



РОЛЬ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ УСТЬ-КУТСКОГО ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

М. Н. Лемешко

Определены литогенетические типы венд-кембрийских отложений усть-кутского горизонта. Рассмотрены особенности постседиментационных изменений. Охарактеризованы фильтрационно-емкостные свойства типов и оценено влияние на них вторичных процессов.

Ключевые слова: *доломиты, породы-коллекторы, постседиментационные процессы, усть-кутский горизонт.*

THE ROLE OF POSTSEDIMENTARY PROCESSES IN FORMATION OF CARBONATE RESERVOIRS OF UST-KUT PRODUCTIVE HORIZON IN THE CENTRAL PART OF NEPA-BOTUOBA ANTECLISE

M. N. Lemeshko

Lithogenetic types of Vendian-Cambrian deposits of Ust-Kut Horizon are distinguished. Characteristic features of post-sedimentary changes are considered. Reservoir properties are characterized for the types given, and the influence of secondary processes on the properties is estimated.

Keywords: *dolomites, reservoir rocks, post-sedimentary processes, Ust-Kut Horizon.*

Древние карбонатные породы Восточной Сибири интенсивно изменены вторичными процессами, которые влияют на химический и минеральный состав, структурно-текстурные особенности пород и их коллекторские свойства. В связи с этим в данной работе была поставлена задача рассмотреть вторичные процессы и оценить их влияние на пустотное пространство венд-кембрийских карбонатных пород.

В 2009–2011 гг. в результате бурения поисковых скважин в центральной части Непско-Ботубинской антеклизы были открыты новые месторождения. Одним из основных объектов разработки на месторождениях УВ являются карбонатные породы продуктивного усть-кутского горизонта (рис. 1).

Усть-кутский продуктивный горизонт тэтэрской свиты венд-кембрийского возраста вскрывается на глубине 1531,0–1765,0 м по стволу изученных четырех скважин месторождений, расположенных в Приленско-Непской фациальной зоне (по Н. В. Мельникову), имеет среднюю толщину 60 м [5]. За последние четыре года в научно-исследовательских институтах выполнен широкий комплекс работ с целью изучения состава и строения карбонатных пород. В настоящей статье использованы результаты исследований ядра усть-кутского горизонта четырех скважин: макроскопическое описание ядра (270,55 м ядра с выносом 98–100 %); петрографический анализ (99 шлифов); определение карбонатности с раздельной оценкой содержания кальцита, долами-

та и нерастворимого остатка (39 образцов), определения пористости и проницаемости по гелию (70 образцов). Поровое пространство оценивалось по фотоснимкам с растрового электронного микроскопа и результатам изучения структуры порового пространства по шлифам с помощью программного комплекса «Керн-С7». Анализы выполнены сотрудниками ИНГГ СО РАН (И. В. Вараксина, Е. М. Хабаров), ОАО «ТомскНИПинефть» (Я. Н. Рощина, М. Н. Лемешко, Е. Д. Полумогина и др.), ОАО НПЦ «Тверьгеофизика» (Н. В. Конюхова), ФГУП «ВНИГНИ» (Г. В. Агафонова).

Карбонатные породы, слагающие усть-кутский горизонт, представлены большей частью доломитами с незначительной примесью кальцита и разным содержанием нерастворимого остатка (глинистое вещество, ангидрит, кварц), что подтверждается петрографическим анализом и анализом определения карбонатности (рис. 2). В подчиненном количестве по разрезу встречаются маломощные аргиллиты, доломиты глинистые, прослой доломит-ангидритовых пород и ангидриты.

В соответствии с особенностями состава пород разрез усть-кутского горизонта был разделен автором на несколько литогенетических типов (за основу взята классификационная схема, разработанная Е. М. Хабаровым, по существу аналогичная классификации Р. Данхема), которые более подробно рассмотрены в статье М. Н. Лемешко, Е. А. Жуковской, И. В. Вараксина [3, 6, 7]. В предлагаемой статье внутри литогенетических типов были изучены коллекторские свойства и влияние вторичных процессов на них.

