

УДК 550.832

## Влияние фациальных особенностей на коллекторские свойства башкирских карбонатных отложений месторождения Озерное

**О.Е. Кочнева<sup>a,b</sup>, А.А. Ефимов<sup>a</sup>**<sup>a</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29<sup>b</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: olgakochneva777@yandex.ru  
(Статья поступила в редакцию 26 октября 2016 г.)

Представлены результаты исследований влияния фациальных условий на коллекторские свойства карбонатных отложений Озерного месторождения, в которых были использованы описания кернового материала и промыслового исследования скважин.

Ключевые слова: *керна, карбонатные отложения, фациальные особенности, коэффициенты открытой пористости, абсолютная проницаемость по газу.*

DOI: 10.17072/pSU.geol.16.1.68

Одной из основных проблем нефтяной промышленности является повышение нефтеотдачи пластов, что обусловлено увеличением объема трудноизвлекаемых запасов нефти на месторождениях, обладающих сложным строением пород-коллекторов, высокой степенью их неоднородности и низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Наиболее перспективным нефтегазоносным районом Пермского края является Соликамская депрессия, в частности территория Верхне-Камского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС), где определяющее значение имеют карбонатные продуктивные отложения. В пределах депрессии карбонатные отложения характеризуются развитием сложнопостроенных и неоднородных по фильтрационно-емкостным свойствам типов коллекторов (Ефимов, Кочнева, 2011). На базе изучения кернового материала выполнены литолого-фациальные исследования и корреляционный анализ коллекторских

свойств башкирской залежи Озерного месторождения (рис. 1). Были определены коэффициенты открытой пористости ( $K_{п}$ ) и абсолютной проницаемости по газу ( $K_{пг}$ ). Характеристика фаций, приводимая в статье, во многом основывается на исследованиях Д.В. Наливкина (1956), Л.Б. Рухина (1959), Г.Ф. Крашенинникова (1971), О.А. Щербакова (1982) и др.

В башкирский век на данной территории существовали морские мелководные фации, что благоприятствовало пышному расцвету органической жизни и карбонатному осадконакоплению, которое происходило в неглубоком морском бассейне. Рельеф дна бассейна седиментации существенно влиял на распределение карбонатного материала. Структурная разность карбонатных пород является прямым отражением условий осадконакопления. Изучение структурных особенностей и вещественного состава карбонатных пород позволяет выделить среди них сле-

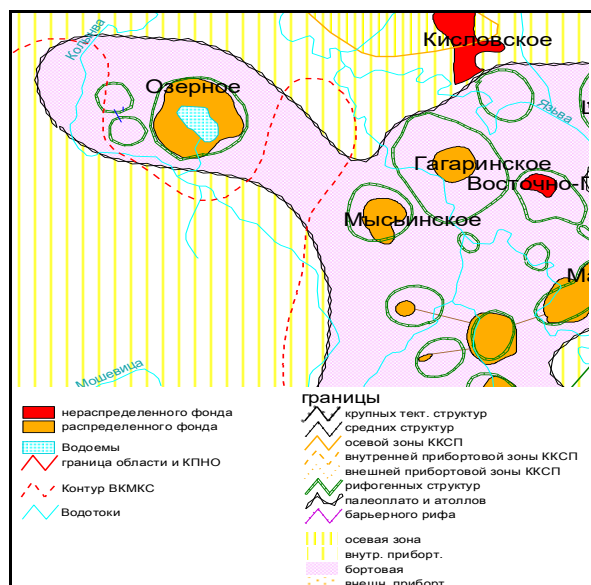


Рис. 1. Выкопировка из схемы тектонического районирования

дующие основные литогенетические типы: пелитоморфные, микрозернистые, тонкозернистые, сгустковые, комковатые, сгустково-комковатые, детритовые, органично-детритовые, биоморфные, органично-обломочные, брекчиевые и оолитовые. По положению относительно береговой линии, гидродинамическим особенностям и глубинам на исследуемой территории выделяются морские фации: морские-мелководные открытого моря ( $M^M$ ) и прибрежно-морские мелководные (ПМ-М). Среди группы морских-мелководных фаций открытого моря ( $M^M$ ) выделены фации отмелей (ОТ), фации поселений различных организмов (ПО): водорослевые поселения (ВП), фораминиферовые поселения (ФП), фации относительно ровного морского дна с подвижным (РМДП) и со спокойным гидродинамическим режимом (РМДС).

