ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОДАХ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА ОРДОС

УДК 550.3
Сон Зэчжан, Китайский нефтяной университет (Пекин, Китай), Государственная ключевая лаборатория ресурсов нефти и газа и разведки
М.А. Лобусев, доцент, к.т.н., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина (Москва, РФ), MLobusev@gmail.com
Дзянг Дженсюэ, проф., Институт нетрадиционного газа Китайского нефтяного университета (Пекин, Китай)

Качество данных геофизических исследований скважин (ГИС) играет ключевую роль в прогнозировании геологических параметров коллекторов. Данные ГИС характеризуются хорошей непрерывностью и вертикальной разрешающей способностью. Доказана эффективность использования данных ГИС для прогнозирования геологических и геохимических параметров коллекторов, в том числе для прогнозирования содержания органического углерода ($C_{орг}$). В статье на основе хорошо изученного региона «С» бассейна Ордос проведено нормирование результатов ГИС методами среднего значения и гистограмм для данных акустического каротажа (АК), гамма-гамма-каротажа (ГГК), электрического сопротивления (ЭС), нейтронного каротажа (НК). В ходе нормирования кривых ГИС слой C_{7-2} верхнего отдела триаса выбран в качестве представительного, а скважина *А* – в качестве опорной скважины. Полученные результаты показали, что нормирование данных ГИС эффективно сокращает количество систематических ошибок и повышает эффективность прогнозирования суммарного содержания органического вещества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТОД СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ, МЕТОД ГИСТОГРАММЫ, НОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ГИС , НЕФТЬ, ГАЗ, УГЛЕВОДОРОДЫ, ВЕРХНИЙ ОТДЕЛ ТРИАСА.

С начала 2000-х гг. одной из наиболее наукоемких проблем для газовой отрасли является добыча сланцевого газа, извлекаемые запасы которого в мире, по данным Управления энергетической информации США, опубликованным в июне 2013 г., составляют 206 трлн м^3. На долю Китайской Народной Республики из этого объема приходится около 20 %. Многие эксперты уже оценили перспективы Китая в добыче сланцевого газа, хотя и отмечают, что китайским ученым еще предстоит провести значительный объем исследований, несмотря на значительный прогресс в данной области в последние годы.

В период 12-й пятилетки в Китае руководство разведкой и разработкой месторождений сланцевого газа осуществлялось в соответствии с опубликованной 16 марта 2012 г. работой «Планирование развития сланцевого газа (2011–2015 г.)». В регионе «С» бассейна Ордос исследования сланцевого газа начались сравнительно недавно. При этом из-за высокой стоимости лабораторных анализов керна на практике чаще всего для прогнозирования параметров пластов специалисты используют данные ГИС, в связи с чем предстоит увеличить число пробуренных скважин специально для исследования сланцевого газа, провести комплекс специализированных геохимических исследований и т. д.

Одним из важнейших параметров для подсчета запасов сланцевого газа является содержание $C_{орг}$, характеризующее, с одной стороны, способность адсорбции сланцевой породы, а с другой – потенциал генерации газа. Поэтому на сегодняшний день важнейшей задачей для региона «С» бассейна Ордос является разработка методических приемов наиболее эффективной оценки содержания $C_{орг}$ с помощью данных ГИС.

НЕОБХОДИМОСТЬ НОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ ГИС

Кривые ГИС содержат информацию, состоящую из трех компонен-

Song Zeczhang, China Petroleum University (Beijing, China), State Key Laboratory for Oil and Gas Resources and Intelligence
Lobusev M.A., Associate Professor, Ph.D., RGU of oil and gas (NIU) named after I.M. Gubkin (Moscow, RF), MLobusev@gmail.com
Jiang Jengxue, Professor, Institute of Unconventional Gas of China Petroleum University (Beijing, China)

Increasing the efficiency of forecasting the content of natural gas in continental shale rocks using the example of the Ordos basin

The quality of the logging data is the key to the prediction of collectors' geological parameters. Logging data have high continuity and vertical resolution. It's already proved the efficiency using logging datas for predicting geological and geochemical parameters, including for predicting total organic carbon (TOC). In this article, based on well studying of C region in Ordos basin, log normalization was carried for AC, DEN, RT and CNL. In the process of normalization, C7-2 layer of the upper Triassic series was selected as the calibration formation and the A well was selected as the calibration well. The result shows that, on the one hand, log normalization can effectively reduce systematic errors of logging datas and enhanced the efficiency of TOC prediction with the help of logging data.

KEY WORDS: MEAN NORMALIZATION, HISTOGRAM NORMALIZATION, LOG NORMALIZATION, OIL, GAS, SHALE GAS, UPPER TRIASSIC SERIES.

