¹, А.В. Жабин³

1 – ООО "НьюТек Сервисез"

2 – АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

3 – Воронежский госуниверситет

Аннотация: в статье анализируются результаты геофизических исследований, проведенных на Коцебинском месторождении горючих сланцев. Выявлена взаимосвязь между данными ГИС и качеством исследуемых продуктивных пластов. Определены критерии выбора наиболее перспективных объектов для последующей разработки. Определена взаимосвязь между ГК и КС, выявлена ведущая роль данных методов при определении технических характеристик сырья.

Ключевые слова: горючие сланцы, Волжский бассейн, Коцебинское месторождение, ГИС, ГК, КС, качество горючего сланца, выход жидких УВ.

Илясов Валерий Сергеевич e-mail: vilyasov@nt-serv.com
Староверов Вячеслав Николаевич staroverovvn@gmail.com

THE SEPARATION OF PRODUCTIVE LAYERS OF OIL SHALES IN VOLZHSKIY BASIN ACCORDING TO WIRELINE LOG DATA FOR PROMPT ESTIMATION OF ITS QUALITY

V.S. Ilyasov¹, V.N. Staroverov², P.A. Vahrameev¹, A.V. Zhabin³

1 – NewTech Services LLC

2 – JSC "Lower-Volga Research Institute of Geology and Geophysics"

3 – Voronezh State University

Abstract: the wireline log data from Kotsebinskoe oil shale field were analyzed. The correlation between wireline log data and quality of productive layers of oil shales was discovered. The main criteria of choice of perspective objects was determined. The correlation between gamma-ray logging and apparent resistivity logging is determined, the main role of these methods in estimation of technical characteristics of raw materials is proposed.

Key words: oil shales, Volzhskiy basin, Kotsebinskoe field, wireline logging, gamma-ray logging, apparent resistivity logging, oil shale quality, liquid yield.

Выделение продуктивных интервалов в процессе геофизических исследований скважины (ГИС) является важным инструментом в процессе проведения поисково-оценочных, разведочных, а также эксплуатационных работ. Цель проведения ГИС в нефтегазовых скважинах заключается в определении мощности продуктивного горизонта, литологического состава, петрофизических свойств, характера насыщения и границы контактов флюидов. Проведение ГИС в скважинах, целью которых является вскрытие и изучение сланценой толщи, позволяет решать несколько иные задачи. Помимо проведения литологического рас-

членения разрезов, определения мощности основных продуктивных пластов перед нами стоит цель – оперативно определить качество продуктивных пластов уже на этапе бурения, до проведения опробования.

Объектом нашего исследования является верхнеюрская продуктивная толща (зона *Dorsoplanites. panderi* (d.p)) Коцебинского месторождения (рис. 1, 2) Волжского бассейна горючих сланцев.

Рассматривая строение Коцебинского месторождения горючих сланцев (рис. 3), можно обратить внимание, что степень вертикальной анизотропности основных промышленных показателей продуктивных