#### Основные петрофизические характеристики пород с учётом фаций

От-ложение	Параметры	Фации					
		ПМ-МЗ	РМДС	РМДП	ФП	ВП	ОТ
Башкирские	$K_{п}, \%$	$\frac{3,5 \pm 1,6}{1,0-7,1}$	$\frac{8,8 \pm 4,5}{1,9-17,8}$	$\frac{9,3 \pm 4,8}{0,4-22,7}$	$\frac{8,6 \pm 3,0}{3,9-14,4}$	$\frac{13,0 \pm 5,4}{1,4-24,5}$	$\frac{11,1 \pm 6,7}{1,0-23,9}$
	$K_{пр}, 10^{-3} \text{мкм}^2$	$\frac{0,05 \pm 0,15}{0,01-0,66}$	$\frac{4,5 \pm 6,6}{0,01-24,6}$	$\frac{7,8 \pm 14,8}{0,01-61,3}$	$\frac{9,0 \pm 16,3}{0,01-52,9}$	$\frac{44,4 \pm 74,6}{0,01-290,0}$	$\frac{19,4 \pm 38,3}{0,01-149}$
	$K_{ов}, \%$	—	$\frac{38,4 \pm 23,4}{21,1-92,7}$	$\frac{38,7 \pm 20,2}{13,4-80,2}$	$\frac{35,5 \pm 16,3}{20,2-59,4}$	$\frac{36,4 \pm 20,1}{12,4-82,9}$	$\frac{26,9 \pm 16,6}{13,4-58,0}$

Примечание. В числителе среднее значение и стандартное отклонение, в знаменателе – размах значений.

Выборка составляла 287 образцов, для каждого образца определена фациальная принадлежность: 18 (ПМ-МЗ), 23 (РМДС), 56 (РМДП), 10 (ФП) 162 (ВП), 18 (ОТ). По каждому образцу имелись определения коэффициентов пористости ( $K_{п}$ ), проницаемости ( $K_{пр}$ ), остаточной водонасыщенности ( $K_{ов}$ ). Коэффициент остаточной водонасыщенности не определен для следующих образцов: ПМ-МЗ, 8 – РМДС, 19 – РМДП, 7 – ФП, 105 – ВП, 7 – ОТ. Данные о пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности с

учетом установленных фаций приведены в таблице.

Из неё видно, что наименьшие средние значения  $K_{п}$  отмечены у фаций ПМ-МЗ, наибольшее среднее значение – у фаций ВП, у фаций РМДС и ФП значения средних показателей  $K_{п}$  одинаковы. Максимальные значения коэффициента проницаемости наблюдаются у фации ВП, далее по уменьшению значений ( $K_{пр}$ ) следуют фации ОТ, ФП, РМДП, РМДС и ПМ-МЗ. Коэффициент остаточной водонасыщенности для образцов фации ПМ-МЗ не определён, а для всех остальных фаций он

составил в среднем 36%, за исключением фации ОТ (26, 9%). Для имеющейся выборки построены гистограммы распре-

ления значений  $K_{П}$ ,  $K_{ПР}$ ,  $K_{ОВ}$  исходя из фациальных особенностей башкирских отложений (рис. 2–4).