тов: истинные сигналы, отражающие свойства пород; случайный шум; систематические ошибки. Последние связаны с использованием различной аппаратуры, несовпадением калибровки приборов, разницей в операциях при записи и времени проведения ГИС.

Впервые проблему нормирования данных ГИС подняли в своих работах Нейнаст и Нокс. Впоследствии Петчет и Коулсон (1979), Лэнг (1980) и Реймер (1985) доказали необходимость и предложили разные способы нормирования данных ГИС.

Целью нормирования является минимизация систематических ошибок и, соответственно, повышение надежности ГИС. Теоретическая основа заключается в том, что в одной фазовой зональности при проведении каротажа параметры излучения одинаковых пород схожи, особенно их максимальные и минимальные значения в определенном интервале.

В исследуемом регионе для прогнозирования содержания $C_{орг}$ сланцев с помощью АК и ЭС применяется метод $\Delta Log R$ (рис. 1). Стоит отметить, что, хотя к настоящему времени по исследованию сланцевого разреза проведены многочисленные работы, единой модели для исследования $C_{орг}$ не существует.

До нормирования данных ГИС модель прогнозирования методом $\Delta Log R$ была приемлема для скважин *H* и *D*, но для скважин *F* и *L* полученный прогноз ($C_{орг_модель}$) не соответствует данным лабораторного анализа $C_{орг}$ (на рис. 1 красными точками отмечены результаты лабораторного анализа $C_{орг}$ методом пиролиза).

Чтобы сравнить содержание $C_{орг}$ в этих скважинах в соответствующем слое, была построена гистограмма, на которой отражено распределение данных $C_{орг}$ из скважин *H*, *L*, *D* (по скважине *F* мало данных лабораторного анализа) по результатам пиролиза.

На рис. 2 видно, что во всех трех скважинах содержание $C_{орг}$ находится практически на одном уровне. Пиковое значение приходится на диапазон 3,8–5,8 %. Тем не

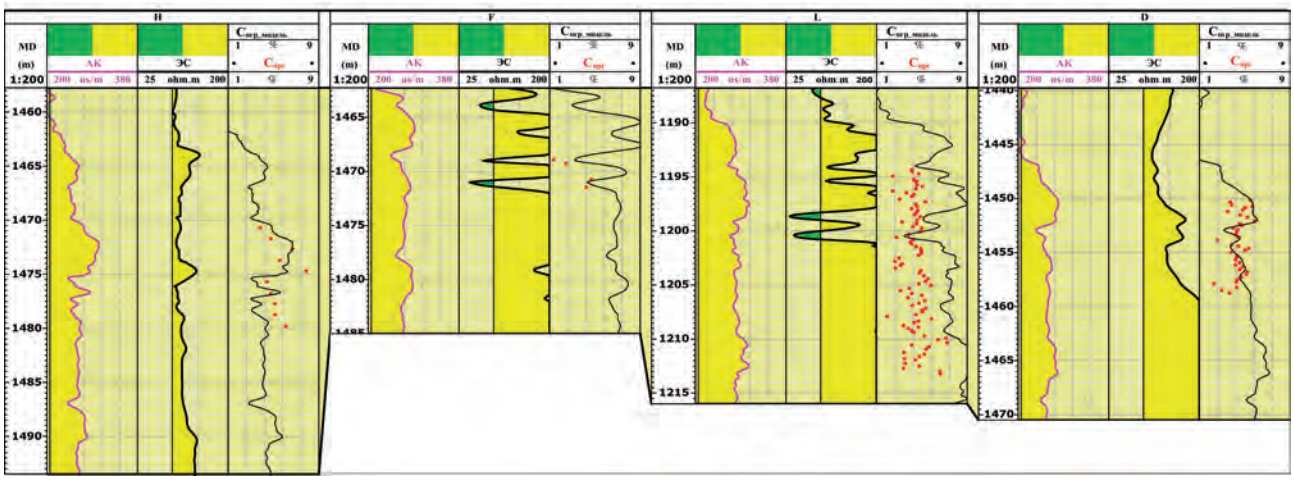


Рис. 1. Прогнозирование $C_{орг}$ до нормирования данных ГИС

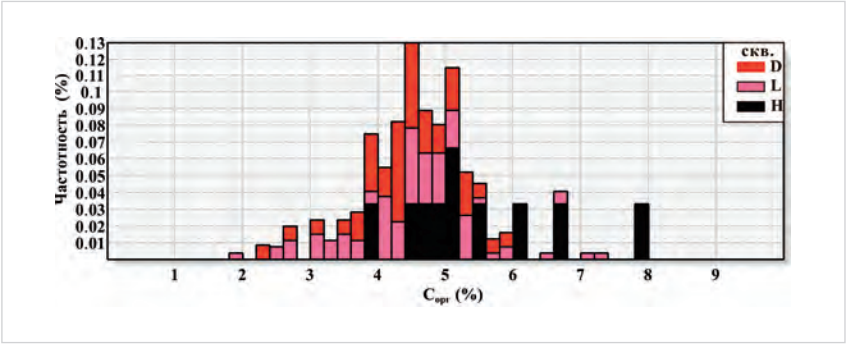


Рис. 2. Гистограмма лабораторного анализа $C_{орг}$ пласта C_{7-2} в разных скважинах

