

ния стабильных параметров, не изменяющихся во времени, независимо от субъективных факторов повысить точность и достоверность определения смачиваемости пород-коллекторов и более объективно отражать реальное состояние объекта исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиматулинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта. — М.: Недра, 1971. — 309 с.  
 2. Амикс Д., Басс Д., Уайтинг Р. Физика нефтяного пласта. — М.: Гостехиздат, 1962. — 571 с.  
 3. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород. — М.: Недра, 1982. — 256 с.  
 4. Тульбович Б.И. Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа. — М.: Недра, 1979. — 199 с.

5. ОСТ 39—180—85. Нефть. Метод определения смачиваемости углеводородсодержащих пород.  
 6. Орлов Л.И., Дядькин И.Г. Моделирование остаточной воды методом центрифугирования // Экспресс-информ. / ВИЭМС. Сер. "Лабораторные и технологические исследования и методы обогащения минерального сырья". — М.: ВИЭМС, 1978. — Вып. 4. — С. 20—27.  
 7. Орлов Л.И., Карпов Е.Н., Топорков В.Г. Петрофизические исследования коллекторов нефти и газа. — М.: Недра, 1987. — 216 с.  
 8. Тульбович Б.И. Петрофизическое обеспечение эффективного извлечения углеводородов. — М.: Недра, 1990. — 186 с.  
 9. Способ определения смачиваемости пористых материалов / Г.П. Хижняк. Подана заявка.  
 10. ОСТ 39—181—85. Нефть. Метод лабораторного определения пористости углеводородсодержащих пород.

УДК 552.5:553.98.048

ОСОБЕННОСТИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОЛОМИТОВ

В. П. Митрофанов  
 (ООО "ПермНИПИнефть")

На территории Пермского Прикамья среди перспективных на нефть и газ карбонатных комплексов значительную часть составляют доломиты, представляющие собой преимущественно кристаллически-зернистые породы с частично сохранившимися фрагментами органогенных остатков. Большинство из них являются вторичными с различной степенью преобразования первичного известкового материала.

По макроописанию среди доломитов выделяются микро-, тонко- и мелкозернистые литотипы. Для доломитов характерна тенденция к ступкообразованию, поэтому равномернозернистая структура у них встречается редко. Ступки образуются чаще в микро-тонкозернистых разностях. Мелкозернистые доломиты по структуре более однородные, увеличение зерен и степени идиоморфности их происходит, как правило, в направлении к стенкам пор. Мелкозернистые, реже тонкозернистые доломиты преимущественно вторичные метасоматические, о чем свидетельствуют реликты органических остатков. Микрзернистые доломиты, надо полагать, являются первичными, что подтверждается однороднозернистой структурой, равномерным распределением пелитоморфного глинистого материала и отсутствием органических остатков.

Пористые участки в доломитах часто выполнены гипсом и ангидритом. Объем порового пространства определяется преимущественно пористостью. Форма пор преимущественно овальная. В микрзернистых

Рассмотрены особенности доломитизации и сульфатизации пород, влияния их на коллекторские свойства. Для различных типов доломитов проведены зависимости соотношения пористости, проницаемости, поровых каналов, эффективной пористости.

Peculiarities of rocks dolomitization and sulphatization are examined in the article, their influence on reservoir properties. For different types of dolomites it is given concrete dependence of ratio of porosity, permeability, pore canals, effective porosity.

породах поры обособлены, тогда как в мелкозернистых расположены близко и переходят друг в друга. В большинстве случаев пористость обусловлена выщелачиванием органических остатков и в меньшей степени ангидрита.

Физико-химическая сторона образования пористости в карбонатных породах при их

доломитизации и сульфатизации подробно изложена в ряде работ [1, 2]. В них показано, что при определенных условиях доломитизация сопровождается увеличением порового пространства пород, несмотря на отрицательное влияние параллельно происходящей сульфатизации.