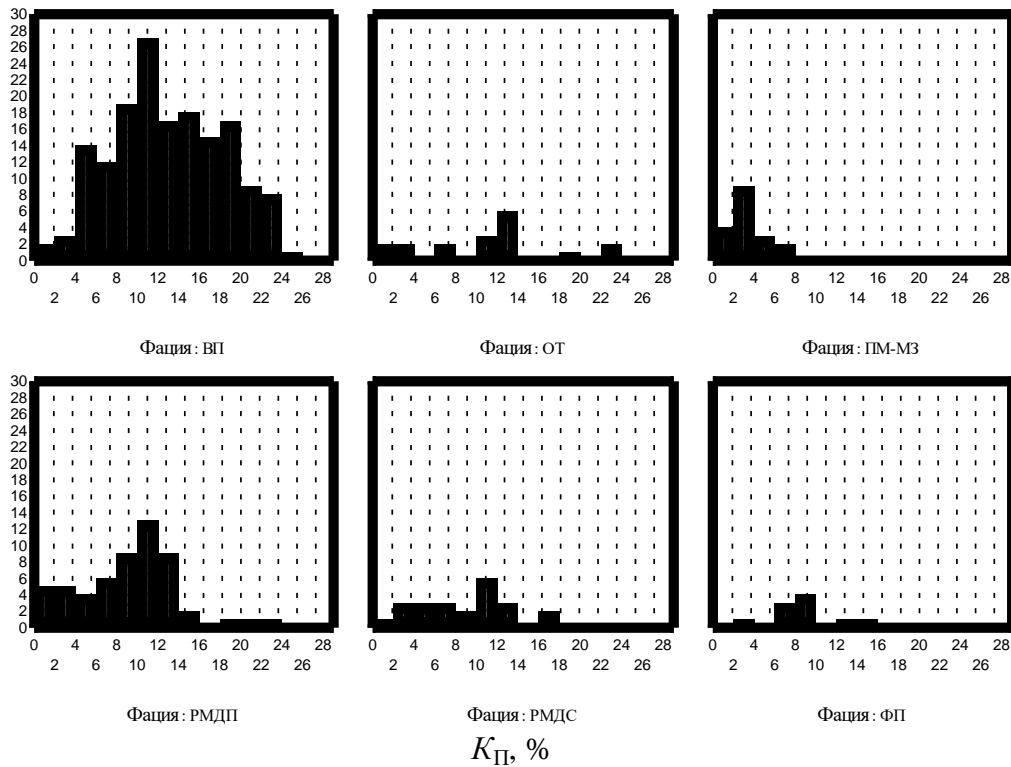


Рис. 2. Гистограммы распределения значений пористости фаций

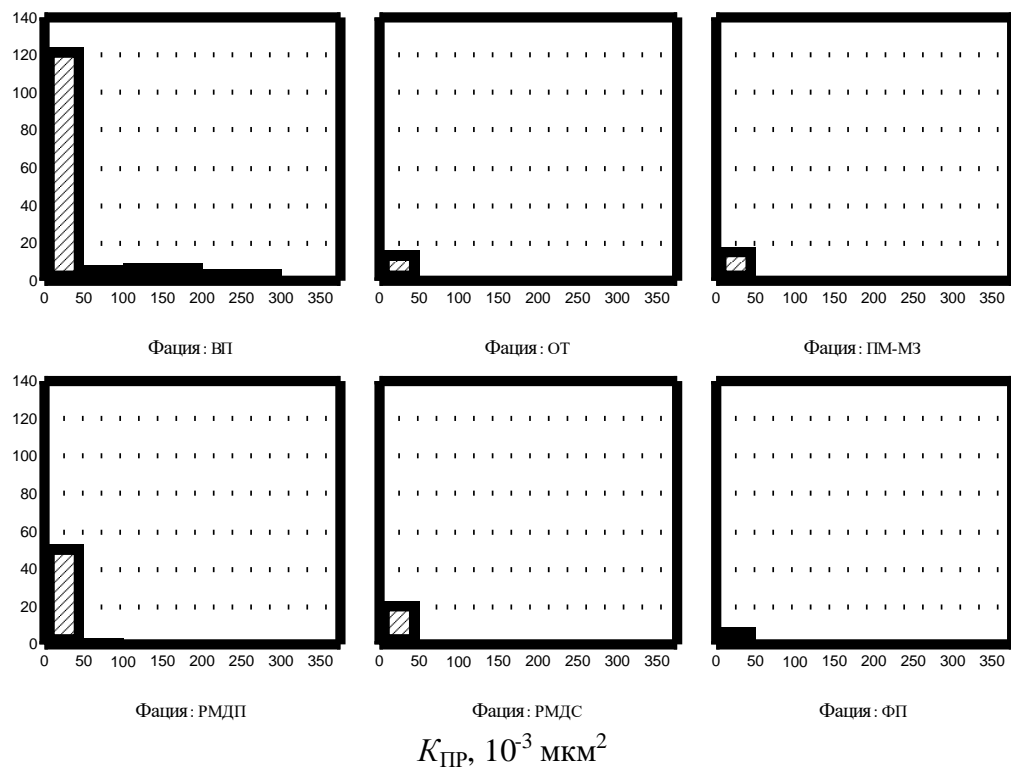


Рис. 3. Гистограммы распределения значений проницаемости фаций

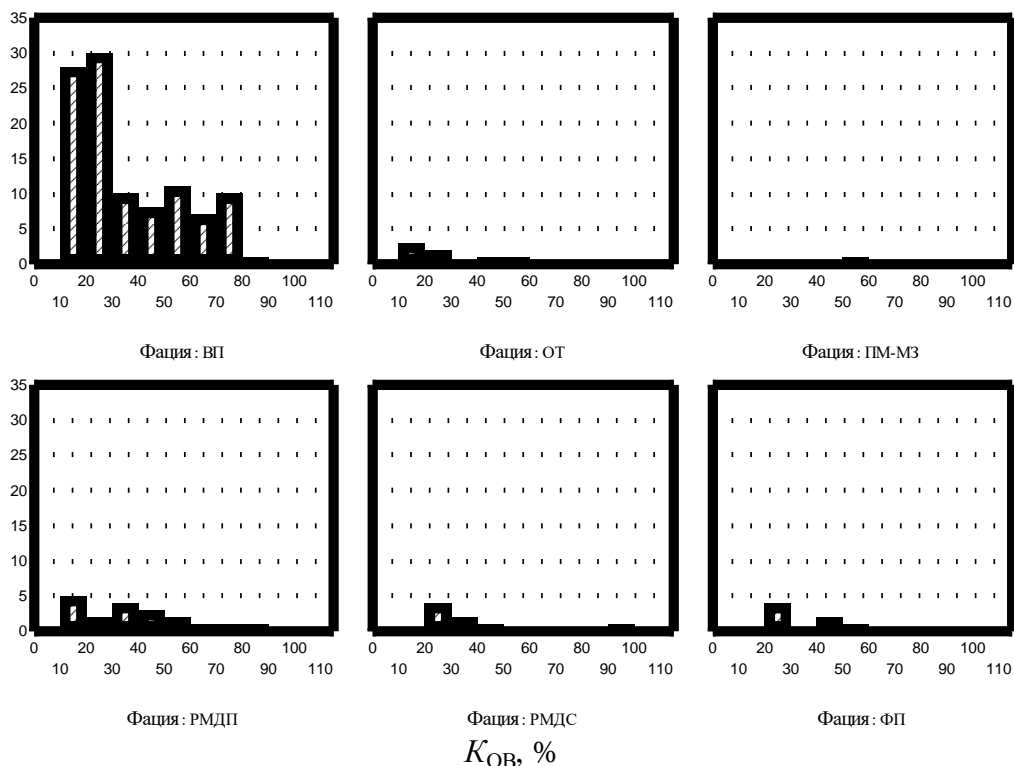


Рис. 4. Гистограммы распределения значений остаточной водонасыщенности фаций

На гистограммах видно, что нормальное распределение характерно только для пористости. Показатели проницаемости и остаточной водонасыщенности находятся в области низких значений.

Для установленных фаций (рис. 5, 6) были построены корреляционные диаграммы зависимости коэффициента проницаемости от пористости и остаточной водонасыщенности от пористости. Характер связи этих параметров и уравнения регрессии представлены ниже при описании соответствующих фаций.

**Фации отмелей (ОТ).** Характеризуются исключительно малыми глубинами среды обитания морских организмов (не более 10 м). Среда осадконакопления отличается очень высокой подвижностью вод и плотным, а иногда и твёрдым каменистым дном. Морские отложения представлены известняковыми брекчиями. Они состоят из органогенно-обломочных и комковато-обломочных известняков. По периферии фации отмелей последова-

тельно сменяются фациями различных фаунистических поселений.

Зависимость проницаемости от пористости для фаций отмелей башкирского века описывается следующим уравнением регрессии:

$$K_{\text{ПР}} = 0,2568 \exp(0,1799 K_{\text{П}}),$$

$$r = 0,15, p = 0,55, \text{ где здесь и далее}$$

$r$  – оценка коэффициента корреляции,  $p$  – уровень статистической значимости.

В этих фациях отсутствуют связи между  $K_{\text{ПР}}$  и  $K_{\text{П}}$ , коллектор низкопроницаемый, среднепористый, по классификации А.И. Кринари (1959), (см. также: Митрофанов, 2002).

Зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности для фаций отмелей описывается следующим уравнением регрессии:

$$K_{\text{ОВ}} = 43,3994 - 1,2524 K_{\text{П}},$$

$$r = -0,34, p = 0,39.$$

В этих фациях отсутствуют связи между  $K_{\text{ОВ}}$  и  $K_{\text{П}}$ .