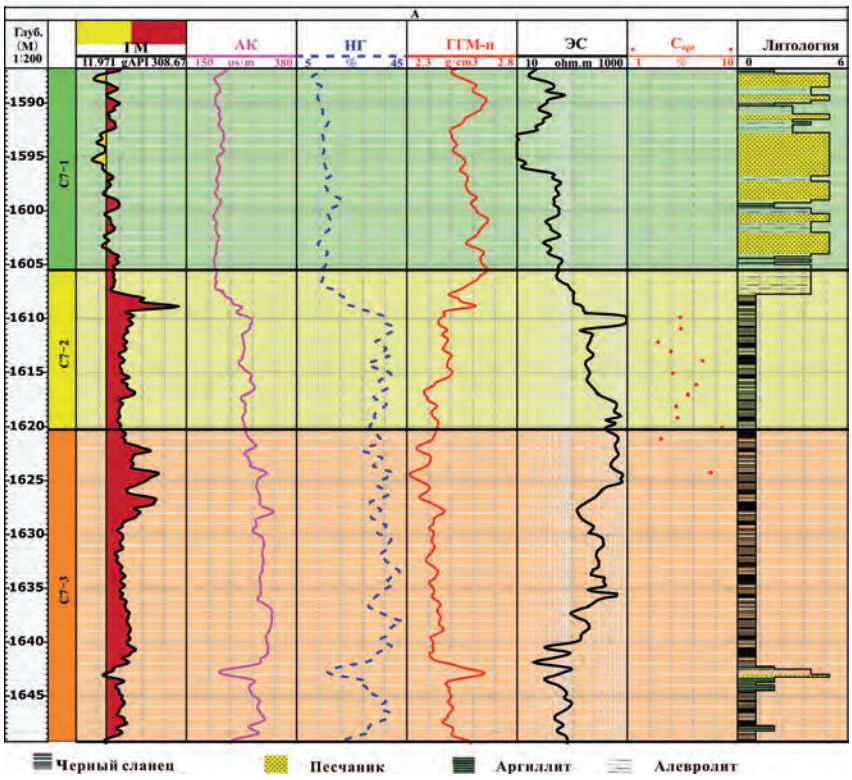


Рис. 3. Данные ГИС и литологический состав пласта C_7 в эталонной скважине

менее все эти данные относятся к одному пласту. Лабораторный анализ подтверждает, что в одной фазовой зональности у одинаковых пород сходные свойства, т. е. у них должны быть схожие ГИС-параметры. Однако, как видно из рис. 1, по скважинам *F* и *L* в результате использования одной модели для прогнозирования $C_{орг}$ получаются разные результаты.

Таким образом, данный пример также свидетельствует о том, что параметры ГИС неточны и существуют систематические ошибки, из-за чего прогнозирование по ГИС не соответствует результатам лабораторных исследований, и для повышения эффективности прогнозирования $C_{орг}$ необходимо проводить нормирование.

ВЫБОР ЭТАЛОННОЙ ЗОНЫ И ЭТАЛОННОЙ СКВАЖИНЫ

Выбор эталонной зоны является геологической основой для нормирования исходя из следующих правил:

• зона должна иметь значительную толщину и быть стабильной с точки зрения литофациального анализа;

• зона должна быть представлена во всем регионе, фиксироваться во всех скважинах, и ее толщина должна быть относительно постоянной;

• данные ГИС должны быть отчетливыми, изменения в них должны быть регулярными и легко прослеживаться во всем регионе.

Верхний отдел триаса однозначно выделяется на десяти пластах C_1–C_{10}, из которых C_7 и C_9 являются целевыми для поисков и освоения залежей сланцевого газа. Структура изучаемой площади является моноклиналью в осадочном чехле древней платформы и погружается в направлении с востока на запад. Структура простая, тектоника исследуемого региона стабильна. Пласты C_7 и C_9 в основном относятся к глубоководным и умеренно глубоководным озерным фациям.

В целях проведения нормирования ГИС сначала на основе района с хорошо изученным геологическим строением с помощью фациального анализа разделили пласт C_7 на три слоя – C_{7-1}, C_{7-2}, C_{7-3}. Оказалось, что весь слой C_{7-2} находится в умеренно глубоководной фации.