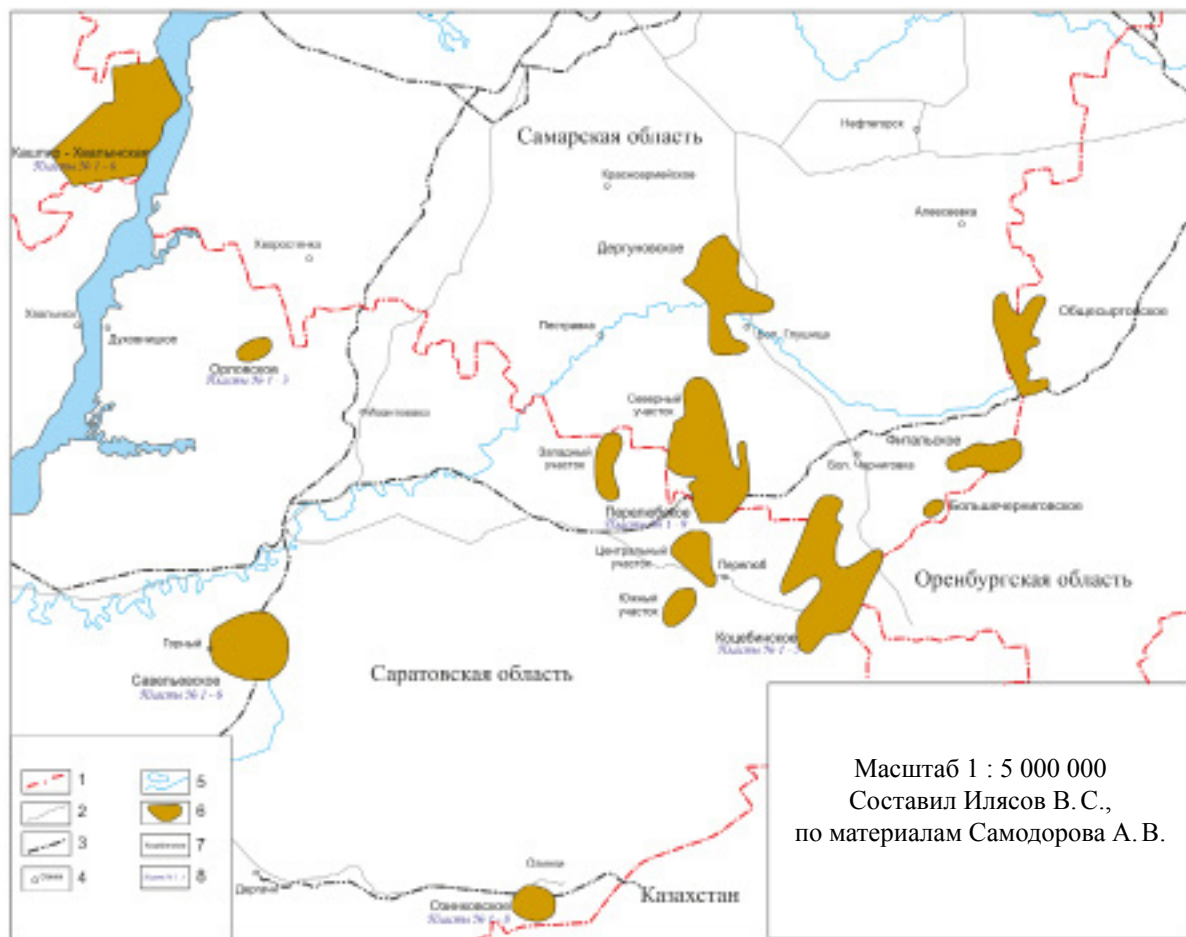


Рис. 1. Обзорная карта месторождений горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна

1 – административные границы, 2 – автомобильные дороги, 3 – железные дороги, 4 – населенные пункты, 5 – гидросеть, 6 – месторождения, 7 – название месторождения, 8 – количество продуктивных пластов

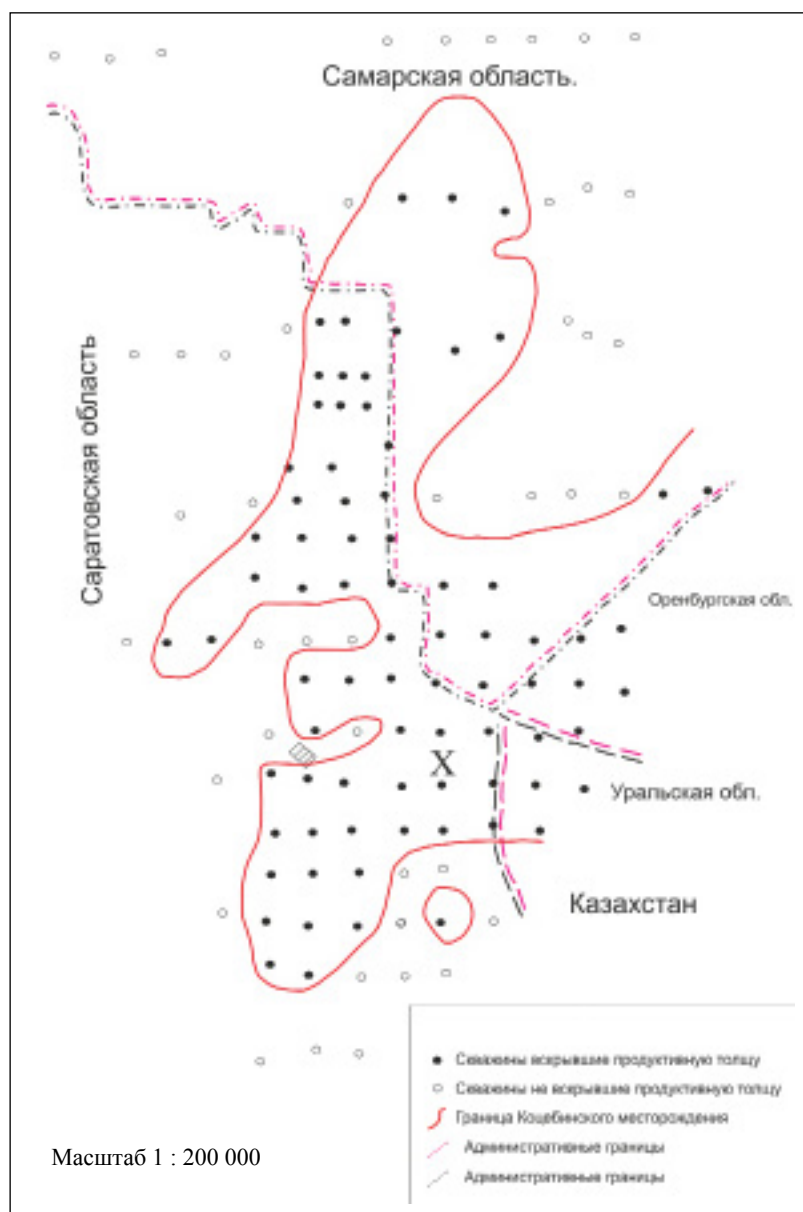


Рис. 2. Обзорная карта Коцебинского месторождения

(Составил Илясов В. С., по материалам Самодорова А. В.)

пластов колеблется значительно больше, чем по латерали (рис. 4). Поэтому, на первый взгляд, может показаться, что одним из самых простых методов определения качества горючих сланцев является метод корреляции продуктивных пластов посредством данных ГИС. Однако данный метод не всегда может дать адекватную оценку качеству сырья, т.к. условия формирования пластов горючих сланцев отличались не только по вертикали, но и по площади.