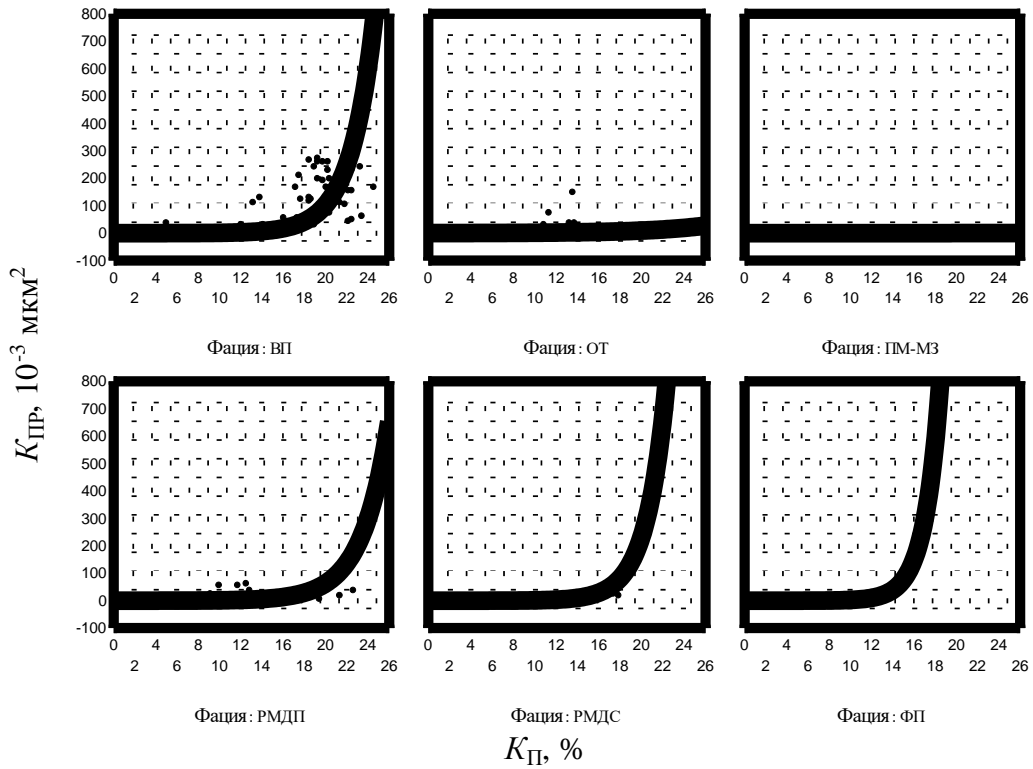


Рис. 5. Корреляционная диаграмма зависимости проницаемости от пористости

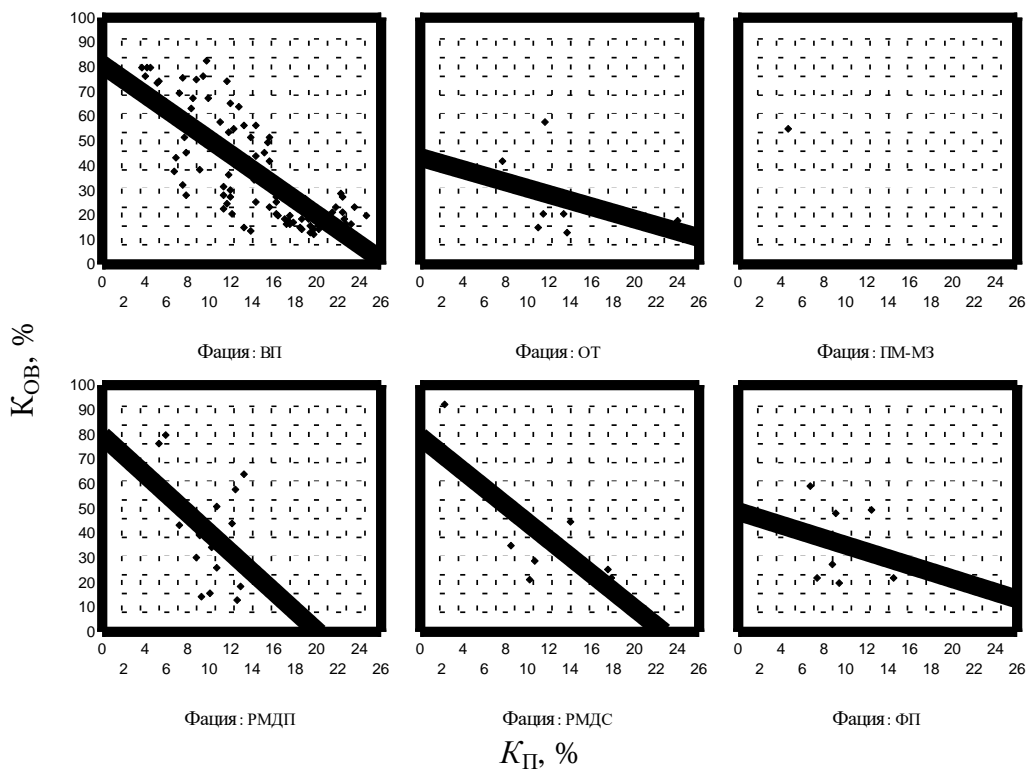


Рис. 6. Корреляционная зависимость остаточной водонасыщенности от пористости

**Фашии поселений различных организмов (ПО).** Этот комплекс фашии очень широко распространён в составе морских мелководных отложений башкирских отложений, располагаясь по периферии отмелей и знаменуя собой постепенный переход к фашиям относительно ровного морского дна, включает фашии водорослевых (ВП) и фораминиферовых поселений (ФП).