При литологическом расчленении пласта C_7 установлено, что верхняя часть состоит главным образом из песчаника (рис. 3). Данные АК ниже, чем в остальной части пласта C_7, плотность (ГГМ-п) сравнительно высока, а электрическое сопротивление повышено. Пласт C_{7-1} содержит мало органических веществ.

Слой C_{7-2} состоит главным образом из сланца и насыщен органическим веществом, характеризуется низкой плотностью (из-за высокого содержания органического вещества), высокими показателями АК и ЭС (из-за высокого удельного сопротивления газа и нефти) и высоким показателем НГ (из-за высокого газосодержания). Эти характеристики сильно отличаются от вышележащего слоя C_{7-1}, что характерно для всего района исследования.

Существует ряд правил выбора эталонной скважины, в числе которых:

• наличие сравнительно полного комплекса исследований ГИС;
• наличие сравнительно полных данных лабораторного анализа керна;
• предпочтительное расположение в центральной части района исследования, а не на периферии;
• высокий уровень сходимости данных ГИС и результатов лабораторных анализов.

Как показано на рис. 4, скважина *А* находится примерно в центре исследуемого района, по ней собраны наиболее полные данные, поэтому в качестве эталонной скважины была выбрана именно скважина *А*, а в качестве эталонной зоны – слой $С_{7-2}$.

МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ

Существует множество примеров нормирования данных ГИС, однако основными принято считать следующие:

1) *метод среднего значения* – также известен как метод нормирования по одному пласту. Вычисляется среднее значение выбранного параметра ГИС в одном пласте (слое) каждой скважины, сопоставляется со средним значением ГИС данного пласта в эталонной скважине, после этого его изменяют таким образом, чтобы среднее значение данного параметра ГИС в каждой скважине равнялось значению в эталонной скважине. Как показано в табл. 1, при проведении нормирования АК полученное среднее значение в эталонной скважине *А* слоя $С_{7-2}$ для калибровки равно 253,695 мкс/м. По формуле нормирования $Y = kX + b$ изменяем ГИС-кривую каждой скважины так, чтобы среднее значение полученной кривой в представительной зоне составило 253,695 мкс/м.

При вычислении среднего значения необходимо обратить внимание на аномальные значения, которые могут оказать сильное влияние на среднее значение. Одним из эффективных статистических методов исключения аномальных значений является построение диаграмм типа «ящик с усами» (Джон Тьюки) (рис. 5). В качестве достоверного интервала выбраны 5 и 95 %. Данные, выходящие за границы «усов», отображаются на рисунке в виде

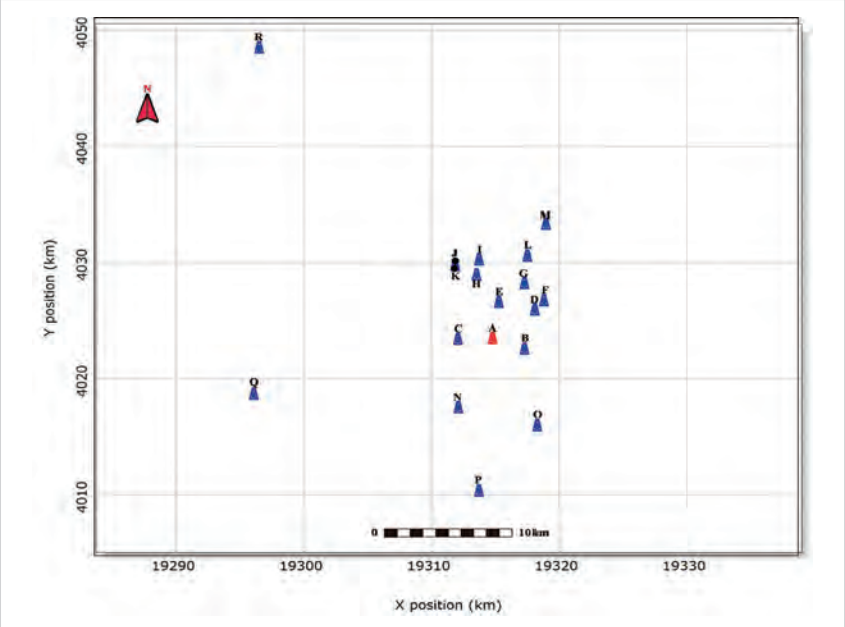


Рис. 4. Расположение эталонной скважины (помечено красным)