Колебания палеоглубины бассейна, его биопродуктивности, изменения поступления терригенного материала с источников сноса, развитие аноксии бассейна, а также многие другие факторы влияли на качество рассматриваемого объекта [2, 3, 5, 6]. В связи с этим возникла необходимость разработки алгоритма первичного определения качества горючих сланцев по данным ГИС.

В разрезе Коцебинского месторождения выделяются пять продуктивных пластов,

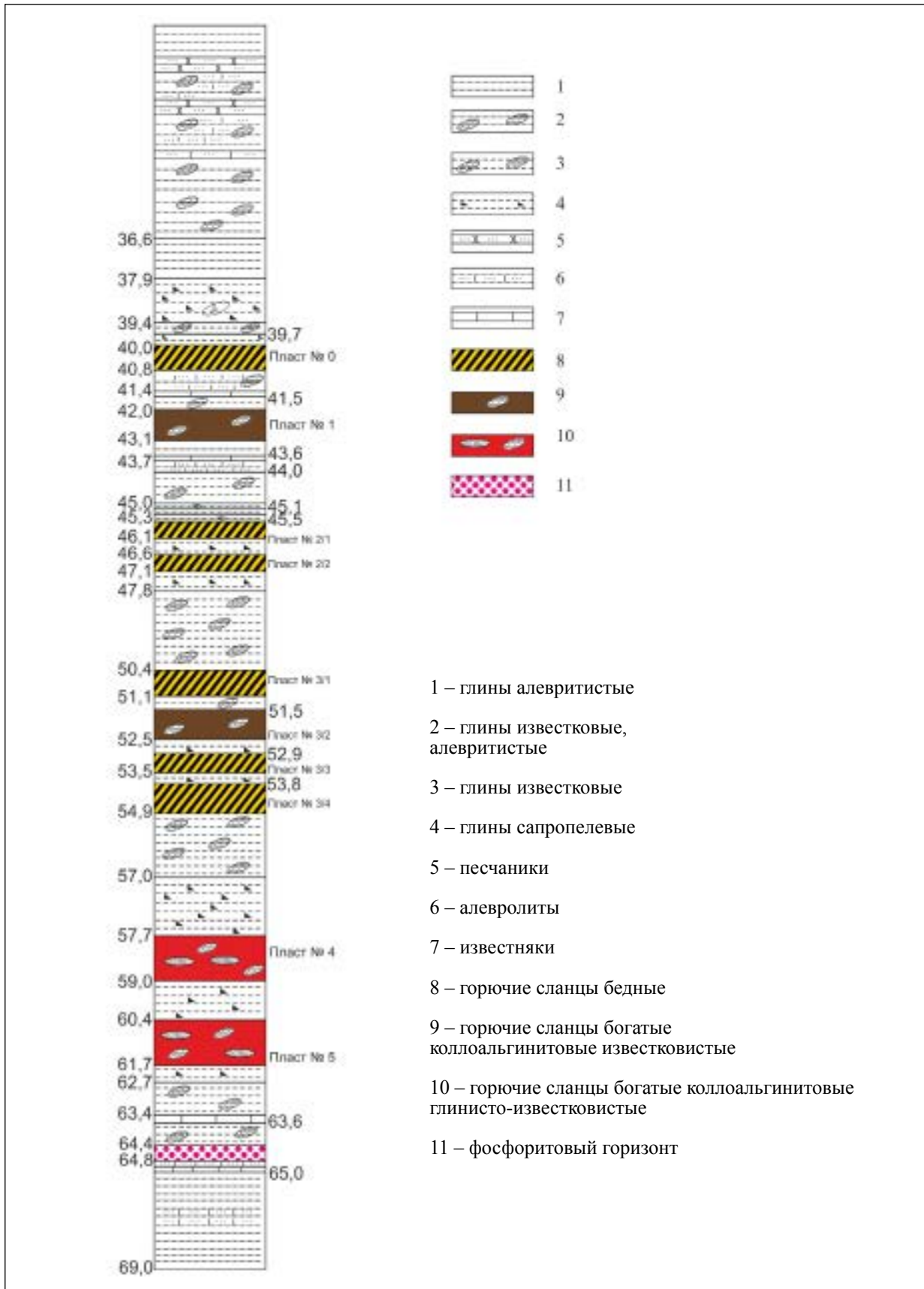


Рис. 3. Разрез скв.1038 Коцебинского месторождения горючих сланцев

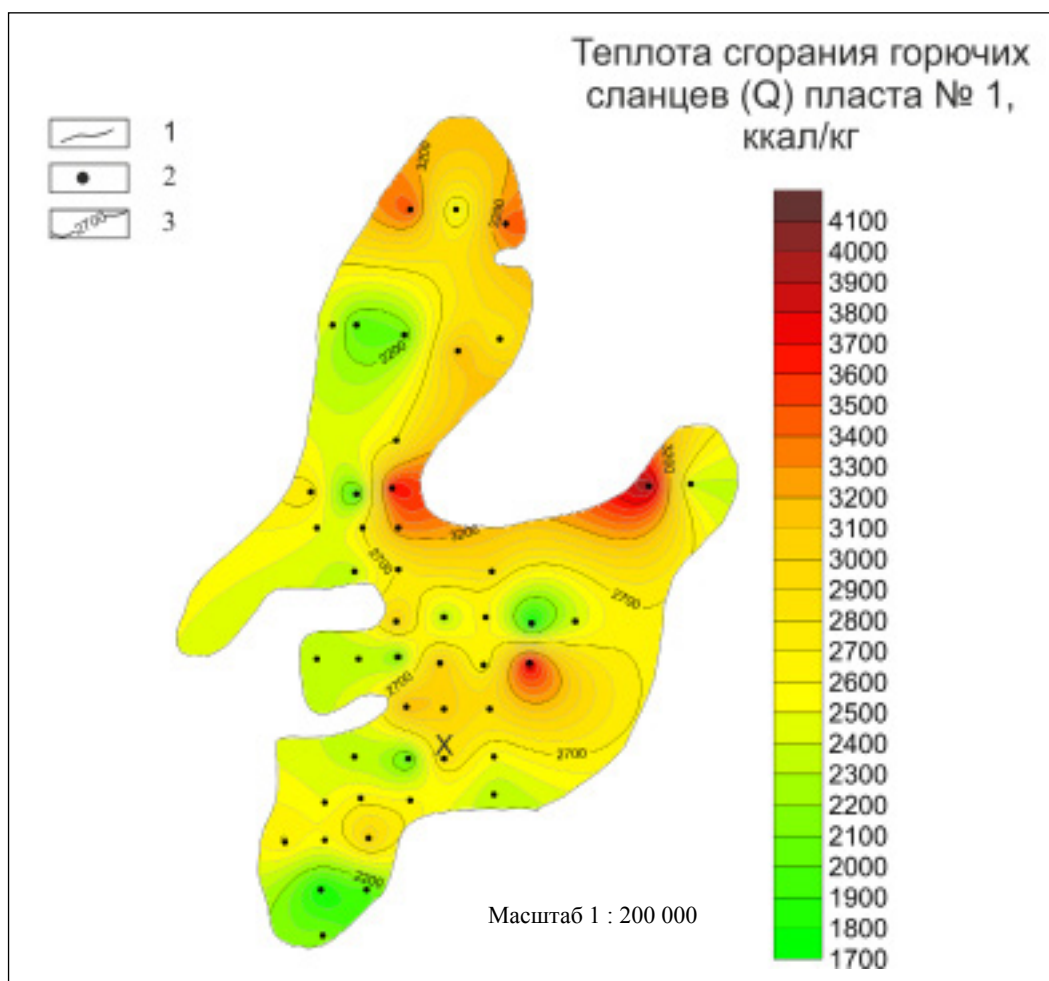


Рис. 4. Коцебинское месторождение, пласт № 1 (выход УВ, %)

1 – граница месторождения, 2 – скважины, 3 – изолинии теплоты сгорания

которые обладают как простым (единый элемент), так и сложным строением (пласт, разбитый на несколько пачек). Поисково-оценочное и разведочное бурение в период с 1980 по 1987 гг. показало, что в целом количество продуктивных пластов на месторождении выдержано, однако встречаются случаи выклинивания одной или двух пачек третьего пласта, в редких случаях отсутствует четвертый продуктивный пласт. Средняя мощность продуктивных пластов составляет порядка 0,7–1 м.

В зависимости от технологических параметров и особенностей вещественного состава выделяются [1, 7] три основных литотипа горючих сланцев: бедные, богатые

коллоальгинитовые известковисто-глинистые, богатые коллоальгинитовые известковистые (табл. 1).

Основными технологическими параметрами, определяющими качество горючего сланца, являются: теплота сгорания, зольность, выход газа, сланцевой смолы (нефти), количество и минеральный состав золы.