**Фашии водорослевых поселений (ВП).** К этим фашиям принадлежат водорослевые известняки, сложенные хрупкими и тонкими скелетными остатками зелёных и багряных водорослей. Благодаря особенностям своего строения они образовывали заросли, покрывавшие какую-то часть морского дна. После отмирания организмов в донном осадке скапливались их твердые скелетные остатки, дав впоследствии прослой (до 0,5 м). Для этих фашии характерны биоморфные и органогенно-детритовые структуры.

Зависимость проницаемости от пористости для фашии водорослевых поселений имеет вид

$$K_{\text{ПР}} = 0,0151 \exp(0,4415 K_{\text{П}}), \\ r = 0,69, p = 0,00.$$

Связь сильная и значимая, а коллектор характеризуется как низкопроницаемый и среднепористый.

Зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности для фашии водорослевых поселений имеет вид

$$K_{\text{ОВ}} = 81,054 - 3,0443 K_{\text{П}}, \\ r = -0,79, p = 0,00.$$

Связь сильная и значимая.

**Фашии фораминиферовых поселений (ФП).** К этим фашиям отнесены фораминиферовые известняки. Преобладают детритовые и мелкодетритовые структуры.

Зависимость проницаемости от пористости для фашии поселений различных организмов башкирского века имеет вид

$$K_{\text{ПР}} = 0,0032 \exp(0,6733 K_{\text{П}}), \\ r = 0,70, p = 0,02.$$

Для этих отложений связь сильная и значимая, коллектор характеризуется как низкопроницаемый и среднепористый.

Зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности для фашии фораминиферовых поселений имеет вид

$$K_{\text{ОВ}} = 48,7846 - 1,3646 K_{\text{П}}, \\ r = -0,23, p = 0,62.$$

Связь слабая и незначимая.

**Фашии относительно ровного морского дна (РМД).** Этот комплекс включает фашии ровного морского дна со спокойным гидродинамическим режимом (РМДС) и подвижным гидродинамическим режимом (РМДП).

**Фашии участков ровного морского дна со спокойным гидродинамическим режимом (РМДС)** характеризуются морскими отложениями, которые формировались в удалённых от берега морских мелководных обстановках, отличающихся илистым дном и спокойным или слабоподвижным гидродинамическим режимом. Рассматриваемые фашии представлены различными известняками, часто доломитизированными, иногда в различной степени глинистыми, с большим разнообразием структурных особенностей. Среди них ведущая роль принадлежит микрозернистым, тонкозернистым, сгустковым, комковатым и сгустково-комковатым разновидностям.

Зависимость проницаемости от пористости для фашии РМДС имеет вид

$$K_{\text{ПР}} = 0,0069 \exp(0,5211 K_{\text{П}}), \\ r = 0,82, p = 0,00.$$

Связь сильная и значимая, а коллектор характеризуется как низкопроницаемый и среднепористый.

Зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности для фашии РМДС описывается следующим уравнением регрессии:

$$K_{\text{ОВ}} = 79,1768 - 3,4852 K_{\text{П}}, \\ r = -0,75, p = 0,03.$$

Из уравнения видно, что наблюдается сильная, значимая связь.

**Фашии участков ровного морского дна с подвижным гидродинамическим режимом (РМДП)** характеризуются морскими отложениями, которые накапливались в обстановках с плотным дном и подвижной динамикой среды. В

литологическом отношении они представлены различными известняками, ведущая роль принадлежит органогенно-детритовым разностям.

Корреляция пористости и проницаемости для этих фаций башкирского века имеет следующий вид:

$$K_{ПР} = 0,0259 \exp(0,3898 K_{П}),$$

$$r = 0,42, p = 0,00.$$

По средним значениям отложения относятся к среднепористым и низкопроницаемым, связь параметров незначимая и слабая.

Зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности для фаций РМДП описывается следующим уравнением регрессии:

$$K_{ОВ} = 79,6872 - 3,9591 K_{П},$$

$$r = -0,50, p = 0,03.$$

Из уравнения видно, что наблюдается слабая, незначимая связь.