ОАО «ТомскНИПинефть» (Томск)

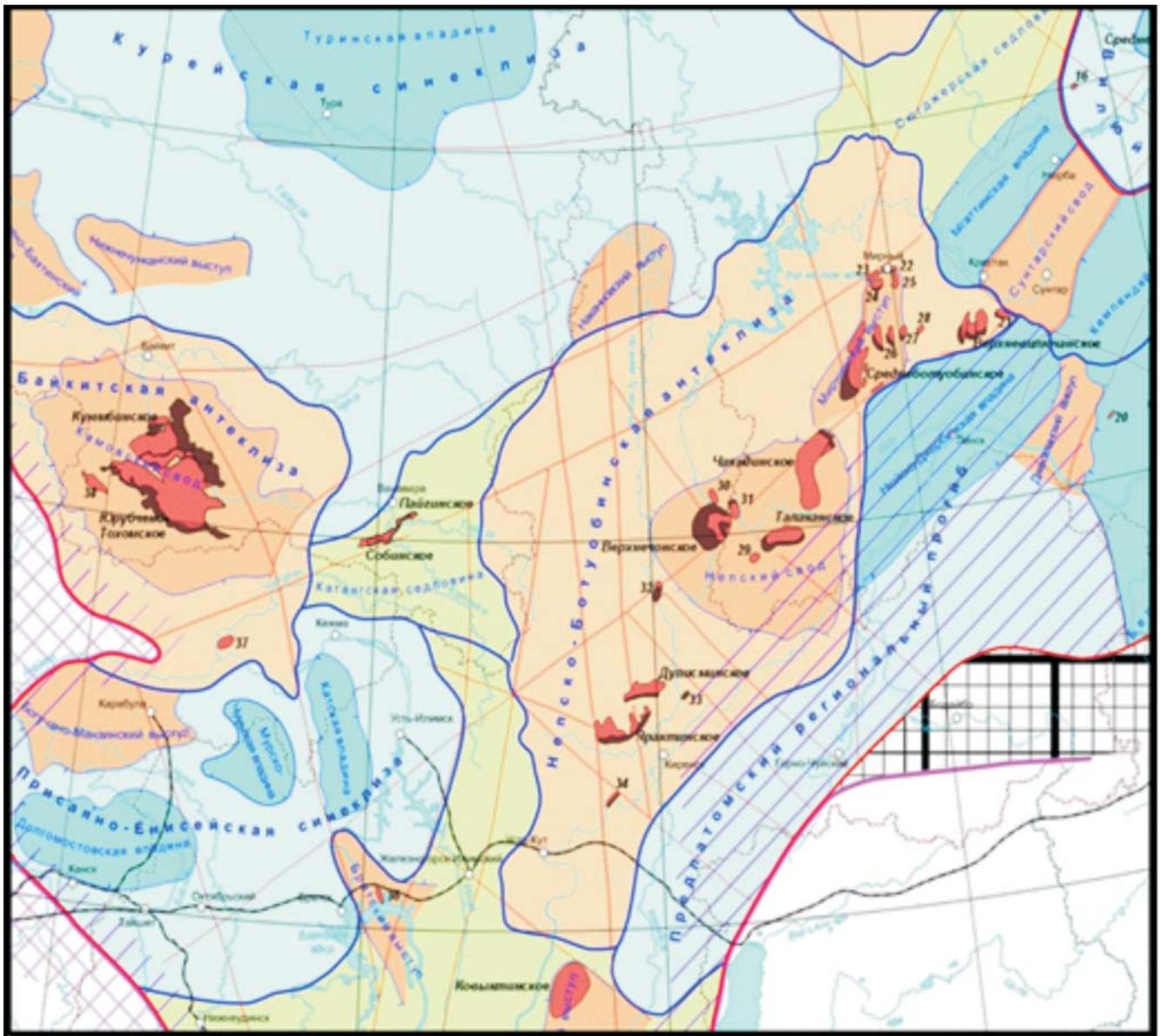


Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Литогенетический тип А – зернистые доломиты (грейнстоуны), состоящие из форменных элементов (зерен), представленных оолитами, пизолитами, сгустками и комками, интракластами и цементирующей их массой (микритовая или яснокристаллическая спаритовая). Породы этого типа самые распространенные (табл. 1).

