

# Особенности строения и выделения коллекторов в сложнопостроенных каширо-подольских отложениях среднего карбона на примере одного из месторождений Башкортостана

**А.Д. Комова**

начальник отдела петрофизики<sup>1</sup>

[adkomova@cge.ru](mailto:adkomova@cge.ru)

**Т.Ф. Дьяконова**

профессор, д.т.н., начальник отделения

геоинформационных технологий<sup>2</sup>

[tfdyakonova@cge.ru](mailto:tfdyakonova@cge.ru)

**Т.Г. Исакова**

главный специалист по петрофизике и подсчету запасов<sup>1</sup>

[tgisakova@cge.ru](mailto:tgisakova@cge.ru)

**О.Р. Привалова**

начальник отдела интерпретации ГИС<sup>2</sup>

[PrivalovaOR@bashneft.ru](mailto:PrivalovaOR@bashneft.ru)

**Г.Р. Аминова**

ведущий инженер отдела интерпретации ГИС<sup>2</sup>

[AminevaGR@bashneft.ru](mailto:AminevaGR@bashneft.ru)

<sup>1</sup>АО «ЦГЭ», Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «БашНИПИнефть», Уфа, Россия

**Рассмотрено строение сложнопостроенных карбонатных каширо-подольских отложений Башкортостана. Отложения представляют собой сложную породную систему, представленную чередованием плотных карбонатных разностей, продуктивных коллекторов и непродуктивных микрзернистых мелоподобных пелитоморфных пород, которые могут содержать как связанную, так и свободную воду. Незакономерное чередование перечисленных литологических разностей создает трудности при интерпретации данных ГИС. Представлены особенности алгоритмов выделения коллекторов с оценкой характера их насыщения в каширо-подольских отложениях.**

## Материалы и методы

Модифицированная методика выделения коллекторов и литологического расчленения разреза каширо-подольских отложений.

## Ключевые слова

кern, ГИС, испытания, карбонатные отложения

Каширо-подольские отложения среднего карбона (КПО) регионально продуктивны в центральной части Волго-Уральской провинции. Породы КПО детально изучались многими исследователями, начиная с 60–70 гг. прошлого века, с целью установления условий осадконакопления, структуры порового пространства коллекторов, понимания природы образования, изучения типов залежей нефти. Согласно этим исследовательским работам, установлено, что осадки каширо-подольского возраста откладывались в мелководно-морских условиях постоянно меняющегося уровня и солености морского бассейна. Для большей части Волго-Уральской провинции в каширское и подольское время характерна известняково-доломитовая фация.

За длительное геологическое время существенно изменился минеральный состав и структура каширо-подольских отложений. Первоначально породы были представлены чистыми пелитоморфными известняками с мелоподобной, микрокристаллической структурой. В результате вторичных процессов в настоящее время отложения представлены доломитизированными известняками или известковистыми доломитами с различной структурой порового пространства, содержащей поры, каверны, трещины. Минеральный состав пород, определенный

по данным рентгено-структурного анализа (РСА), включает 48% кальцита, 48% доломита, а также 4% примесей в виде ангидрита, гипса и кварца (рис. 1).

Пелитоморфные породы обладают особенностями, которые затрудняют их идентификацию в разрезе и выделение среди коллекторов по данным ГИС:

- малый размер зерен — < 0,005 мм, который сравним с размерами зерен пелитовой фракции терригенных пород (таб. 1);
- малый радиус поровых каналов — < 0,1 мкм, характерный для неколлекторов;
- породы имеют высокую общую неэффективную пористость до 20–30% при низкой абсолютной проницаемости (рис. 2).

На стадии диагенеза и катагенеза происходит преобразование минерального состава скелетной фракции и изменение структуры порового пространства исходных пелитоморфных пород — появляются каверны, трещины, что приводит к увеличению емкостного пространства.

