



УДК 553.984

МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

TECHNIQUE OF INTERPRETATION AND DETERMINATION OF PARAMETERS PRODUCTIVE COLLECTORS (FOR EXAMPLE KLUYCHEVOE DEPOSITS)

Шкирман Наталья Петровна

кандидат геолого-минералогических наук,
советник по геофизике,
ОАО «Краснодарнефтегеофизика»
nshkirman2012@ya.ru

Киян Артур Павлович

nshkirman2012@ya.ru

Shkirman Natalya Petrovna

Candidate of geological
and mineralogical sciences,
Adviser for geophysics,
JSC Krasnodarneftegeofizika
nshkirman2012@ya.ru

Kiyan Artur Pavlovich

nshkirman2012@ya.ru

Аннотация. Целью данной работы является рассмотрение различных подходов к интерпретации продуктивных коллекторов и определению их параметров. Были решены следующие задачи: работа построена на сравнении определения коэффициента проницаемости пород-коллекторов, исходя из стандартного подхода – построении регрессионной зависимости $K_{пр}$ от K_p , и альтернативного подхода, базирующегося на описании фильтрационно-емкостных свойств пород через гидравлические единицы потока.

Ключевые слова: продуктивный коллектор, керн, пористость, проницаемость, индекс качества коллектора RQI, индикатор гидравлической единицы FZI.

Annotation. The aim of this paper is to review various approaches to interpretation of productive reservoirs and their parameters. The work built on the definition of the coefficient of permeability of reservoir rocks based on the standard approach is to build regression dependences K_{pm} of K_p , and a different approach, based on a description of filtration-capacitive properties of rocks through hydraulic flow units (HU).

Keywords: productive reservoir, core, porosity, permeability, collector quality index indicator RQI, hydraulic unit FZI.

Месторождение Ключевое, совместно, с площадью Южно-Ключевая, в тектоническом отношении приурочено к моноклинали, сложенной неоген-палеогеновыми терригенными отложениями. Моноклираль осложнена пликативной складчатостью, выраженной структурным выступом в районе Ключевого месторождения.

В современном структурном плане наблюдается погружение моноклинали с северо-запада на юго-восток: по поверхности кровли майкопа на 120 м, по поверхности I горизонта – на 135 м. Последнее характеризует интенсивный рост складчатости в северо-западной части моноклинали в преолигоценное и возможно олигоценное время.

Малоамплитудная пликативная нарушенность моноклинали по простиранию, слабо выраженная на геологических разрезах и четко выраженная по восстанию нашла свое отражение в распределении коллекторов продуктивных горизонтов. Так, в районе сочленения площадей Ключевой и Южно-Ключевой отмечено резкое замещение коллекторов I горизонта к югу. Если на Ключевом месторождении I горизонт не имеет литологического ограничения, то на Южно-Ключевой площади линия выклинивания этого горизонта имеет более сложную конфигурацию и образует в плане два залива: Западный и Восточный.

Изучение разреза I песчаного продуктивного горизонта майкопа, проводилось по образцам керна, отобранным в разное время.

В большинстве скважин, пробуренных в 1974–1985 гг., керн отобран с высоким процентом выноса (60–70 %). Полнота материала по этим скважинам дала возможность составить представление о физико-литологических свойствах коллекторов, характере разреза и деталях его строения.

Лабораторные исследования керна выполнены по стандартной методике и включали определения открытой и полной пористости, проницаемости, водонасыщенности, гранулометрического состава, карбонатности, удельного веса зерен, плотности пород, а также экспериментальное изучение капиллярных характеристик пористой среды.

В типовом комплексе ГИС отсутствуют методы для прямого определения величины абсолютной проницаемости, поэтому широко используется возможность прогнозирования этого параметра по комплексным данным с использованием различных вариантов корреляционных зависимостей.

Примеры использования стандартного подхода при оценке проницаемости пород Ключевого и Южно-Ключевого месторождений, выполненные по результатам анализа кернового материала полученного из нефтяного и водяного интервалов разреза, приведены на рисунках 1 и 2.