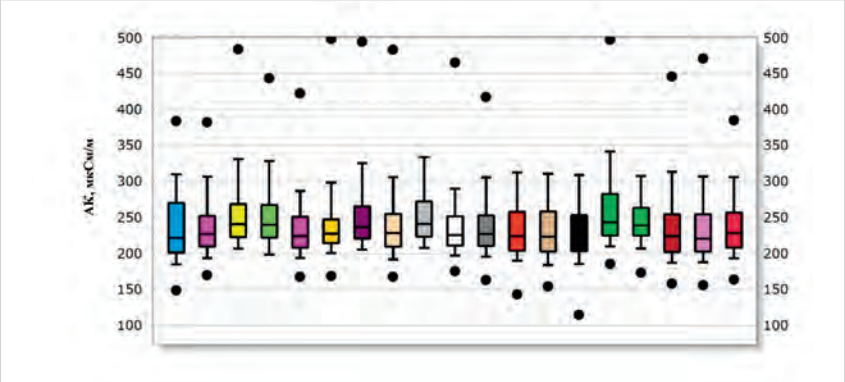


Рис. 5. Исключение аномальных значений АК геостатистическим методом «ящик с усами» (разные цвета обозначают разные скважины)

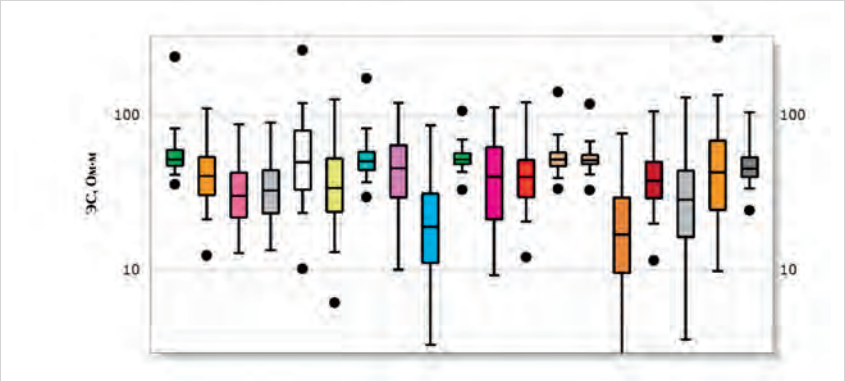


Рис. 6. Исключение аномальных значений ЭС геостатистическим методом – «ящик с усами» (разные цвета обозначают разные скважины)

точек – это аномальные значения, подлежащие исключению. После исключения аномальных производится вычисление среднего значения и выполняется нормирование, как показано в табл. 1.

Кроме того, стоит отметить, что при обработке данных для статистического анализа распространения значений ЭС из-за широкого интервала изменения электрического сопротивления приходится использовать логарифмическую шкалу (рис. 6);

2) *метод гистограммы* – используется для статистического анализа распределения данных ГИС. В качестве достоверного интервала принимается 5 и 95 % распределения параметров ГИС в выбранной зоне, затем вычисляется сам достоверный интервал параметров ГИС в разных скважинах. Параметры ГИС подбираются по формуле нормирования, чтобы нижнее и верхнее значения достоверного интервала в исследуемом пласте (слое C_{7-2}) были равны значениям достоверного интервала в эталонной скважине (табл. 2).

На рис. 7а показано распределение значений сопротивления разных скважин в эталонной зоне. Каждая кривая обозначает одну скважину, в том числе синяя кривая – эталонную. Синие вертикальные линии на графике – достоверный интервал сопротивления в эталонной скважине. На рис. 7б отображено распределение сопротивления после нормирования. Из сопоставления двух частей следует, что после нормирования у всех кривых (т. е. у всех скважин) – одинаковый достоверный интервал в эталонной зоне;

3) *метод трендовой площади*. Теоретической основой метода является то, что геологический параметр изменяется по пространству в соответствии с определенным законом. Обычно данные ГИС по вертикали и латерали изменяются регулярно, отражая природный закон, соответствующий определенным геологическим характеристикам.

Таблица 1. Нормирование методом среднего значения

Скважина	Зона	ГИС	Операция	Среднее значение до нормирования, мкСм/м
H	C_{7-2}	АС	Нормирование	234,853
G	C_{7-2}	АС	Нормирование	235,544
F	C_{7-2}	АС	Нормирование	251,50
E	C_{7-2}	АС	Нормирование	243,66
D	C_{7-2}	АС	Нормирование	231,28
C	C_{7-2}	АС	Нормирование	236,43
B	C_{7-2}	АС	Нормирование	256,46
A	C_{7-2}	АС	Калибровка	253,695
I	C_{7-2}	АС	Нормирование	233,58
J	C_{7-2}	АС	Нормирование	235,74
K	C_{7-2}	АС	Нормирование	235,682
L	C_{7-2}	АС	Нормирование	235,628
M	C_{7-2}	АС	Нормирование	257,322
N	C_{7-2}	АС	Нормирование	248,376
O	C_{7-2}	АС	Нормирование	233,39
P	C_{7-2}	АС	Нормирование	236,541