В настоящее время в разрезе КПО выделяются исходные пелитоморфные и вторично преобразованные породы, которые по результатам лабораторных исследований керна можно разделить на следующие типы (рис. 3):

- I — преимущественный тип представлен кавернозно-поровыми породами,

Породы	песчаники, алевролиты			глины	пелитоморфные породы
	Размер зерен, мм	Фракция	Размер зерен, мм		
Размер зерен, мм	>1	1-0.1	0.1-0.01	<0.01	<0.005
Фракция	гравелит	псаммит	алеверит	пелит	

Таб. 1 — Место карбонатных пелитоморфных пород в сравнении с терригенными разностями по размеру зерен

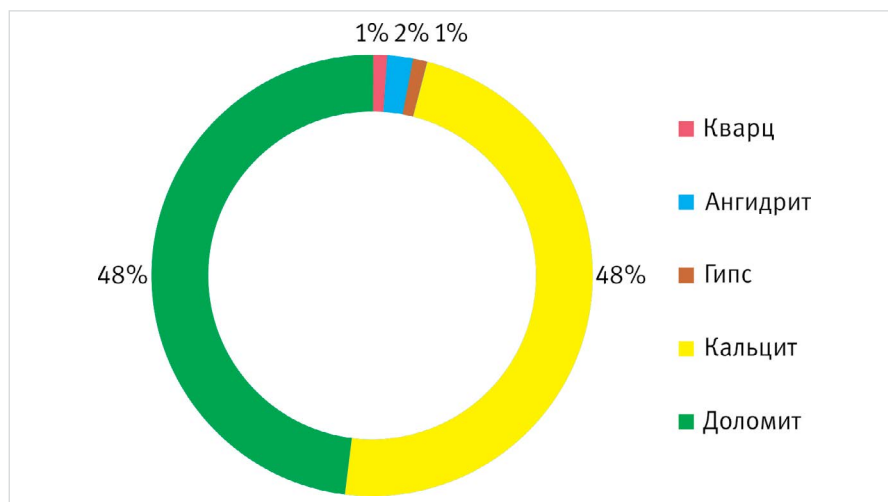


Рис. 1 — Минеральный состав каширо-подольских отложений по данным РСА

- являющимися коллекторами с закономерно изменяющимися значениями коэффициентов проницаемости  $K_{пр}$  и пористости  $K_n$ ;
- II — трещинно-кавернозно-поровые породы, также являющиеся преимущественно коллекторами и имеющие высокие значения коэффициента проницаемости  $K_{пр}$  при низких значениях пористости  $K_n$ ;
  - III — малоизмененные пелитоморфные породы, имеющие низкие значения проницаемости  $K_{пр}$  при высоких величинах коэффициента пористости  $K_n$  и являющиеся преимущественно неколлекторами.

В результате геологических преобразований современный разрез КПО приобрел следующие особенности.

- 1) Незаконмерное чередование по разрезу скважины следующих типов пород:
  - вторично преобразованных известняков и доломитов, являющихся по керну и ГИС коллекторами, насыщенными нефтью;

- исходных пелитоморфных пород, являющихся по керну и ГИС неколлекторами, поровое пространство которых заполнено связанной неподвижной водой;
- измененных в процессе катагенеза пелитоморфных пород, которые по структуре порового пространства могут стать коллекторами и, помимо связанной воды, содержать рыхлосвязанную и свободную воду;
- плотных карбонатных разностей — неколлекторов, насыщенных неподвижной связанной водой.

2) Отсутствие краевой, пластовой и подошвенной воды: весь разрез КПО продуктивен.

3) Наличие и постоянный уровень начальной обводненности 20–30% в течение достаточно длительного периода разработки КПО (рис. 4). Анализ показал, что приток воды возникает при значительных депрессиях, когда рыхло- и прочносвязанная

вода в пелитоморфных породах переходит в свободную.

Существующие методики интерпретации ГИС не учитывали полностью перечисленные особенности разреза КПО, что потребовало создания нового подхода. Основная задача при этом — литологическое расчленение разреза КПО с выделением указанных разностей — коллекторов, пелитоморфных прослоев и плотных разностей.

Интервалы коллекторов по сравнению с плотными и уплотненными разностями характеризуются снижением показаний нейтронного (НК) и электрических методов, повышением показаний акустического (АК) метода. Пелитоморфные породы могут иметь все признаки коллекторов, но для них характерно резкое снижение или минимальное значение в разрезе показаний электрических методов за счет высокого содержания связанной или свободной воды.