Данные породы, как правило, обладали наибольшей первичной пористостью, так как образовались в результате механического отложения форменных элементов псаммитовой и более крупной размерности. Поровые пространства в таких породах формируются за счет неплотной укладки форменных элементов, и, соответственно, зернистые породы являются потенциальными коллекторами.

Литогенетический тип Б – микритово-зернистые (пакстоуны) и микритовые (мад- или вакстоуны) доломиты от типа А отличаются меньшим количеством зерен и значительным содержанием микрита, в разрезе такие отложения присутствуют

в виде маломощных прослоев. Микритовые доломиты – это серые породы, массивные, реже горизонтально-слоистые, часто в разной степени обогащенные глинистым веществом.

Литогенетический тип В – доломит-ангидритовые и глинисто-доломит-ангидритовые породы с разным соотношением слагающих их минералов, в разрезе встречаются в виде прослоев толщиной до 0,5 м.

Литогенетический тип Г – доломиты стромацолитовые (баундстоуны), встречается в верхней части усть-кутского горизонта, слагая стромацолитовые постройки мощностью до 5,5 м [3].

Среди всех пород усть-кутского горизонта фильтрационно-емкостными значениями, отличными от нуля, обладают породы литогенетических типов А и Б. По данным, полученным в лаборатории физики пласта ОАО «ТомскНИПИнефть», коэффициент пористости по газу (K_p) в зернистых доломитах типа А варьируют от 0,1 до 11,3 %, в микритово-зернистых доломитах типа Б – от 0,01 до

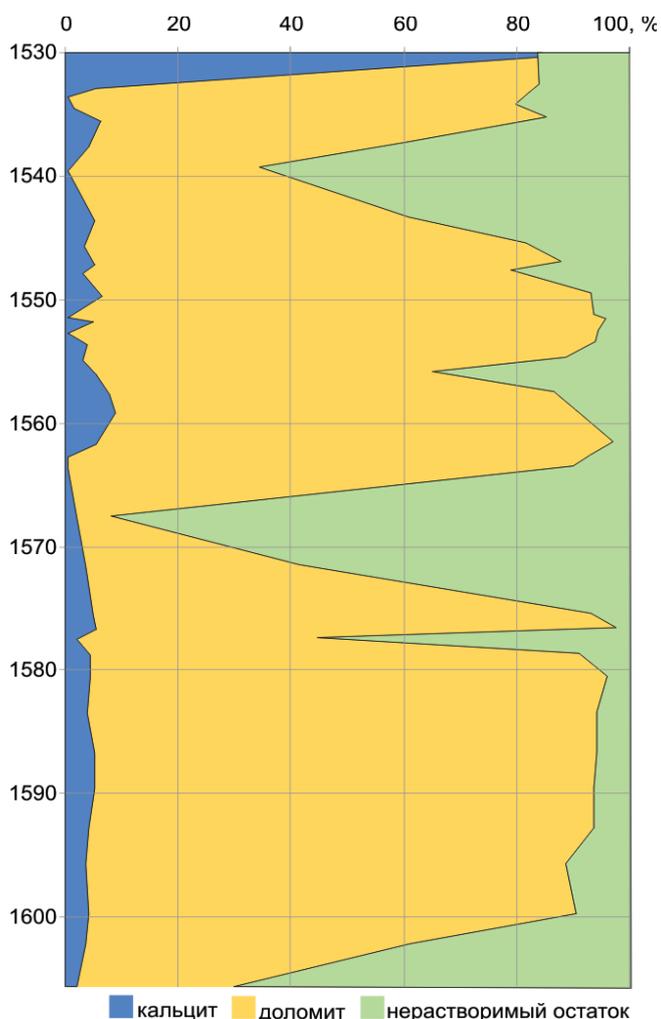


Рис. 2. Состав пород по разрезу (на примере одной из скважин)

8,9 % (рис. 3). Проницаемость по газу ($K_{пр}$) по данным аналитических исследований обычно близка к нулю, реже от 2 до 32 мД (данные Ю. А. Щемелинина и др.). Минимальные значения пористости отмечены в тонко-мелкокристаллических доломи-

тах, где пустоты часто заполнены сульфатами или засолены, и в микритово-зернистых доломитах с наличием трещин. Значения пористости максимальны в доломитах пизолито-оолитовых и сильно перекристаллизованных мелкокристаллических доломитах, где первичная текстура почти не сохранилась и лишь по реликтам можно предположить, что изначально порода была зернистой.