Таблица 2. Нормирование методом гистограммы

Скважина	Зона	ГИС	Операция	Минимальное значение до нормирования, мкСм/м	Максимальное значение до нормирования, мкСм/м
H	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	60,4234	117,80
G	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	61,2844	626,01
F	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	73,5707	104,58
E	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	21,1501	1216,34
D	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	58,8954	141,44
C	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	70,4287	306,75
B	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	49,4425	580,738
A	C_{7-2}	ЭС	Калибровка	51,6078	677,0634
I	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	62,9023	102,97
J	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	75,4607	443,07
K	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	57,4749	114,977
L	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	57,2724	94,48
M	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	56,2858	870,66
N	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	46,5234	755,86
O	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	29,5125	954,94
P	C_{7-2}	ЭС	Нормирование	49,0154	103,25

Зависимость строится на основе координат *X*, *Y* в качестве переменной, а определенный по ГИС параметр – в качестве зависимой переменной, что позволяет анализировать, как определен-

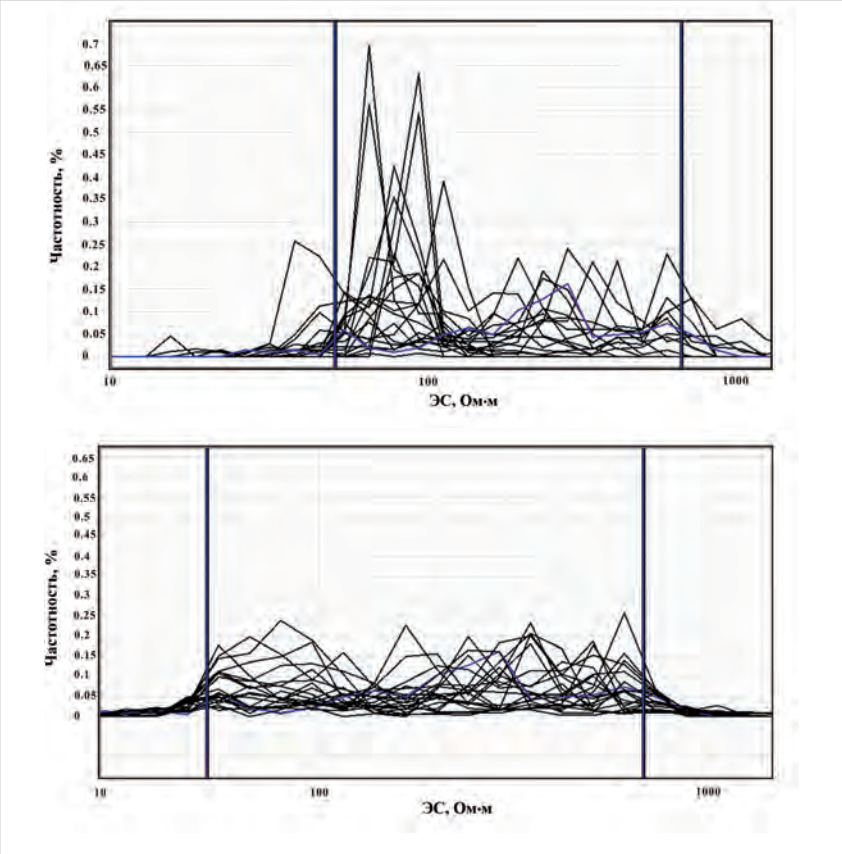


Рис. 7. Сопоставление распределения ЭС в эталонной зоне C_{7-2}:
а) до нормирования; б) после нормирования

ное значение ГИС изменяется в пространстве. Для нормирования данных ГИС метод трендовой площади эффективен, когда в районе исследования фонд скважин достаточно плотный.

В настоящее время в регионе «С» бассейна Ордос пробурено не более 20 специальных скважин для поисков сланцевого газа, площадь района исследования велика, и наиболее существенной проблемой является то, что при применении метода трендовой площади в полученной формуле коэффициенты перед координатами очень малы. Чаще всего это приводит к искажению истинной геологической ситуации, поэтому в данном регионе метод трендовой площади не применяется.

РЕЗУЛЬТАТ ПРОВЕДЕНИЯ НОРМИРОВАНИЯ

Как показано на рис. 8, после нормирования данных ГИС методом $\Delta \mathrm{Log}R$ была построена модель для прогнозирования содержания $C_{орг}$. Такие же исследования проведены в других скважинах. Очевидно, что после нормирования эффективность прогнозирования $C_{орг}$ сильно повысилась, получена единая модель прогнозирования суммарного органического вещества, которую можно применять в скважинах *F* и *L*.