Непосредственное влияние доломитизации на емкостные свойства пород было проанализировано по данным 439 определений пористости и химического состава, выполненных в большинстве случаев с одного и того же цилиндра. Исследования проведены на среднекаменноугольных карбонатных отложениях южных районов Башкирского свода сопредельных с Пермским Прикамьем. Сопоставление между степенью доломитизации (Д) пород и их пористостью представлено в графическом виде на рис.1 и описывается зависимостью:

$$K_n = 0,00005 D^3 - 0,005 D^2 + 0,1857 D + 6,4384;$$

$$R = 0,918, \tag{1}$$

где  $K_n$  и  $D$  выражаются в процентах.

На основании этого материала можно утверждать, что в данном районе доломитизация способствует

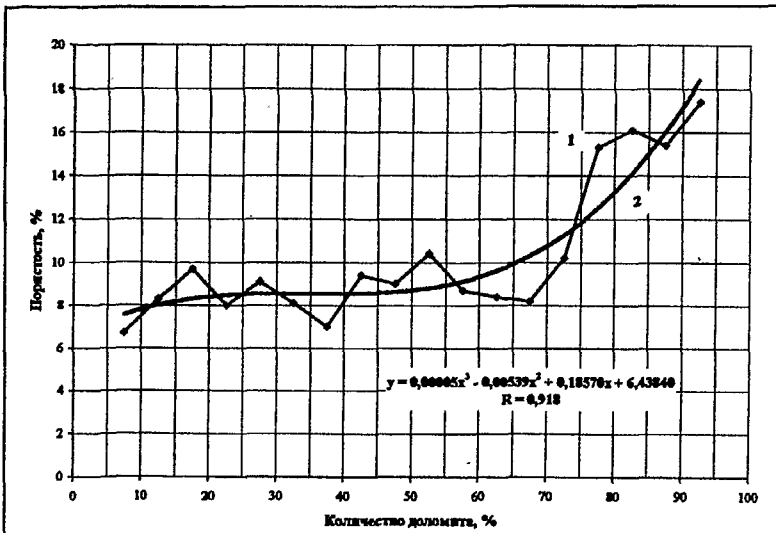


Рис. 1. Зависимость пористости от степени доломитизации известняков: 1 — экспериментальная зависимость; 2 — корреляционная зависимость

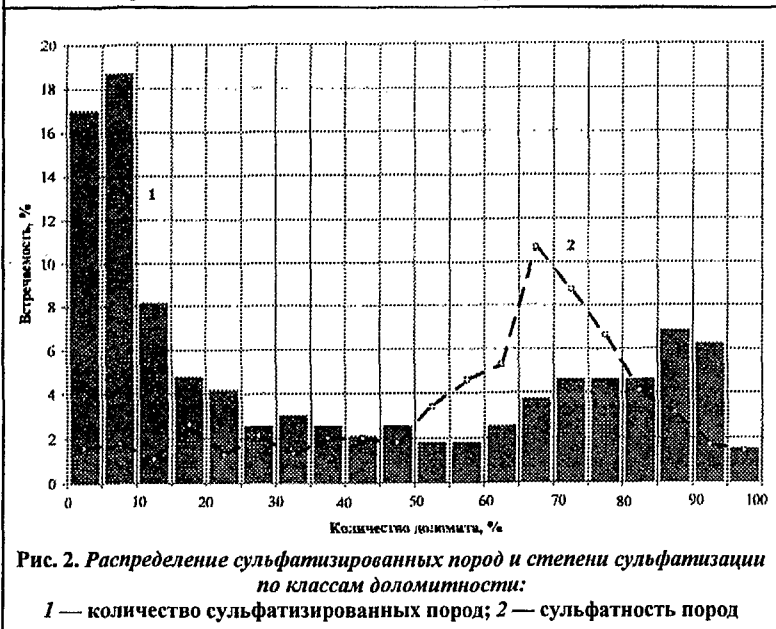


Рис. 2. Распределение сульфатизированных пород и степени сульфатизации по классам доломитности: 1 — количество сульфатизированных пород; 2 — сульфатность пород

увеличению пористости пород. Но зависимость эта сложная, и по ней уверенно выделяются две стадии преобразования известняков. При доломитизации в диапазоне от 0 до 70...75 % пористость пород увеличивается, но незначительно — с 6,5 до 10,5 %. Содержание 70...75 % доломита можно считать характерической величиной, после которой дальнейшая доломитизация сопровождается резким повышением пористости пород.