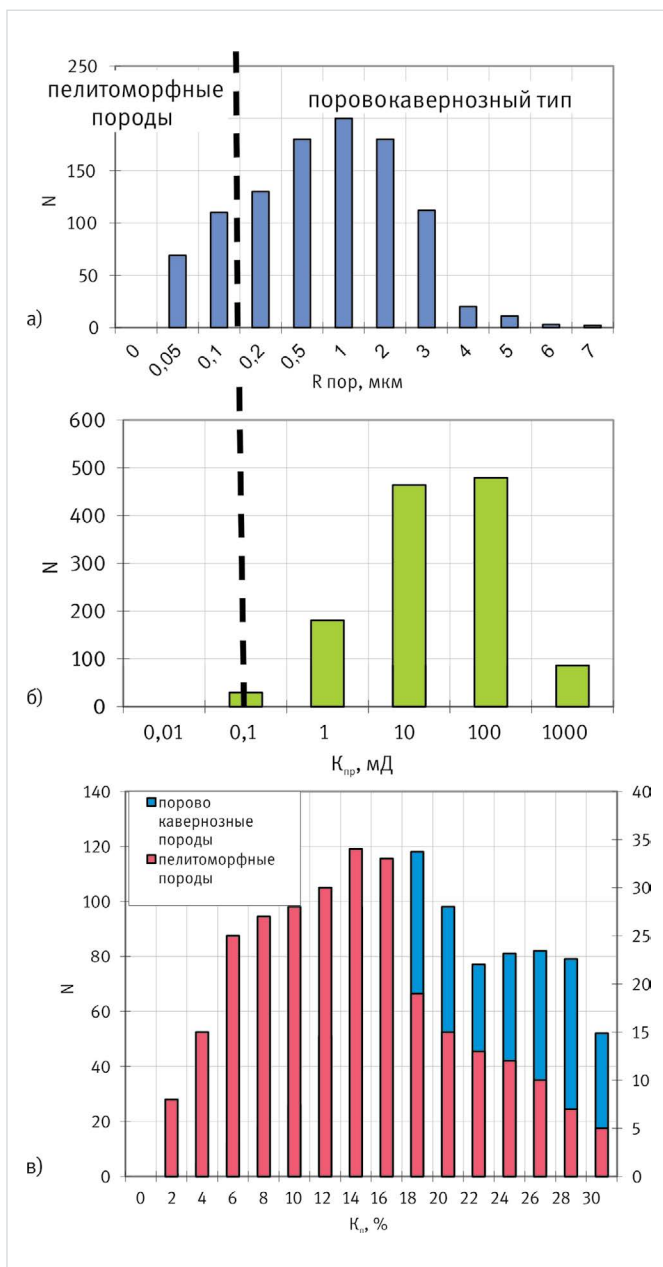


Рис. 2 — Распределение радиусов пор пелитоморфных пород (а) и распределение соответствующих им коэффициентов проницаемости по керну (б); распределение коэффициентов пористости пелитоморфных пород по сравнению с породами порово-кавернозного типа (в)

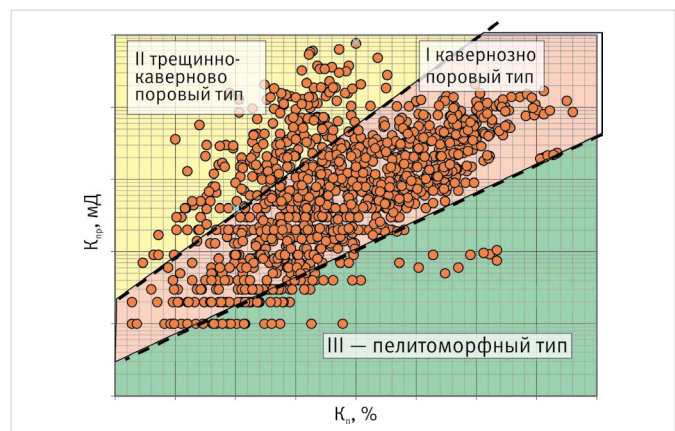


Рис. 3 — Типы пород КПО на примере зависимости  $K_n$ - $K_{пр}$  по данным керна