Под теплотой сгорания (Q) понимают количество выделившейся теплоты, при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) единицы вещества. Измеряется в ккал/кг и является основным техническим параметром горючих сланцев [4].

Характеристика основных литотипов горючих сланцев

	Горючие сланцы бедные	Горючие сланцы богатые коллоальгинитовые известковисто-глинистые	Горючие сланцы богатые коллоальгинитовые известковистые
Теплота сгорания (ккал/кг)	< 2000	1500-3000	> 2500
Выход жидких УВ (%)	< 10	10-20	> 15
Зольность (%)	70-90	50-70	40-65
Содержание ОВ (%)	15-30	25-40	25-60
Глинистое вещество (%)	30-70	20-50	10-30
Карбонатное вещество (%)	10-30	< 10	< 15

Второй параметр – зольность, представляет собой отношение массы негорючего остатка (Золы), полученной после сжигания горючей части топлива, к массе исходного топлива. Обозначается символом «А» и выражается в процентах. Для всех типов твердых топлив зольность – один из основных нормируемых показателей характеристики и оценки их качества, используемый при разработке технических условий, потребительских стандартов, кондиций и при подсчете запасов. Повышение зольности снижает тепловой эффект сжигания топлива, приводит к удорожанию (как балласт) стоимости их транспортировки, отрицательно отражается на технологии процессов переработки и качестве получаемых продуктов (гидравлическое вяжущее, редкоземельные металлы и др.) [4].

Третий параметр – выход сланцевой смолы (аналог нефти) и газа в процессе пиролиза горючих сланцев – имеет прямую зависимость от теплоты сгорания (с увеличением Q увеличивается выход сланцевой смолы и газа) и обратную от зольности. Измеряется в кг/т и м³/т либо в % – сколько возможно получить кг сланцевой смолы или м³ сланцевого газа переработав 1 т горючего сланца [4].