**Прибрежно-морские мелководные (ПМ-М) фации** в зависимости от характера берега и рельефа морского дна могут быть закрытыми (ПМ-МЗ) и открытыми (ПМ-МО), отличаясь гидродинамическими особенностями среды осадконакопления. В рассматриваемых отложениях присутствуют только фации прибрежно-морские мелководные закрытые (ПМ-МЗ). Они имеют подчинённое значение, характеризую прибрежную часть древних бассейнов в зоне перехода от моря к суше. Накопление осадков, представляющих эту фацию, шло в прибрежных участках морского бассейна, обособленных от основной его части изгибами береговой линии и неровностями морского дна. Эти обстановки характеризовались илистым дном и спокойной или слабоподвижной динамикой среды. Морские отложения, накопившиеся в этих условиях, представлены известковистыми песчаниками.

Корреляционная зависимость пористости и проницаемости башкирских отложений фаций ПМ-МЗ имеет вид

$$K_{ПР} = 0,0096 \exp(0,1361 K_{П}),$$

$$r = 0,15, p = 0,54.$$

Для этих фаций характерно отсутствие связей между  $K_{ПР}$  и  $K_{П}$ .

Для фаций ПМ-МЗ не установлена зависимость проницаемости от остаточной водонасыщенности из-за недостатка данных.

Выявленные зависимости литологии и структуры от условий осадконакопления позволили предположительно определить фациальный ряд (Ефимов, Кочнева, 2011а, б; 2012), отражающий закономерности смены осадков в открытом эпиконтинентальном море и имеющий следующую последовательность фаций (в направлении от берега): ПМ-МЗ, РМДС, РМДП, ПО (ФП, ВП), ОТ.

При изучении фациального состава башкирских отложений наметились определённые закономерности в пространственном размещении фаций. Переход от одной фации к другой происходит постепенно. Этим обусловлено наличие промежуточных фациальных типов, таких как фораминиферово-водорослевые поселения. Все многообразие переходов и связей между выделенными морскими фациями отражает схема парагенезиса.

Анализируя фациальные особенности и корреляцию пористости и проницаемости, пористости и остаточной водонасыщенности башкирских отложений, можно сделать следующие выводы.

1. В башкирских отложениях присутствуют фации отмелей (ОТ), фации водорослевых (ВП) и фораминиферовых поселений (ФП), фации ровного морского дна с подвижным гидродинамическим режимом (РМДП), фации ровного морского дна со спокойным гидродинамическим режимом (РМДС) и фации прибрежно-морские мелководные закрытые (ПМ-МЗ). Преобладающее значение принадлежит фациям поселений различных организмов (ПО): водорослевым поселениям (ВП) и фораминиферовым поселениям (ФП).

2. Корреляционный анализ башкирских отложений позволил определить, что наиболее сильная и значимая связь между пористостью и проницаемостью характерна для фаций РМДС, ВП и ФП. Связь между пористостью и остаточной водонасыщенностью наиболее сильная и значи-

мая у фаций ВП и РМДС (Галкин и др., 2013; Ефимов, Кочнева, 2010).

Таким образом, с целью рациональной разработки запасов нефти и уточнения объектов целесообразно использование результатов фациального анализа коллекторов.

#### Библиографический список

- Галкин В.И., Ефимов А.А., Кочнева О.Е., Савицкий Я.В.* Исследование зависимости коэффициента подвижности нефти от петрофизических характеристик на примере пласта Бш Сибирского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2013. №4. С.13–15.
- Ефимов А.А., Кочнева О.Е.* Использование фациальных особенностей карбонатных отложений Сибирского месторождения для исследований связей между коэффициентами пористости и проницаемости // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. №12. С.15–18.
- Ефимов А.А., Кочнева О.Е.* Оценка влияния фациальной приуроченности на приемистость карбонатных отложений башкирского яруса Сибирского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2011а. №10. С. 15–19.
- Ефимов А.А., Кочнева О.Е.* Коллекторские свойства и структурно-фациальные особенности башкирских отложений Сибирского месторождения // Научные исследования и инновации /Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2011б. Т. 5, №1. С.72–75.
- Ефимов А.А., Кочнева О.Е.* Исследование приемистости отложений башкирского яруса Сибирского месторождения в различных фациальных условиях // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2012. №3. С.15–23.
- Крашенинников Г.Ф.* Учение о фациях. М.: Высшая школа, 1971. 367 с.
- Кричарь А.И.* Об унификационной схеме классификаций коллекторов нефти и газа // Геология нефти и газа. 1959. №7. С. 8.
- Митрофанов В.П.* Особенности фильтрационно-емкостных свойств карбонатных коллекторов Соликамской депрессии / ОАО «ВНИИОЭНГ». М., 2002. 116 с.
- Наливкин Д.В.* Учение о фациях. Ч. I и II. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 534 и 393 с.
- Рухин Л.Б.* Основы общей палеогеографии. Л.: Гостоптехиздат, 1959. 557 с.
- Щербаков О.А.* Закономерности пространственного распределения осадков в каменноугольных морях Западного Урала // Геология и геофизика нефтегазовых областей / Башкир. филиал АН СССР. Институт геологии. Уфа, 1982. С. 83–92.