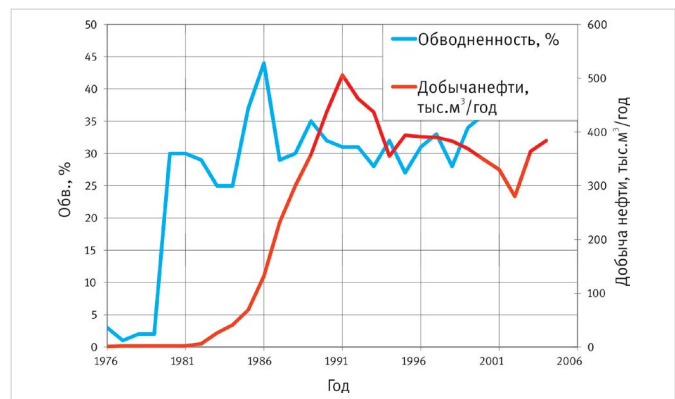


Рис. 4 — График обводненности отложений КПО по данным добычи

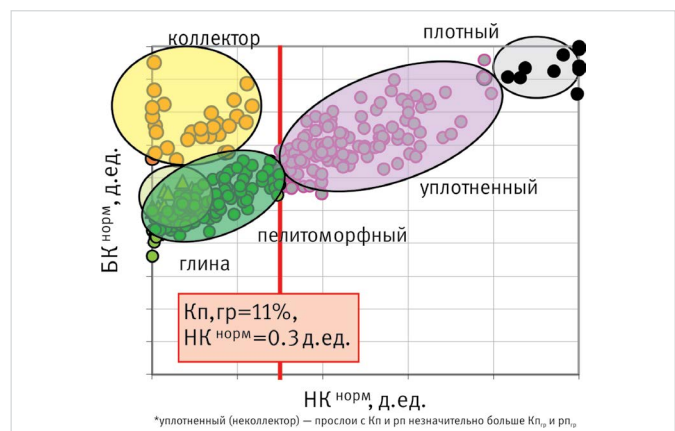


Рис. 5 — График нормализации НК-БК

Широко распространенной методикой выделения коллекторов и оценки характера их насыщенности в карбонатных разрезах является способ нормализации кривых БК и НК. Способ заключается в представлении кривых НК и БК в логарифмическом масштабе с модулем, обеспечивающим их совпадение в глинах (или водонасыщенных коллекторах) и плотных породах. Расхождение нормализованных кривых при превышении показаний БК над НК свидетельствует о наличии продуктивного коллектора. Используя традиционную методику нормализации, можно выделить продуктивные и фиктивно водонасыщенные прослои, которые будут отнесены к пелитоморфным интервалам. Этот способ не подходит при изучении разреза КПО, содержащего пелитоморфные прослои, закономерно чередующиеся с

продуктивными коллекторами. Стандартный подход к нормализации затрудняет массовую одновременную обработку большого числа скважин из-за необходимости получения регрессионного уравнения по каждой скважине индивидуально.

Поэтому в данной работе способ нормализации был преобразован. Кривые НК и БК были сначала пронормированы в пределах от 0 до 1 по опорным пластам без проникновения: глины — 0, плотные — 1, что является аналогом двойного разностного параметра. Затем производилось совмещение нормированных кривых  $БК^{норм}$  и  $НК^{норм}$  в значениях 0 и 1 по указанным опорным пластам. Во всем интервале продуктивного разреза рассчитывалась разница между нормированными кривыми. Превышение  $БК^{норм}$  над  $НК^{норм}$  ( $БК^{норм} > НК^{норм}$ ) свидетельствует о наличии

продуктивного коллектора;  $БК^{норм} \approx НК^{норм}$  или  $БК^{норм} < НК^{норм}$  — о наличии пелитоморфной породы, УЭС по БК которой самое низкое по разрезу и часто ниже сопротивления глин.

На графике нормализации (рис. 5) обозначены «плотные» и «глины» — показания нормированных методов в интервалах опорных пластов, по которым производится совмещение кривых БК и НК. Индекс «уплотненные» соответствует интервалам пород, в которых пористость по данным ГИС меньше граничного значения и показания нормализованных кривых равны.