Четвертый параметр – минеральный состав золы, характеризуется химическим

составом минеральной части золы, полученной после пиролиза ГС. Находит широкий спектр применения в разных областях народного хозяйства (дорожное покрытие, строительство, удобрение) [4].

На основании результатов опробования скв.135, а также анализа результатов ГИС были выявлены основные геофизические параметры, характеризующие каждый из исследуемых пластов.

В процессе проведения геологоразведочных работ был выполнен стандартный комплекс геофизических исследований: ГК, ГГК, КС (потенциал-зонд, градиент-зонд) и ПС (рис. 5). Несомненно, современный стандартный комплекс, проводимый в процессе строительства скважин, значительно шире и включает в себя дополнительно такие методы, как ННКт, кавернометрия, МБК, инклинометрия, термометрия и многие другие, однако, учитывая такие факторы, как незначительная глубина скважины, отсутствие необходимости изучения петрофизических свойств продуктивного пласта и его насыщения, определение положения контактов флюидов, мы можем позволить допущение о приемлемом количестве методов, необходимом для решения поставленной задачи.

Анализируя геофизический планшет скв.135 (рис. 5), можно дать оперативное за-

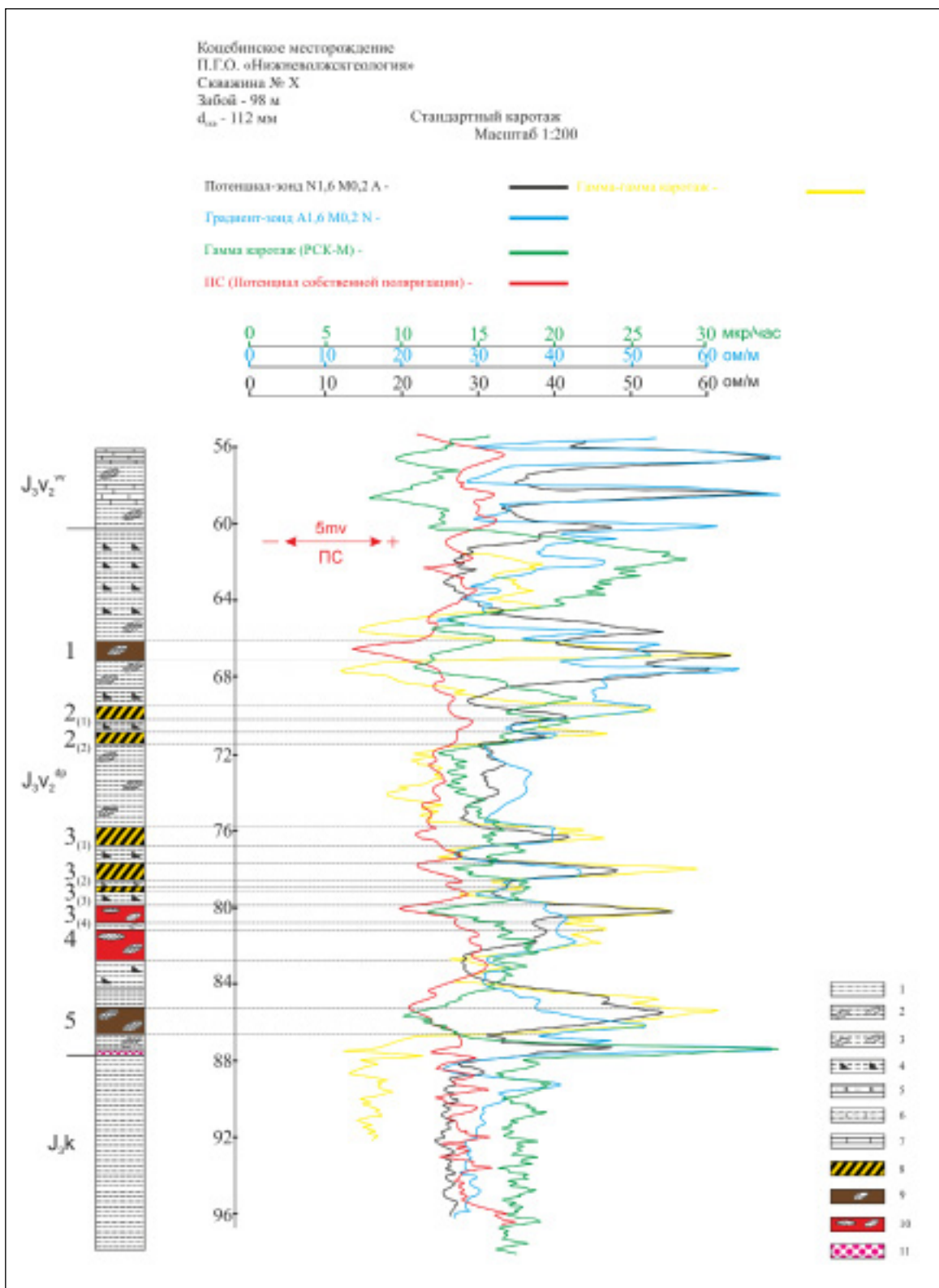


Рис. 5. Геофизический планшет скв.135 Коцебинского месторождения горючих сланцев

1 – глины алевритистые; 2 – глины известковые, алевритистые; 3 – глины известковые; 4 – глины сапропелевые; 5 – песчаники; 6 – алевролиты; 7 – известняки; 8 – горючие сланцы бедные; 9 – горючие сланцы богатые коллоальгинитовые известковые; 10 – горючие сланцы богатые коллоальгинитовые глинисто-известковые; 11 – фосфоритовый горизонт

ключение качеству пластов горючих сланцев. Важно понимать, что точность оперативного заключения зависит от количества методов, суммарное использование которых значительно улучшает результат.