## Influence of Facial Features on Reservoir Properties of the Bashkirian Carbonate Deposits of the Lake Field

**O.E. Kochneva<sup>a,b</sup>, A.A. Yefimov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Av., Perm 614990, Russia

<sup>b</sup>Perm State University, 15 Bukireva Str, Perm 614990, Russia.

E-mail: olgakochneva777@yandex.ru

Results of study are dedicated to the influence of facial conditions on reservoir properties in the carbonate deposits of the Lake field, Perm kray. Description of the core material and field test data were used for comprehensive analysis.

Key words: *core, carbonate deposits, facial features, coefficient of open porosity, absolute permeability on gas.*



## References

- Galkin V.I., Yefimov A.A., Kochneva O.E., Savitsky Ya.V.* 2013. Issledovanie zavisimosti koefitsienta podvizhnosti nefti ot petrofizicheskikh kharakteristik na primere plasta Bsh Sibirskogo mestorozhdeniya [Study of dependence of oil mobility coefficient on petrophysical characteristics, example of Bsh layer of the Siberian field]. *Neftyanoe khozyaystvo*. 4:13–15. (in Russian)
- Yefimov A.A., Kochneva O.E.* 2010. Ispolzovanie fatsialnykh osobennostey karbonatnykh otlozheniy Sibirskogo mestorozhdeniya dlya issledovaniy svyazey mezhdru koefitsientami poristosti i pronitsaemosti [Use of facial features of carbonate deposits of the Siberian field for studies of relationship between the coefficients of porosity and permeability]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 12:15–18. (in Russian)
- Yefimov A.A., Kochneva O.E.* 2011. Otsenka vliyaniya fatsialnoy priurochennosti na priyomistost karbonatnykh otlozheniy bashkirskogo yarusa Sibirskogo mestorozhdeniya [Evaluation of influence of a facial confinedness on the accelerated performance of the Bashkirian carbonate deposits of the Siberian field]. *Neftyanoe khozyaystvo*. 10:15–19. (in Russian)
- Yefimov A.A., Kochneva O.E.* 2011. Kollektorskie svoystva i strukturno\_fatsialnye osobennosti bashkirskikh otlozheniy Sibirskogo mestorozhdeniya [Reservoir properties, structural and facial features of the Bashkirian deposits of the Siberian field]. *Nauchye issledovaniya i innovatsii*. 5(1):72–75. (in Russian)
- Yefimov A.A., Kochneva O.E.* 2012. Issledovanie priemistosti otlozheniy bashkirskogo yarusa Sibirskogo mestorozhdeniya v razlichnykh fatsialnykh usloviyakh [Study of the accelerated performance of the Bashkirian deposits of the Siberian field in various facial conditions]. *PNIPU Bulletin. Geology. Oil and gas and mining*. 3:15–23. (in Russian)
- Krashennnikov G.F.* 1971. Uchenie o fatsiyakh [The doctrine about facies]. *Vyssshaya shkola*, Moskva, p. 367. (in Russian)
- Krinari A.I.* 1959. Ob unifikatsionnoy skheme klassifikatsii kollektorov nefti i gaza [About the unification scheme for classification of oil and gas reservoirs]. *Geologiya nefti i gaza*. 7: 8. (in Russian)
- Mitrofanov V.P.* 2002. Osobennosti filtratsionno\_emkostnykh svoystv karbonatnykh kollektorov Solikamskoy depressii [Characteristics of filtration-capacitive properties of carbonate reservoirs of the Solikamsk depression]. *VNIIOENG*, Moskva, p. 116. (in Russian)
- Nalivkin D.V.* 1956. Uchenie o fatsiyakh [The doctrine about facies]. *AN SSSR*, Moskva.
- Rukhin L.B.* 1959. Osnovy obshchey paleogeografii [Fundamentals of the general paleogeography]. *Gostoptekhizdat*, Leningrad, p. 557. (in Russian)
- Scherbakov O.A.* 1982. Zakonomernosti prostanstvennogo raspredeleniya osadkov v kamennougolnykh moryakh Zapadnogo Urala [Regularities of spatial distribution of precipitation in the Carboniferous seas of the Western Urals]. *In Geologiya and geofizika neftegazonosnykh oblastey*. AN SSSR, Ufa, pp. 83–92. (in Russian)