Для пород усть-кутского горизонта характерны многочисленные постседиментационные изменения, влияющие на коллекторские свойства, поэтому изучение этих процессов приобретает большое значение. Наиболее распространены в исследуемых отложениях следующие процессы: метасоматическая доломитизация, перекристаллизация, выщелачивание, сульфатизация окремнение, трещиноватость, стилолитизация, засоление (рис. 4).

Минеральный состав карбонатных пород усть-кутского горизонта преимущественно доломитовый, отложения известняков не сохранились, в незначительном количестве отмечается примесь микро- и тонкокристаллического кальцита. Это говорит о полной *метасоматической доломитизации* (см. рис. 2).

Изученные породы претерпели интенсивную *перекристаллизацию* – весьма сложный процесс, которая проявляется как в укрупнении, так и в уменьшении (рекристаллизация) кристаллов [4]. Согласно общепринятым определениям, перекристаллизация проходит без изменения минерального состава. Однако к ней относят также и укрупнение зерен, происходящее при переходе неустойчивых метастабильных модификаций арагонита, высокомагнезиального кальцита, кальцевого доломита или протодоломита в устойчивые низкомагнезиальный кальцит и доломит [2].

В доломитах усть-кутского горизонта процесс перекристаллизации развит широко, что проявля-

Таблица 1

Характеристика литогенетических типов

Литогенетический тип	Породы	Кол-во образцов, шт.	Пористость (по газу), % средняя (максимальная)	Проницаемость (по газу), мД средняя (максимальная)	Постседиментационные процессы					
					Перекристаллизация	Выщелачивание	Сульфатизация	Окремнение	Трещинообразование, стилолитизация	Засоление
А	Доломиты зернистые	48	4,50 (11,3)	2,74 (32,08)	+++	+++	++	-	+	++
Б	Доломиты микритово-зернистые и микритовые	35	2,09 8,90)	0,33 (2,38)	+++	+	++	++	+++	+
В	Доломиты ангидритовые и глинисто-доломит-ангидритовые породы	11	0,16 (0,60)	0	++	-	+++	++	++	-
Г	Доломиты строматолитовые	5	0,92 (1,37)	0	++	++	+	+	++	++

Примечание. Степень развития признака: – нулевая, + слабая, ++ умеренная, +++ сильная.



Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции, отражающие влияние постседиментационных процессов на фильтрационно-емкостные свойства

ФЕС	Перекристаллизация (поры)	Выщелачивание (каверны)			Сульфатизация (ангидрит)	Засолонение (галит)
		Все	Открытые	Залеченные		
K_p	0,10	0,10	0,24	-0,15	-0,20	-0,08
$K_{пр}$	0,43	0,27	0,41	-0,06	-0,25	0,03

Примечание. Критическое значение коэффициента корреляции 0,26 (при $P < 0,05$); цветом выделены существенные значения.