Метод ГК (гамма каротажа) основан на изучении естественной радиоактивности горных пород, что отвечает высокому содержанию глинистой и органической составляющей. В качестве примера мы рассмотрим границу перехода зоны *Dorsoplanites panderi* и *Virgatitus Virgatus* (рис. 6).

Именно зона *Dorsoplanites panderi* относится к периоду наиболее высокой биопродуктивности бассейна и развитию аноксичных событий, результатом чего стало образование пластов горючих сланцев. В этой зоне широко представлен литотип «сапропелевые» глины. Примечателен тот факт, что ни в подстилающих келловейских отложениях, ни в перекрывающих виргатитовых интервалах данный литотип не встречается. Высокая биопродуктивность бассейна, а также его аноксические условия привели к увеличению степени фоссилизации органического вещества, что и отразилось резким ростом кривой ГК на границе двух стратиграфических элементов. Исходя из этого, мы приходим к выводу, что рост значений естественной радиоактивности отражает увеличение содержания органического вещества в горячем сланце, что впоследствии оказывает положительное влияние на его качество. Однако имеет место и другой подход, когда увеличение показаний кривой ГК может сигнализировать об увеличении в породе глинистой состав-

ляющей, что, безусловно, негативно сказывается на качестве горючего сланца, повышая его зольность и снижая выход жидких углеводородов. Один из вариантов решения данной проблемы основывается на сопоставлении кривой ГК и КС. Связанно это, в первую очередь, с третьим важным компонентом, заключенным в горючих сланцах – карбонатным материалом. Дело в том, что во время осадконакопления значительную роль в биомассе бассейна играли секреторные формы фораминифер, химический состав которых включает в себя значительный объем CaCO_3 . Исключение составляет четвертый пласт горючих сланцев, где доминирующую роль играли радиолярии, а CaCO_3 замещался кремнеземом (SiO_2). Поэтому при рассмотрении кривой ГК следует обратить внимание на сопротивление породы. В случае одновременного роста ГК и КС можно предположить, что увеличение естественной радиоактивности породы связано с увеличением органики при неизменном содержании глинистого вещества. В случае роста ГК без видимых признаков изменения сопротивления породы можно говорить об увеличении глинистой составляющей в рассматриваемой породе при снижении объемов органического вещества. Наконец, в горючих сланцах выделяется третий вариант – резкое уменьшение кривой ГК происходит на фоне симметричного роста КС, это объясняется снижением глинистой составляющей в рассматриваемой триаде *ОВ – карбонатное вещество – глинистый компонент* до минимальных значений, что характерно для литотипа «горючие

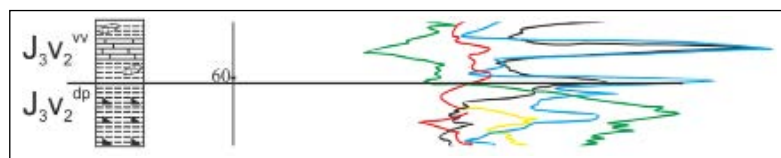


Рис. 6. Фрагмент геофизического планшета, граница зон *dorsoplanites panderi* и *virgatitus virgatus*

Условные обозначения указаны на рис.5

сланцы богатые коллоальгинитовые известковистые».

Метод КС (кажущихся сопротивлений) – скважинные исследования, которые основаны на расчленении пород по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС) [8]. В нашем случае наибольшим сопротивлением обладают известняки, а также пласты, включающие в себя карбонатные соединения (например CaCO_3), такие как глины или горючие сланцы. Вероятно, это связано со снижением порового пространства и, как следствие, снижением связанной минерализованной воды, внутри изучаемых литотипов [9]. Важно понимать, что содержание карбонатных соединений в исследуемых литотипах – величина переменная, особенно это отражается в горючих сланцах, в которых соотношение триады *глина – ОВ – карбонатные минералы* определяет качество полезного ископаемого.

Метод ПС (самопроизвольной поляризации) сводится к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью. Однозначная литологическая интерпретация диаграмм ПС затруднена, т.к. естественное электрическое поле зависит от многих факторов. Чаще всего против глинистых пород наблюдаются положительные аномалии потенциала ПС, а около пористых пластов отрицательные. Интенсивными аномалиями выделяются сульфидные залежи. Слабыми аномалиями отличаются массивные, плотные, плохо проницаемые песчаники и известняки. Скважинные исследования методом ПС служат для расчленения геологических разрезов и корреляции по соседним скважинам [8]. На практике же применение одного лишь ПС для литологического расчленения может оказаться малоинформативным, поэтому преимущественно метод ПС используют для определения границ пластов или смены литотипов.