В качестве количественного критерия для выделения коллекторов использовалась граничная пористость  $K_{п,гр} = 11\%$ , полученная по данным керна, и соответствующее граничное значение относительной амплитуды НК  $\Delta I_{п,гр} = 0.3$  д.ед.

Для того, чтобы повысить достоверность выделения продуктивных коллекторов с использованием нормализации, что зачастую сопряжено с низким качеством записи ГИС, сложностью увязки методов между собой в данном разрезе, по скважинам с уверенным выделением коллекторов по результатам испытаний и по прямым качественным признакам было принято не просто расхождение между нормализованными кривыми, а увеличенное на 30% (0.3 д.ед.) для однозначного выделения коллекторов по нормализации:  $K_{п,гр} > K_{п,гр}$  и  $БК^{норм} \geq 0.3 + НК^{норм}$ . Пример выделения продуктивных коллекторов, плотных и пелитоморфных пород с использованием модифицированного метода нормализации представлен на рис. 6.

При сопоставлении традиционной и модифицированной методик нормализации было установлено, что модифицированная методика позволяет более четко и точно выделять литологические разности (рис. 7).

Согласно проведенному анализу результатов интерпретации ГИС по нескольким сотням скважин изучаемого месторождения, произошло увеличение средних эффективных нефтенасыщенных толщин по данному продуктивному объекту КПО (рис. 8). После предыдущего подсчета запасов в процессе разработки месторождения производилась дополнительная перфорация в интервалах с отсутствием коллектора по стандартной обработке ГИС. Были получены притоки нефти, что свидетельствовало о наличии коллекторов. Также при рассмотрении материалов предыдущего подсчета запасов экспертами ГКЗ было отмечено существенное недовыделение нефтенасыщенных толщин. С применением предлагаемого подхода толщины продуктивных коллекторов выделяются более обоснованно.

### Итоги

Показаны особенности строения каширо-подольских отложений. Модифицирована методика выделения коллекторов и литологического расчленения разреза.

### Выводы

При закономерно чередовании в разрезе продуктивных коллекторов и пелитоморфных пород остро стоит проблема литологического расчленения разреза. Предложена методика уверенного выделения коллекторов и их отделения от пелитоморфных прослоев.

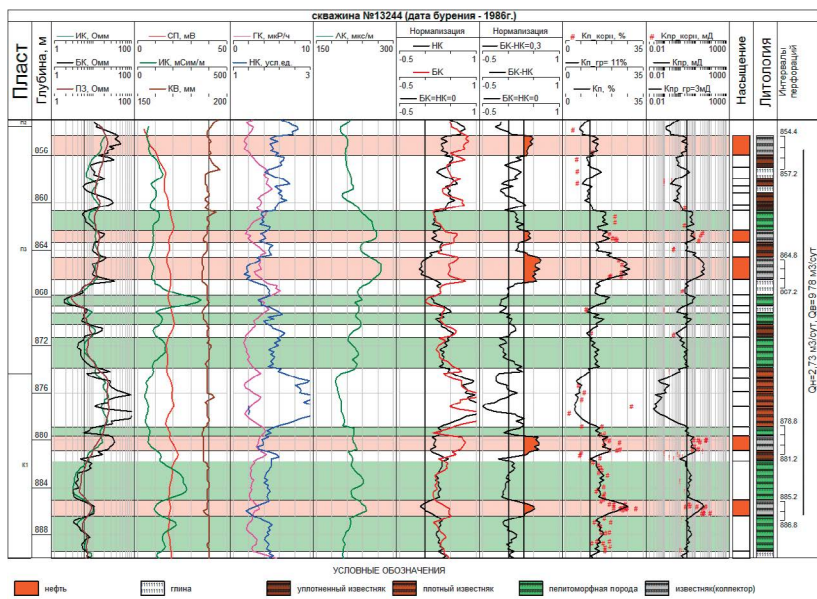


Рис. 6 — Примеры результатов интерпретации ГИС с использованием модифицированного метода нормализации