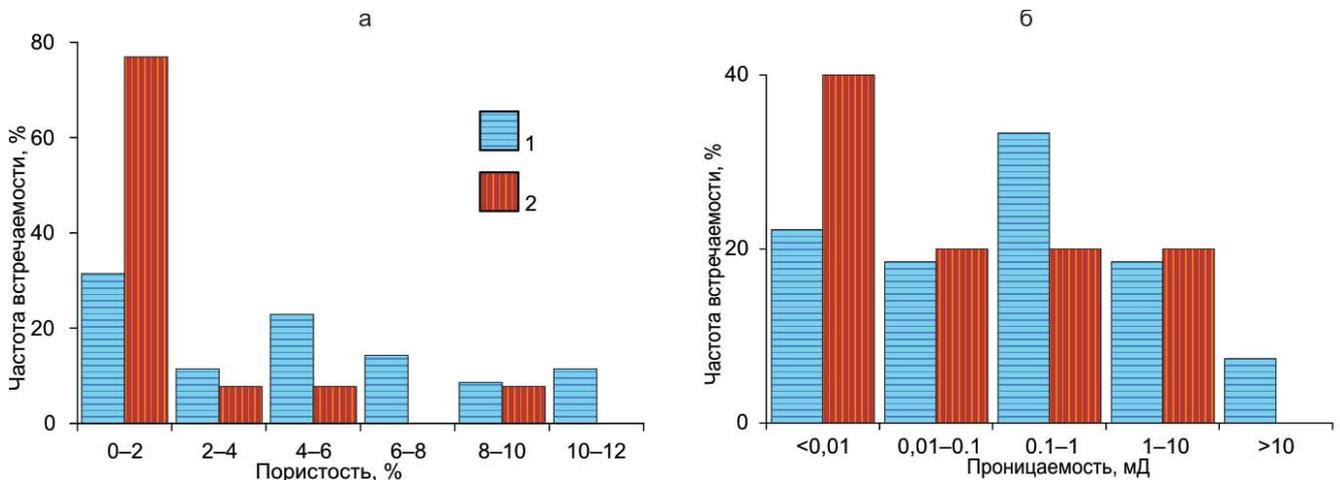


Рис. 3. Гистограмма распределения пористости (а) и проницаемости (б) по газу для литогенетических типов А (1) и Б (2)

ется в частичном или полном уничтожении первичных текстур и образовании преимущественно более крупных кристаллов доломита. Перекристаллизация оставляет лишь реликты, по которым не всегда можно определить тип форменных компонентов (зерен), слагающих породу.

От форменных элементов иногда сохраняются лишь контуры комков, интракластов, обрывков и фрагментов водорослей, которые сложены микритовым компонентом. Перекристаллизация отмечается во всех литогенетических типах и проявляется либо равномерно по всей породе, либо неравномерно в виде отдельных участков, пятен. Неравномерная перекристаллизация хорошо выражена в породах литогенетического типа А. В результате возникают вторичные поры перекристаллизации спаритового цемента или микрита, слагающего форменные элементы (зерна). Пустоты малого размера распределены неравномерно, поэтому их вклад в общую пористость невелик. Для микритовых доломитов (тип Б) характерна однородная перекристаллизация до тонко- и мелкозернистой карбонатной кристаллической массы. В строматолитовых доломитах (тип Г) видна послонная перекристаллизация, повторяющая их структуру.

Оценки роли перекристаллизации в изменении пористости пород противоречивы. Большое число исследователей: Б. К. Прошляков (1977), Л. П. Гмид (1972), Дж. Л. Уилсон (1980), К. И. Багринцева (1977, 1988) и др. – подчеркивают, что процессы перекристаллизации, развивающиеся в эпигенезе, оказывают положительное влияние на формирование коллекторов, образуя допол-

нительную емкость, а также способствуют развитию процессов выщелачивания [1]. Г. А. Каледда и Е. А. Калистова считают, что в большинстве случаев перекристаллизация снижает пористость, но иногда приводит к ее возрастанию [2].

Для оценки влияния мелких пор перекристаллизации, подсчитанных по шлифам, на пористость и проницаемость по разрезу автором построены графики и подсчитаны коэффициенты корреляции, которые показали незначительную прямо пропорциональную зависимость (табл. 2, рис. 5). Это может быть обусловлено двумя причинами. Во-первых, часть материала при перекристаллизации выносится пластовыми водами, во-вторых, при образовании крупных кристаллов формируются более крупные межкристаллические поры и межпоровые каналы.