Метод ГГК (гамма-гамма каротаж) основан на измерении рассеянного гамма-излучения. При взаимодействии гамма-квантов с атомами горной породы происходит ряд сложных процессов, среди которых основные – фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов атомами вещества, комптон-эффект и другие. Чем больше плотность породы, тем больше поглощение и меньше эффект рассеянного излучения. И наоборот, против пористых пород с малой плотностью наблюдаются максимумы на диаграммах гамма-гамма каротажа. Поэтому основная область применения этого метода – расчленение пород по их плотности [8]. В нашем случае практически все пласты горючих сланцев отмечены положительными аномалиями на фоне подстилающих и перекрывающих глин, что говорит о снижении плотности горной породы. Это объясняется повышенным содержанием ОВ, а также значительным сокращением карбонатного и глинистого вещества, плотность которых превышает сапропелевое вещество.

На основании вышеизложенных данных в скв.135 можно выделить пласты, представленные различными литотипами горючих сланцев. К наиболее качественным пластам горючих сланцев относятся пласты № 1, 3 (4), 4, 5, которые представлены такими литотипами, как горючие сланцы богатые коллоальгинитовые глинисто-известковистые и горючие сланцы богатые коллоальгинитовые известковистые. Теплота сгорания варьирует от 2425 до 2875 ккал/кг, выход жидких УВ от 16,3 до 21,48%, зольность изменяется в пределах 40–60%, а содержание серы порядка 5%.

В качестве примера рассмотрим пласты № 1 и № 4 Коцебинского месторождения, которые, несмотря на высокое качество и близкие значения основных технологических параметров, имеют определенные расхождения на геофизических диаграммах.

В кровле пласта № 1 отмечается увеличение показаний ГК (до 15 мкр/ч), впоследствии плавно уменьшающихся к подошве (12 мкр/ч). Вероятно, это может объясняться снижением содержания глинистой составляющей и, соответственно, улучшением качества ископаемого в нижней части пласта, что находит свое подтверждение в смене цвета породы. В верхней части пласта для горючего сланца характерны зеленовато-серые и коричневатые оттенки, что является косвенным индикатором повышенного содержания глинистой составляющей. Напротив, в нижней части исследуемого объекта выделяются разности желтовато-коричневого и светло-коричневого оттенка, обусловленного возможным увеличением роли органического вещества [7]. На диаграмме ПС фиксируется четкая отрицательная аномалия, позволяющая выявить границы пласта. Крупная положительная аномалия на кривой ГГК указывает на резкое снижение плотности породы, по сравнению с выше- и нижезалегающими отложениями, наличие значительного объема органического вещества в горючих сланцах первого пласта прекрасно коррелируется с этими значениями. Анализируя кривые КС, можно с уверенностью сказать, что рост сопротивления породы связан с высоким содержанием CaCO_3 в горючих сланцах (градиент зонд 50 ом/м, потенциал зонд 60 ом/м). Это обусловлено органическим веществом в виде секреторных форм, фораминифер, обладающих карбонатным скелетом. Следовательно, повышенные показатели сопротивления горючих сланцев указывают нам на высокое качество объекта, что и было доказано пиролитическими исследованиями, а также результатами опробования пятидесяти скважин Коцебинского месторождения [6, 7].

Согласно данным ГК, пласт № 4 представлен двумя зонами. В кровле пласта

отмечается снижение ГК (до 16 мкр/ч), что отвечает наиболее перспективной зоне, в связи с уменьшением глинистой составляющей, в нижней части пласта мы наблюдаем плавный рост показаний ГК (до 18 мкр/ч), без сомнения указывающий на ухудшения качества горючего сланца в связи с увеличением глинистого материала. Сопротивление данного пласта значительно ниже остальных, как уже было сказано выше. Это связано с разным типом органики, участвующей в формировании сланценовой толщи (потенциал зонд – 30 ом/м, градиент зонд 40 ом/м). Если в других пластах в качестве породообразующей массы выступали организмы секреторных фораминифер с высоким содержанием CaCO_3 , то для четвертого пласта характерно развитие радиоларий, скелет которых сложен кремнеземом. Вероятно, увеличение плотности данного пласта также связано с увеличением роли кремнезема. Несмотря на это, пласт обладает высокими продуктивными свойствами и является высокоперспективным для дальнейшей разработки. На кривой ПС можно наблюдать вероятное переслаивание горючего сланца разного качества внутри одного пласта.

Помимо продуктивных пластов, характеризующихся высоким качеством, в скв.135 выделяются пласты горючих сланцев, обладающих низким качеством – пласт № 2 и № 3 (первые три пачки). Они относятся к литотипу «горючие сланцы бедные» и обладают следующими технологическими параметрами: теплота сгорания варьирует от 1490 до 1850 ккал/кг, выход жидких УВ от 7,85 до 10,21%, зольность изменяется в пределах 60–70%, а содержание серы около 3%.

В качестве примера рассмотрим пласт № 2. Он включает в себя две пачки, разделенные между собой сапропелевой глиной. Более подробно мы рассмотрим первую пачку. На каротажных диаграммах она

выделяется по следующим признакам (рис. 4).