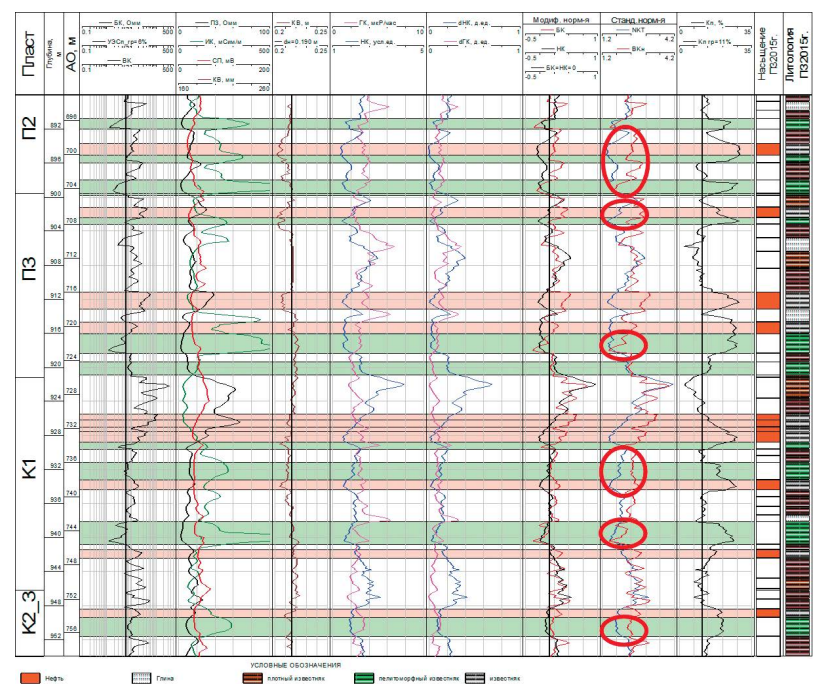


Рис. 7 — Сравнение методик нормализации



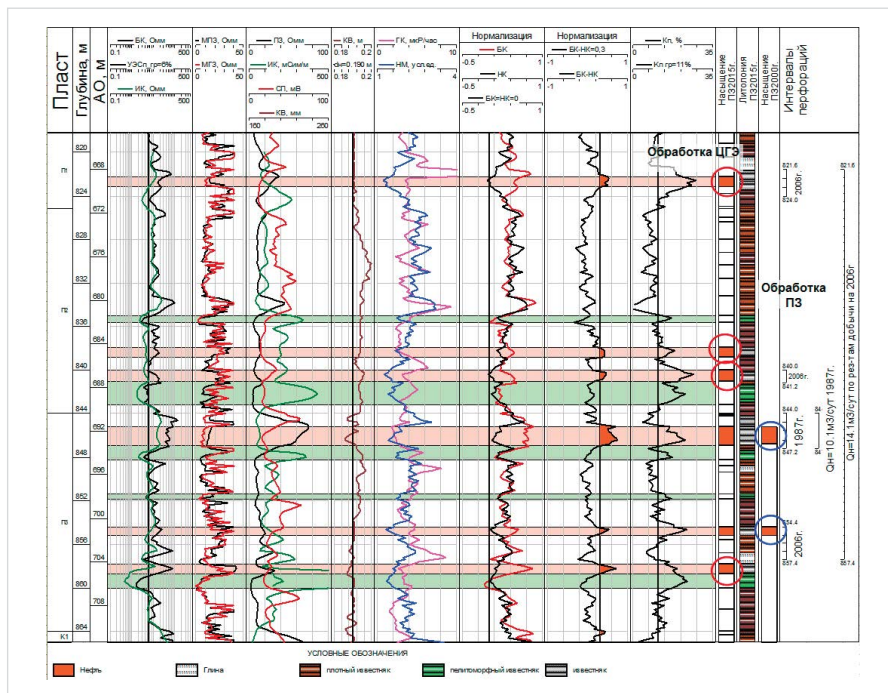


Рис. 8 — Пример довыделения эффективных нефтенасыщенных толщин

#### Список литературы

1. Виссарионова А.Я., Тюрин А.М. Литологические особенности карбонатных отложений девона и карбона Башкирии // Вопросы геологии и нефтеносности Башкирии. 1963. №11. С. 35–50.
2. Дворецкий В.Г., Ручкин А.В. Усовершенствование методики и комплекса геофизических исследований карбонатных отложений Волго-Уральской области // Геология нефти и газа. 1963. №11. С. 17–20.
3. Шутихин В.И. Исследование фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пород по керну разведочных площадей и месторождений Башкирии. Отчет БашНИПнефть. Уфа. 1993. 146 с.
4. Шутихин В.И., Проняков В.А., Сахаутдинов А.Б. Исследование фильтрационно-емкостных и петрофизических свойств продуктивных пород по керну разведочных площадей регионов Башкортостана для подсчета запасов и интерпретации данных ГИС. Отчет БашНИПнефть. Уфа. 1966. 161 с.