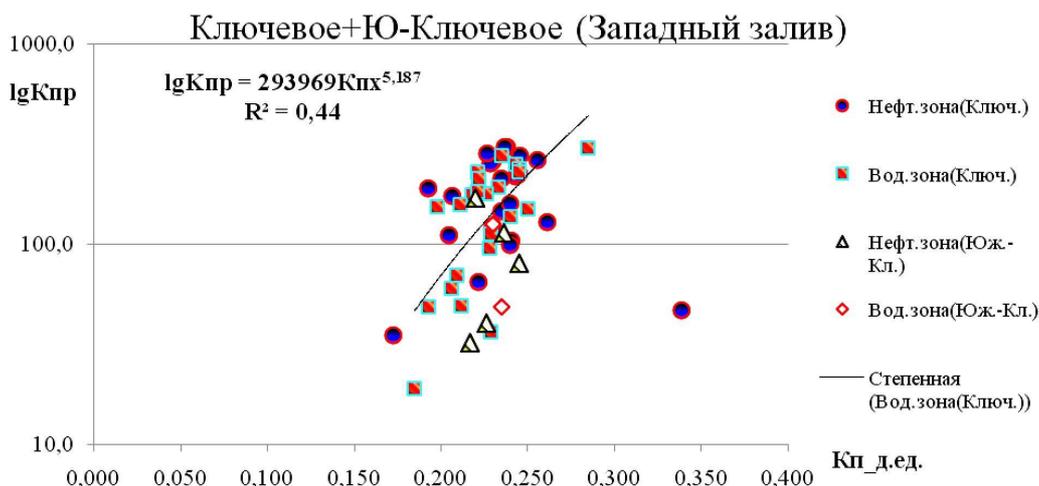


Рисунок 1 – Регрессионная зависимость проницаемости ($K_{пр}$) от пористости пород-коллекторов Ключевого и Южно-Ключевого (Западный залив) месторождений по данным исследования керна

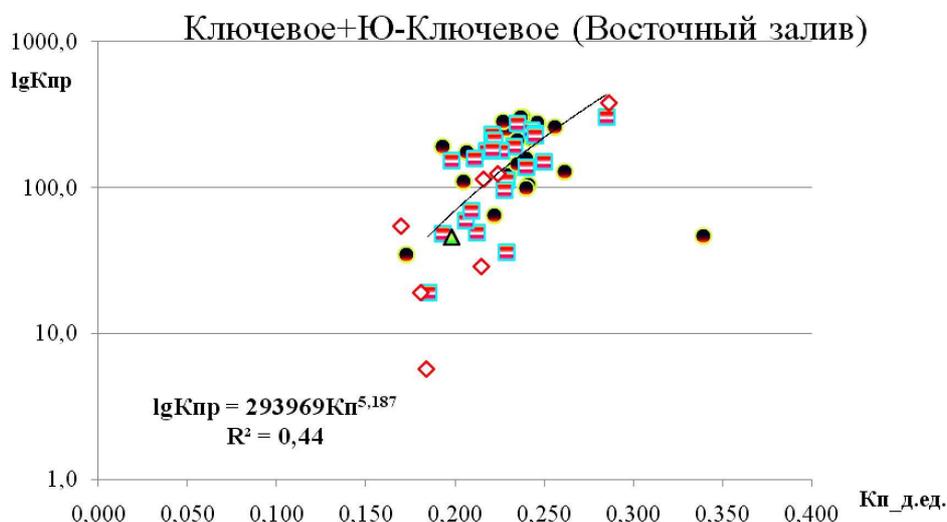


Рисунок 2 – Корреляционная зависимость проницаемости ($K_{пр}$) от пористости пород-коллекторов Ключевого и Южно-Ключевого (Восточный залив) месторождений по данным исследования керна

Реализация стандартного подхода для прогноза проницаемости через регрессию $K_{пр} = f(Kп)$ для рассматриваемых нефтяных месторождений, показала, что в этом случае наблюдается значительная дисперсия точек, а значения коэффициентов регрессии не превышают значения 0,5.

Поэтому прогнозные значения проницаемости определяются с достаточно большой погрешностью. При этом типичной формой связи проницаемости от пористости, используемой для решения этой задачи, является нелинейная зависимость, в данном случае степенная.

Существуют различные классификации песчано-алевролитовых коллекторов нефти и газа, например, А.А. Ханина [1] и др. Во многих публикациях и специальной литературе приводится также большое количество экспериментальных статистических уравнений связи проницаемости с нормированными значениями поля ПС ($\alpha_{ПС}$) или двойным разностным параметром поля естественной гамма активности ($\Delta J\gamma$). Но действие этих уравнений, как правило, ограничено конкретными условиями месторождения и свойствами геологического разреза.