Коэффициент корреляции значений $C_{орг}$, рассчитанных по данным ГИС, и значений $C_{орг}$ по результатам анализа пиролиза очень высок, R_2 = 86 %, что позволяет говорить о надежном прогнозе.

По итогам исследования можно с уверенностью говорить о том, что данную модель можно эффективно применять во всем регионе для эффективного прогнозирования содержания $C_{орг}$ для сланцевого газа.

ВЫВОДЫ

1. Нормирование данных ГИС позволяет значительно повысить эффективность прогнозирования содержания суммарного органического вещества.

2. На данный момент не существует абсолютно универсального метода, одинаково применимого во всех регионах мира, однако использование предлагаемой

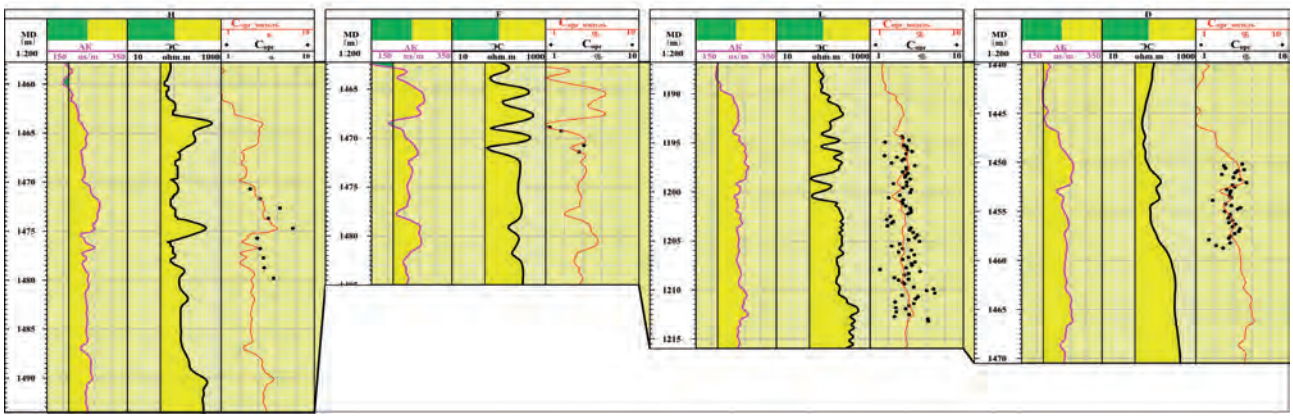


Рис. 8. Прогнозирование ТОС после нормализации ГИС данных

методики в ряде случаев дает положительный результат.

3. В процессе нормирования данных ГИС очень важным является выбор эталонной зоны и скважины для максимального снижения влияния фациальных различий на ГИС, минимизации числа систематических ошибок и внесения корректных изменений в значения ГИС. Оптимальным будет выбор зоны, имеющей отчетливые ГИС-характеристики и стабильно распространенной, прослеживаемой во всем исследуемом диапазоне. Общая толщина пласта не обязательно должна быть большой, но лучше, если она будет находиться в пределах одной фации и иметь сходный литологический состав во всем регионе.

4. Выбор эталонной скважины напрямую зависит от полноты комплекса лабораторного анализа керна и качества имеющихся данных ГИС, а также оптимального расположения скважины относительно остальных, желательно в центре района исследований.

5. При нормировании необходимо учитывать шкалу данных ГИС. Например, для нормирования АК, ГК, НК, ГГМ-п используют линейную шкалу, а для нормирования ЭС применяется логарифмическая шкала.