Пачка № 1 отличается отрицательной аномалией ГК по сравнению с выше- и нижезалегающими пластами глин. Однако сами значения ГК сильно превосходят показания первого пласта, что объясняется существенным увеличением роли глинистого вещества во втором пласте относительно первого и, как следствие, снижением его качества (16–18 мкр/ч). На диаграмме ПС видна незначительная аномалия, которая позволяет четко определить подошву первой пачки, определение кровли в данной ситуации затруднено, т.к. отмечается плавный переход от сапропелевой глины к горючим сланцам. Положительная аномалия на кривой ГК указывает на резкое снижение плотности породы, по сравнению с выше- и нижезалегающими отложениями, увеличение объема органического вещества в горючих сланцах первой пачки второго пласта прекрасно коррелируется с этими значениями, как и в случае с ГК, данная аномалия менее выражена, что также свидетельствует о более низком качестве горючих сланцев первой пачки второго пласта, в сравнении с первым пластом. На кривой КС первой пачки второго пласта, как и в первом пласте, отмечается резкое увеличение сопротивления породы, что определенно связано с активным участием микрофауны в процессе формирования рассматриваемого объекта (потенциал-зонд – 40 ом/ч, градиент-зонд 50 ом/ч). Однако сопротивление породы несколько ниже, чем в вышезалегающем продуктивном пласте, это объясняется, как мы уже отмечали, уменьшением роли органического вещества и увеличением глинистой составляющей.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1) На основе данных ГИС, проведенных в скважинах Коцебинского месторождения, можно определить не только границы

продуктивных пластов, но и дать предварительную оценку их качеству.

2) Использовать результаты данных ГИС нужно только в комплексе проведенных исследований, а также для достоверности подкреплять результаты опробованием скважины, выполненным на данной площади.

3) Наиболее информативными методами ГИС, позволяющими оперативно оценивать качество горючих сланцев, являются ГК и КС. Для высококачественных пластов характерны следующие показатели: 10–15 мкр/ч (ГК), 50–60 ом/ч (потенциал-зонд), 40–50 ом/ч (градиент-зонд). Для низкокачественных пластов характерны следующие показатели: 14–18 мкр/ч (ГК), 40 ом/ч (потенциал-зонд), 30–50 ом/ч (градиент-зонд). Исключением является пласт № 4, несмотря на высокие показатели, на каротажных кривых он характеризуется как низкокачественный пласт. Причиной данного отклонения, вероятно, является характер органического вещества, играющего породобразующую роль – радиолярии (SiO_2), тогда как для всех остальных пластов горючих сланцев породобразующую роль среди организмов играют фораминиферы (CaCO_3), поэтому важно при первичной интерпретации учитывать данный параметр.

4) Показания данных ГК могут выполнять двоякую функцию. С одной стороны, падение ГК говорит нам о возможном снижении глинистой составляющей, с другой – рост показаний ГК может свидетельствовать об увеличении содержания органического вещества. Поэтому производить интерпретацию кривой ГК нужно только совместно с данными по КС.

5) Данные ГК позволяют нам выделить границы зоны D. p., где отражено резкое изменение биопродуктивности бассейна.

6) Как отмечалось выше, в силу высокой латеральной изменчивости, вызванной колебанием разнообразных факторов в процессе литогенеза горючих сланцев, интер-

претация данных ГИС для разных скважин может служить прекрасным инструментом для оперативного анализа изменения качества рассматриваемого объекта.

7) Изучение поведения каротажных кривых внутри пластов и пачек горючих сланцев позволяет выделить прослои полезного ископаемого с разным качеством.

Л и т е р а т у р а

1. Букина Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна /Т. Ф. Букина. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 2013. – 128 с.
2. Гаврилов Ю. О. О возможных причинах накопления отложений, обогащенных органическим веществом, в связи с эвстатическими колебаниями уровня моря //Проблемы эволюции биосферы. – М.: Недра, 1994. – С. 305–311.
3. Гаврилов Ю. О., Щепетова Е. В., Рогов М. А., Щебрина Е. А. Седиментология, геохимия и биота волжских углеродистых отложений средней части Среднерусского моря (Костромская область) // Литология и полезные ископаемые. – Москва: Геологический институт РАН, 2008. – № 4. – С. 396–424.
4. Зеленин Н. И., Озеров И. М. Справочник по горючим сланцам. – Санкт-Петербург: Недра, 1983. – 246 с.
5. Илясов В. С., Староверов В. Н. Роль седиментационного фактора в формировании сланценосной толщи средневожского подъяруса на юго-востоке Волго-Уральской антеклизы //Инновации в разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений. – Казань: изд-во ИЛХАС, 2016. – Т. 1. – С. 176–299.
6. Илясов В. С., Староверов В. Н., Вахрамеев П. А. Построение и анализ продуктивной модели Коцебинского месторождения в связи с перспективами разработки горючих сланцев //Международный научный журнал «Путь науки». – Волгоград: изд-во «Научное обозрение», 2018. – № 1 (47). – С. 73–87.
7. Илясов В. С., Староверов В. Н., Воробьева Е. В. О влиянии литологического состава горючих сланцев Волжского сланценосного бассейна на их технологические параметры //Приборы и системы разведочной геофизики. – 2016. – № 58. – С. 92–102.
8. Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1: Методы прикладной и скважиной геофизики. Учебник. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1997. – 276 с., с ил.
9. Serra O. Fundamental of Well-log Interpretation. V.2. The interpretation of logging data //Developments in Petroleum Science 15B. – Amsterdam: Elsevier, 684 p.