Более общие варианты прогноза представлены в виде уравнений: Тиксье, Тимура и Коатса-Думанойра, но они требуют обязательного учета остаточной водонасыщенности пород, определение которой по данным ГИС зависит от выбранных моделей среды и не всегда решается [2].

Учитывая, что фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пласта-коллектора отражаются в значениях пористости и проницаемости, наиболее целесообразно при формировании модели пласта принять параметр, интегрирующий в себе два этих понятия.

В практике зарубежных исследований интеграция параметров пористости и проницаемости при описании ФЕС гранулярного коллектора рассматривается в свете концепции гидравлических единиц потока (коллектора), позволяющих выделять типы (классы) пород с близкой характеристикой порового пространства.



С этой точки зрения, прогноз проницаемости с позиции классификации коллекторов на основе гидравлических единиц потока – индикатора гидравлической единицы FZI (Flow Zone Indicator) и индекса качества коллектора RQI (Reservoir Quality Index) представляется более оправданным. При этом задача прогноза проницаемости сводится к прогнозу значений классов коллекторов на основе данных ГИС либо керна, а затем к расчету абсолютной проницаемости по жидкости с помощью основного уравнения Козени-Кармена [3].

Вариабельность геометрии пор, обусловленная седиментационными и диагенетическими процессами, определяет существование различных типов коллектора, или гидравлических единиц, имеющих характерные взаимосвязи между статическими (пористость, распределение пор по размерам) и динамическими параметрами (абсолютная и фазовые проницаемости, функция капиллярного давления) [3, 4].

При этом разделение пород на фильтрационные типы выполняется по керновым данным.

Выражения для *индекса качества коллектора* – RQI и *индикатора гидравлической единицы* – FZI могут быть записаны как:

$$RQI = 0,0314 \sqrt{\frac{K_{п\ p}}{K_{п}}}, \tag{1}$$

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F} \cdot \tau \cdot S_{vg}}. \tag{2}$$

Между собой индекс качества и индекс фильтрационной группы связаны следующим образом:

$$FZI = \frac{RQI}{\varepsilon} = \frac{0,0314}{\varepsilon} \sqrt{\frac{K_{п\ p}}{K_{п}}}, \tag{3}$$

где $K_{п\ p}$ – коэффициент проницаемости, в мД, $K_{п}$ – коэффициент пористости, в д. ед., F – параметр формы пор, τ – параметр извилистости, S_{vg} – поверхность пор на единицу массы, ε – отношение объема пор к объему скелета, $\varepsilon = \left(\frac{\phi}{1 - \phi} \right)$.

Индекс фильтрационной группы FZI, можно рассматривать как соотношение между эффективным объемом порового пространства и его геометрией. Поэтому предполагается, что образцы керна с близкими значениями индекса FZI принадлежат к одному типу, т.е. имеют сходные фильтрационные характеристики.

На базе фильтрационно-емкостных характеристик керна, полученных на месторождениях Ключевое и Южно-Ключевое для I продуктивного горизонта майкопа, был выполнен расчет и сравнение комплексных параметров FZI и RQI для нефтяной и водяной зон. Целью такого анализа было сравнение полученных характеристик и установление подобия либо различия их в указанных зонах.

Выполненные расчеты показали, что диапазоны значений обоих параметров примерно равны, диапазон изменения параметра FZI для водяной зоны Ключевого и Южно-Ключевого месторождений составляет 1,5–3,5, а для нефтяной зоны он равен 1,5–4,5. Регрессионная зависимость, полученная для всего объема данных (для нефтяной + водяной зоны) по I майкопскому горизонту для Ключевого и Южно-Ключевого месторождений представлена на рисунке 3.