ENGLISH

GEOPHYSICS

## Features of the structure and identification the complex reservoirs of Kashirskian-Podolskian deposits on an example of one of the fields of Bashkortostan

UDC 550.3

#### Authors:

Anna D. Komova — head of petrophysics section<sup>1</sup>; adkomova@cge.ru

Tat'jana F. Dyakonova — professor, Sc. D., head of geoinformation technologies department<sup>1</sup>; tfdyakonova@cge.ru

Tat'jana G. Isakova — chief specialist in petrophysics and the estimation of reserves<sup>1</sup>; tgisakova@cge.ru

Ol'ga R. Privalova — head of section of log data interpretation<sup>2</sup>; PrivalovaOR@bashneft.ru

Gul'naz R. Amineva — chief engineer of section of log data interpretation<sup>2</sup>; AminevaGR@bashneft.ru

<sup>1</sup>"CGE" JSC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>"BashNIPIneft" LTD, Ufa, Russian Federation

#### Abstract

The structure of complex Kashirskian-Podolskian carbonate reservoirs of Bashkortostan is considered. The sediments are a complex deposit system represented by alternation of dense carbonate lithological varieties, productive reservoirs and nonproductive microgranular chalky pelitomorphic rocks, which can contain both bound and free water. Irrational alternation of listed above lithological varieties cause difficulties in log data interpretation. The features of reservoir identification and

estimation of fluid content in Kashirskian-Podolskian deposits are represented.

#### Materials and methods

The modified technique of reservoir and lithological identification in Kashirskian-Podolskian deposits.

#### Results

The features of the structure of Kashirskian-Podolskian deposits are presented. The technique of reservoir and lithology identification is modified.

#### Conclusions

At irregular alternation in the section of productive reservoir rocks and pelitomorphic intervals the problem of lithologic identification is particularly pointed.

The confident technique of reservoir identification and separation from pelitomorphic intervals is suggested.

#### Keywords

core, log data, hole formation tests, carbonate deposits

#### References

1. Vissarionova A.Ya., Tyurikhin A.M. *Litologicheskie osobennosti karbonatnykh otlozheniy devona i karbona Bashkiri* [The lithological features of carbonate rocks of Devonian and Carboniferous Bashkiri]. *Voprosy geologii i neftenosnosti Bashkiri*, 1963, issue 11, pp. 35–50.
2. Dvoretzkiy V.G., Ruchkin A.V. *Usovershenstvovanie metodiki i kompleksa geofizicheskikh issledovaniy karbonatnykh otlozheniy Volgo-Ural'skoy oblasti* [Improving techniques and complex geophysical studies of carbonate deposits of the Volga-Ural region]. *Geologiya nefi i gaza*, 1963, issue 11, pp. 17–20.
3. Shutikhin V.I. *Issledovanie fil'tratsionno-emkostnykh svoystv produktivnykh porod po kernu razvedochnykh ploshchadey i mestorozhdeniy Bashkiri* [Research of permeability and porosity properties of productive layers by core of exploration areas and oilfields in Bashkortostan]. BashNIPIneft report, Ufa, 1993, 146 p.
4. Shutikhin V.I., Pronyakov V.A., Sakhaudtinov A.B. *Issledovanie fil'tratsionno-emkostnykh i petrofizicheskikh svoystv produktivnykh porod po kernu razvedochnykh ploshchadey regionov Bashkortostana dlya podscheta zapasov i interpretatsii dannykh GIS* [Research of permeability and porosity properties of productive layers by core of exploration areas in Bashkortostan regions for counting inventory and interpretation of GIS data]. BashNIPIneft report, Ufa, 1966, 161 p.