Ступенчатость влияния доломитизации на пористость в значительной степени обусловлена тем, что в породе одновременно протекает процесс сульфатизации. Содержание сульфатов иногда достигает 38 %, однако среднее значение низкое — 4,3 %. Объясняется это тем, что среди сульфатизированных разностей резко преобладают породы с содержанием сульфатов менее 1 %.

О сложности процессов вторичного преобразования карбонатного материала можно судить по соот-

ношению и встречаемости сульфатизированных пород и степени сульфатизации для различных классов доломитизации (рис. 2). Как видно из графиков, сульфатизированные породы наиболее часто встречаются, с одной стороны, в известняках и их доломитизированных разностях, с другой стороны, в доломитах известковых и доломитистых. В первом случае максимум сульфатизированных пород (17...19 %) приходится на интервал доломитности 0...15 %, во втором, менее выраженном (до 7 %), — на 70...95 %. При промежуточной доломитизации в 15...70 % количество сульфатсодержащих пород значительно меньше (1,8...4,8 %).

Однако количественное распределение сульфатов по классам доломитности, т. е. степень сульфатизации пород, не совпадает со встречаемостью этих пород. Низкое содержание сульфатов (1...2 %) приходится на интервал доломитности 0...50 % и одновременно на максимум встречаемости сульфатизированных пород. Начиная с 50%-й доломитности, сульфатизация пород резко возрастает, а максимум ее приходится на 65...75 % доломитности. С последующим увеличением доломитности сульфатизация пород снижается до 1,5 % при одновременно максимальной их встречаемости. Такое соотношение противоположных по направленности вторичных процессов во многом объясняет значительное увеличение пористости в измененных породах при содержании доломита более 65...75 %, поскольку наблюдается благоприятное сочетание высокой доломитности и низкой сульфатности.

В доломитах в сравнении с известняками пористость изменяется в более широком диапазоне, а проницаемость — в значительно меньшем [3], кроме того, и соотношение фильтрационно-емкостных свойств у них совершенно другое [4, 5]. В связи с этим для решения практически важных вопросов необходима достоверная информация об их петрофизических свойствах. С этой целью была детально изучена специальная коллекция доломитов из различных продуктивных отложений. Объектом исследований служили доломиты Шагиртского, Альяншского, Москудынского, Гондыревского, Таныпского и других месторождений. Доля доломитов в эффективной части, к примеру, пласта КВ<sub>1</sub> на первых четырех месторождениях составляет по данным изучения керна соответственно 60, 50, 30 и 20 %.

Результаты литолого-петрофизических описаний и определений коллекторских свойств разновозрастных доломитов представлены в табл. 1. На основании приведенных данных можно выделить два типа доломитов. Первый включает башкирские, серпуховские и турнейские, второй — каширско-верейские. Башкир-

Литолого-коллекторская характеристика каменноугольных доломитов южной части Пермского Прикамья

Пласт	Пористость, %		Проницаемость, $\text{м}^2$		Структура, состав	Основной тип пор	Размеры пор, мм	
	от...до	средняя	от...до	средняя			от...до	средние
Т	3,2...19,7	7,5	0,04...13,3	2,7	Тонкозернистые, известковистые, сульфатизированные	Выщелачивания, реже межзернистые	0,03...0,9	0,23
Срп	13,1...27,6	13,6	10,6...2250,0	274,0	Мелкозернистые	Выщелачивания	0,04...1,0	0,54
Бш	1,7...23,5	11,2	0,01...795,0	101,0	Мелкозернистые	Выщелачивания, реже межзернистые	0,025...1,0	0,34
Бш+Срп+Т	1,7...27,6	12,8	0,01...2250,0	139,0	Мелкозернистые	Выщелачивания	0,025...1,0	0,35
КВ <sub>1</sub>	5,5...30,6	17,7	0,06...91,4	16,1	Микро- и тонкозернистые, пелитоморфные, с терригенной примесью	Межзернистые	0,007...0,6	0,11