6. Промышленное содержание природного газа в озерных сланцах региона находится в прямой зависимости от содержания $C_{орг}$ в породе. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин В.М. Петрофизика (физика горных пород): Учеб. для вузов. 2-е изд. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2004. 368 с.
2. Лобусев М.А., Сонг Джеджанг. Прогнозирование пластового давления в глинисто-сланцевых коллекторах на примере региона «С» в бассейне Ордос // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 8. С. 20–28.
3. Лобусев М.А., Zezhang S., Guangdi L. Технология ΔLog*R* для оценки Сорг низкозрелого сланцевого коллектора на примере региона «С» бассейна Ордос // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2016. № 10. С. 86–92.
4. Лобусев М.А., Антипова Ю.А. Современные геолого-промысловые аспекты интенсификации добычи углеводородов: Учеб.-методич. пособие. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. 91 с.
5. Чжан Давэй. Объяснение «Планирование развития сланцевого газа (2011–2015 гг.)» // Промышленность природного газа. 2012. № 4. С. 6–8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cngascn.com:81/ngi_wk/CN/abstract/abstract12335.shtml (дата обращения: 12.05.2017).
6. Цзян Хуайюй, Джу Беншань, Ли Чжи пинг и др. Исследования о мировом состоянии ресурсов сланцевого газа // Китайско-глобальная энергия. 2014. № 3. С. 14–22 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-SYZW201403005.htm (дата обращения: 12.05.2017).
7. Цзоу Цайнэн, Чжай Гуанмин, Чжан Гуаня и др. Формирование, распределение, потенциал и прогнозирование глобальных традиционных и нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья // Разведка и разработка нефти. 2015. № 1. С.13–25 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SKYK201501003.htm (дата обращения: 12.05.2017).
8. Цзян Фуцзе, Пан Сюнци, Оуян Сюэчэн и др. Основной прогресс и проблемы сланцевого газа и прогнозирование потенциала разведки сланцевого газа // Фронт науки о Земле. 2012. № 19 (2). С. 198–211 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-DXQY201202030.htm (дата обращения: 12.05.2017).
9. Дон Дачжун, Цзоу Цайнэн, Ян Хуа и др. Прогресс и перспективы разведки и разработки сланцевого газа в Китае // Журнал нефти и газа. 2012. № 1. С. 107–114 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SYXB2012S1015.htm (дата обращения: 12.05.2017).
10. Чэнь Шанбин, Чжу Яньмин, Ван Хунянь и др. Статус исследования и тренды сланцевого газа в Китае // Журнал нефти и газа. 2010. № 4. С. 689–694 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SYXB201004033.htm (дата обращения: 12.05.2017).
11. Ван Даофу, Гао Шикуи, Дон Дачжун и др. Основное обсуждение вызовов по разведке и разработке ресурсов сланцевого газа в Китае // Газовая промышленность. 2013. № 1. С. 8–17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-TRQG201301003.htm (дата обращения: 12.05.2017).
12. Ван Шицянь. Разведка и оценка сланцевого газа в Китае: проблемы и обсуждение // Газовая промышленность. 2013. № 12. С. 13–29 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-TRQG201312004.htm (дата обращения: 12.05.2017).

REFERENCES

1. Dobrynin V.M. Petrophysics (physics of rocks): Textbook for high schools. 2nd ed. Moscow, FSUE Publishing House «Oil and Gas» of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, 2004, 368 pp. (In Russian)
2. Lobusev M.A., Song Jejang. Forecasting reservoir pressure in clay-shale reservoirs on the example of region C in the Ordos basin // Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2015, No. 8, P. 20–28. (In Russian)
3. Lobusev M.A., Zezhang S., Guangdi L. Log*R* delta technology for evaluation of the Sorghum of the low-grade shale collector on the example of the C region of the Ordos basin. Business Journal Neftegaz.RU, 2016, No. 10, P. 86–92. (In Russian)
4. Lobusev M.A., Antipova Y.A. Modern geological and commercial aspects of intensification of hydrocarbon production: Teaching-methodical manual. Moscow, Publishing Center of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU), 2016, 91 pp. (In Russian)
5. Zhang Dawei. Explanation «Planning of development of shale gas (2011–2015)». The industry of natural gas, 2012, No. 4, P. 6–8. Access mode: http://www.cngascn.com:81/ngi_wk/CN/abstract/abstract12335.shtml (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
6. Jiang Huaiyu, Dzhu Benshan, Li Zhi Ping, et al. Studies on the global state of shale gas resources. China-global energy, 2014, No. 3, P. 14–22. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-SYZW201403005.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
7. Zou Zainen, Zhai Guangming, Zhang Guangya, et al. Formation, distribution, potential and forecasting of global traditional and non-traditional hydrocarbon resources. Exploration and development of oil, 2015, No. 1, P. 13–25. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SKYK201501003.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
8. Jiang Fujze, Pan Sungci, Ouyang Xuecheng, et al. Basic progress and problems of shale gas and forecasting the potential for exploration for shale gas. Front of Earth Science, 2012, No. 19 (2), P. 198–211. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-DXQY201202030.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
9. Don Dazhong, Zou Zainen, Yang Hua, et al. Progress and prospects for exploration and development of shale gas in China. Journal of Oil and Gas, 2012, No. 1, P. 107–114. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SYXB2012S1015.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
10. Chen Shanbin, Zhu Yanmin, Wang Hunyan and others. The status of the study and trends of shale gas in China. Journal of Oil and Gas, 2010, No. 4, P. 689–694. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SYXB201004033.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
11. Wang Daofu, Gao Shikui, Don Dazhong, et al. The main discussion of challenges for the exploration and development of shale gas resources in China. Gas industry, 2013, No. 1, P. 8–17. http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-TRQG201301003.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)
12. Wang Shichian. Exploration and Evaluation of Shale Gas in China: Problems and Discussion. The Gas Industry, 2013, No. 12, P. 13–29. Access mode: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-TRQG201312004.htm (Access date: 12.05.2017). (In Chinese)