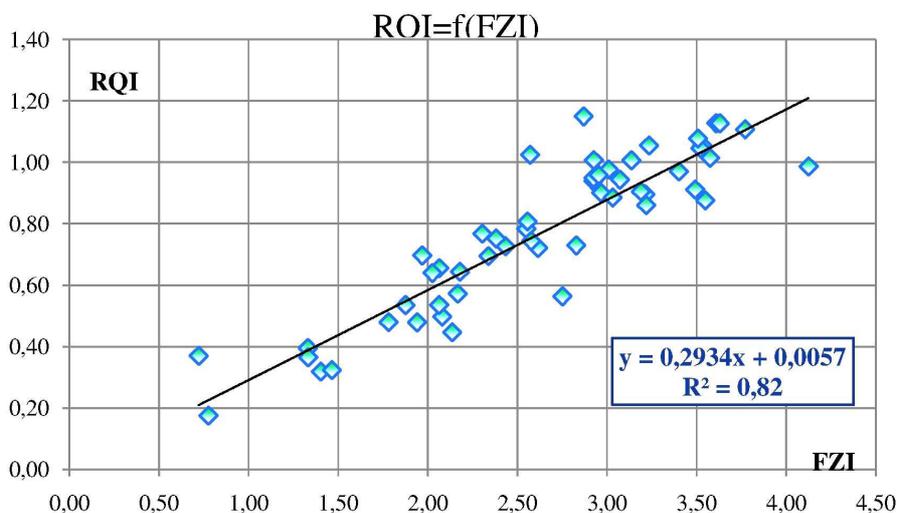


Рисунок 3 – Регрессионная зависимость RQI = f(FZI) для I продуктивного горизонта майкопа. Месторождения Ключевое и Южно-Ключевое



Полученная регрессионная зависимость демонстрирует тесную линейную связь между значениями гидравлических параметров RQI и FZI, при этом коэффициент корреляции составляет 0,82.

Полученные диапазоны параметров RQI и FZI позволяют определить класс терригенных коллекторов, согласно классификации, составленной по системе гидравлических единиц [5] .

Используя таблицу средних гидравлических характеристик коллекторов, а также опираясь на полученные значения FZI и RQI, можно оценить фациальные условия формирования изучаемых пород-коллекторов [5].

Исходя из полученных данных можно утверждать, что весь массив, в основном, включает три класса коллекторов – № 3, № 4, № 5. Наилучшими коллекторскими свойствами обладают породы-коллекторы 3 класса с параметрами: $Kп = 0,27–0,33$ д.е., $Kпр = 210–310$ мД.

Данный тип пород представлен песчаниками средне-мелкозернистыми, однородными. Такого типа отложения часто приурочены к вдольбереговым телам барового типа.

Наиболее худшими свойствами обладают породы-коллекторы 5 класса, характеризующиеся параметрами: $Kп = 0,17–0,21$ д.е., $Kпр = 30–70$ мД.

Данный тип пород представлен песчаниками мелкозернистыми и алевролитами с прослоями глинисто-углистого детрита, которые относятся к фациям подводных отмелей.

Таким образом, полученные на основе выполненных расчетов оценки фильтрационных характеристик пород-коллекторов, позволили не только установить тесную корреляционную связь между параметрами FZI и RQI, но также определить тип коллекторов и прогнозировать их условия формирования.

В отличие от типичной корреляционной связи типа «пористость-проницаемость» построенная модель учитывает вклад емкостной неоднородности порового пространства и позволяет более точно прогнозировать значения проницаемости по данным ГИС в межскважинных зонах и на участках, не выявленных бурением.

Литература:

1. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР. – М. : Недра, 1973. – 153 с.
2. Мараев И.А. Комплексная интерпретация результатов геофизических исследований скважин : учебное пособие. – М., 2013. – 95 с.
3. Меркулов В.П., Посысов А.А. Оперативный анализ каротажных диаграмм. – Томск : ТПУ, 2010. – 356 с.
4. Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Transport Properties / DjebbarTiab and Erle C. Donaldson. – Gulf Professional publishing, 2012. – 2nd.
5. Белозеров В.Б. Ловушки нефти и газа, моделирование залежей углеводородов. – Томск : ТПУ, 2011. – 144 с.

References:

1. Khanin A.A. Breeds collectors of oil and gas of the oil-and-gas provinces of the USSR. – М. : Nedra, 1973. – 153 p.
2. Marayev I.A. Complex interpretation of results of geophysical surveys of wells : manual. – М., 2013. – 95 p.
3. Merkulov V.P., Posysoyev A.A. Operational analysis of logging charts. – Tomsk : TPU, 2010. – 356 p.
4. Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Transport Properties / DjebbarTiab and Erle C. Donaldson. – Gulf Professional publishing, 2012. – 2nd.
5. Belozеров V.B. Traps of oil and gas, modeling of deposits of hydrocarbons. – Tomsk : TPU, 2011. – 144 p.