ские, серпуховские и турнейские доломиты, несмотря на некоторые отличия, имеют больше сходства. Среди них несколько выделяются турнейские доломиты, тем не менее они могут рассматриваться с первыми двумя совместно. По составу они преимущественно мелкозернистые, пористость их обусловлена в основном процессами выщелачивания, а размеры пор, вычисленные как средние из предельных значений по каждому шлифу, сопоставимы. Показательны и усредненные данные для этих доломитов в сравнении с каширско-верейскими. Так, при более высокой пористости последние отличаются меньшими проницаемостью и размером зерен (пелитоморфные, микро-, реже тонкозернистые), преобладанием первичных межзерновых пор. Все это позволяет анализировать два типа доломитов раздельно.

О различии выделенных типов доломитов свидетельствуют в первую очередь зависимости газопроницаемости от пористости, которые для пластов Бш+Срп+Т и КВ<sub>1</sub> значительно отличаются и описываются уравнениями:

$$\text{Lg } K_{\text{пр.г}} = 2,1833 \text{ Ln } K_{\text{п}} - 4,2503 ; R = 0,861, \quad (1)$$

$$\text{Lg } K_{\text{пр.г}} = 1,9808 \text{ Ln } K_{\text{п}} - 4,9866 ; R = 0,851, \quad (2)$$

где  $K_{\text{пр.г}}$  —  $\text{м}^2$ ,  $K_{\text{п}}$  — %.

В обоих случаях для диапазона  $K_{\text{п}} > 4...5$  % тип зависимостей одинаковый, но при сопоставимой пористости у доломитов пласта КВ<sub>1</sub> проницаемость всегда меньше и разница эта увеличивается по мере улучшения коллекторских свойств. При  $K_{\text{п}} < 4...5$  % зависимость между  $K_{\text{пр.г}}$  и  $K_{\text{п}}$  резко меняется, а различие двух типов доломитов нивелируется (рис. 3).

Для исследуемой выборки образцов по данным электрических сопротивлений были рассчитаны средние эквивалентные радиусы поровых каналов ( $\bar{r}_3$ ) согласно известному выражению Пирсона. В результате между газопроницаемостью и размерами поровых каналов для рассматриваемых типов доломитов установлены тесные корреляционные зависимости. Они описываются уравнениями

$$\text{Lg}(\bar{r}_3) = 0,29 \text{ Lg}K_{\text{пр.г}} + 0,38 ; R = 0,957 - 1\text{-й тип}, \quad (3)$$

$$\text{Lg}(\bar{r}_3) = 0,24 \text{ Lg}K_{\text{пр.г}} + 0,58 ; R = 0,937 - 2\text{-й тип}, \quad (4)$$

которые отличаются между собой существенно. Это свидетельствует о том, что одной из основных причин, определяющих особенности выделенных типов доломитов, является структура порового пространства.

На основании уравнений (1)—(4) приводится сравнение расчетных проницаемости и радиусов поровых каналов для двух типов доломитов при различных значениях пористости (табл. 2). Как проницаемость, так и радиусы поровых каналов у каширско-верейских доломитов значительно меньше. Так, максимальная, 30-кратная, разница по проницаемости наблюдается при высокой пористости, а по размерам поровых каналов она постоянная, трехкратная, при любой пористости.

Исследование карбонатных пород Прикамья свидетельствует о том, что доломиты с различной структурой порового пространства (пористые и кавернозные) отличаются друг от друга, а также от известняков и по акустическим свойствам. Например, скорости распространения продольных ультразвуковых волн в атмосферных условиях у пористых, кавернозных доломитов и известняков при пористости 16,0 % составляют соответственно 188, 202 и 209 мк/с/м.

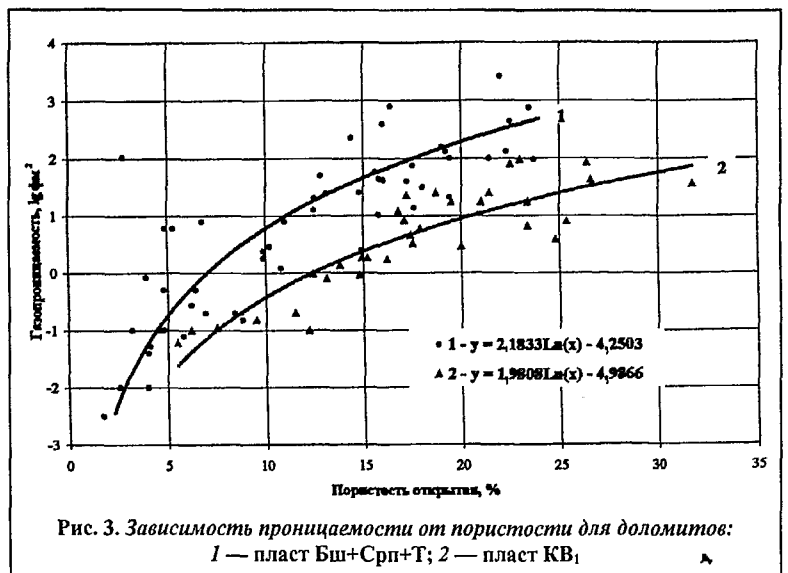


Таблица 2

Проницаемость и поровые каналы различных типов доломитов

Пласт	Проницаемость и поровые каналы	Классы пористости, %				
		5	10	15	20	25
КВ <sub>1</sub>	$K_{пр.г}, \text{фм}^2$	0,04	0,25	1,5	7,9	45,8
Бш+Срп+Т		0,23	2,0	18,2	159,0	1450,0
КВ <sub>1</sub>	$r_3$	0,4	1,4	2,6	4,5	7,5
Бш+Срп+Т		1,3	4,6	7,7	13,2	22,3

С целью дифференцированной оценки нефтенасыщенности для рассматриваемых типов доломитов были выполнены определения остаточной водонасыщенности и проанализирована ее зависимость от пористости и проницаемости (табл. 3). Моделирование остаточной воды осуществляли методом капиллярных давлений. При сопоставимых значениях пористости и проницаемости у доломитов пласта КВ<sub>1</sub> остаточной водонасыщенности намного больше, чем в башкирско-серпуховско-турнейских. По мере ухудшения коллекторских свойств пород эта разница увеличивается, особенно в случае зависимости  $K_{ов} = f(K_n)$ . Причина такого соотношения остаточной водонасыщенности объясняется микроструктурностью доломитов пласта КВ<sub>1</sub>, меньшим размером поровых каналов и присутствием глинистого материала, обуславливающими увеличение удельной поверхности порового пространства.

Неодинаковая остаточная водонасыщенность в доломитах различных типов отражается в первую очередь на их эффективной пористости и, естественно, на нефтенасыщенности (рис. 4). При одинаковой открытой пористости в диапазоне ее изменения от 10,0 до 28,0 % абсолютный эффективный объем пустотного

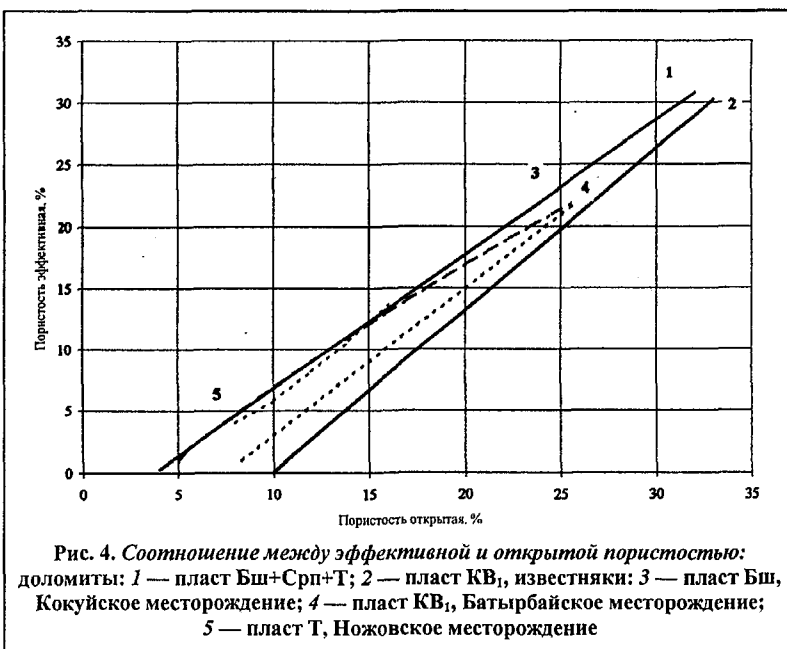
Зависимости остаточной водонасыщенности от пористости и проницаемости

Пласт	Уравнение зависимости	Диапазон применимости	Коэффициент корреляции
КВ <sub>1</sub>	$K_{ов} = 1278,7/K_n - 29,6$	10...30 %	-0,83
	$Lg K_{ов} = 1,85 - 0,35 Lg K_{пр.г}$	0,4...160,0 фм <sup>2</sup>	-0,92
Бш+Пр+Т	$Lg K_{ов} = 2,69 - 1,25 Lg K_n$	4...28 %	-0,90
	$Lg K_{ов} = 1,56 - 0,22 Lg K_{пр.г}$	0,03 - 3200 фм <sup>2</sup>	-0,94

пространства у доломитов пласта КВ<sub>1</sub> меньше соответственно на 6,7...2,7 %. В сравнении с известняками эффективная пористость каждого типа доломитов характеризуется своим соотношением. У доломитов пласта КВ<sub>1</sub> она значительно меньше, чем у известняков, а у доломитов пласта Бш+Срп+Т, наоборот, несколько больше.

Таким образом, доломитизация и сульфатизация пород тесно взаимосвязаны, приводят к изменению емкостных свойств первичных карбонатных пород и образованию различных типов доломитов. Отличия их проявляются в зернистости породообразующего материала, структуре порового пространства, соотношении проницаемости и открытой пористости, остаточной водонасыщенности. Размеры поровых каналов в доломитах становятся меньше, а структура порового пространства в целом более регулярной; открытая и эффективная пористость увеличиваются; проницаемость при одинаковой с известняками пористости снижается, а нефтенасыщенность оказывается больше. Резкое преобразование емкостных свойств происходит при доломитизации пород, превышающей 70...75 %.

ЛИТЕРАТУРА



1. Вишняков С.Г. Генетические типы доломитовых пород северо-западной окраины Русской платформы // Сб. науч. тр./ Институт геологии. — М., 1965. — Вып. 4. — С. 41—52.
2. Гмид Л.П., Звоницкая Е.В. Литолого-петрографические исследования карбонатных пород и формирование в них пористости // Сб. науч. тр. — 1965. — Вып. 242. — С. 49—63.
3. Багринцева К.И. Обоснование строения пустотного пространства карбонатных отложений различного генезиса // Геология нефти и газа. — 1996. — № 1. — С. 18—27.
4. Политыкина М.А. Изучение структуры порового пространства на примере Оренбургского газоконденсатного месторождения // Усовершенствование методов изучения месторождений с целью увеличения нефтеотдачи пластов / Губкинские чтения. — М.: Недра, 1982. — С. 21—24.
5. Митрофанов В.П., Сумароков С.Д. О физико-петрофизических особенностях и нефтенасыщенности каменноугольных доломитов Пермской области // Геология и разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья: Сб. науч. тр. / ИГиРГИ. — М., 1978. — Вып. 16. — С. 27—31.