Основной объем пустотного пространства в рассматриваемых породах сформировался в результате *выщелачивания*. Образование каверн связано с полным или частичным растворением отдельных зерен, форменных элементов. Эти каверны часто являются унаследованными от седиментационных пустот, имеют округлые, удлиненные, щелевидные, лапчатые формы. Их размер достигает 10 мм. Между собой пустоты соединяются микротрещинками и каналами. Также наблюдается внутризерновое выщелачивание форменных элементов и пустот перекристаллизации. По данным петрографического анализа суммарный объем каверн выщелачивания весьма значительный (10–25 %), что превышает межкристаллическую пористость. Однако пустотное пространство позднее подверглось

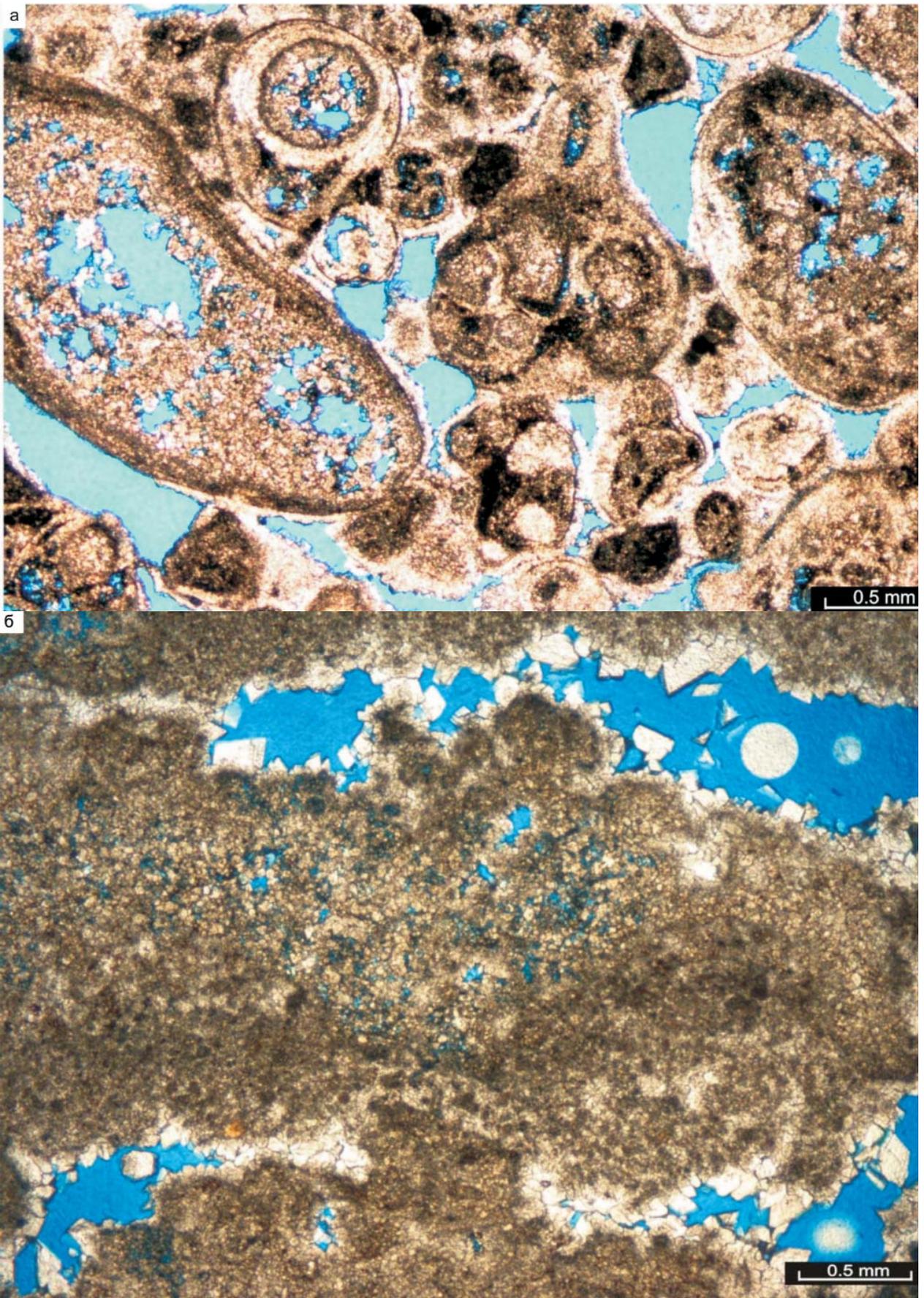


Рис. 7. Фото шлифов в параллельных николях. Ширина поля зрения 1,74 мм
а – межзерновая и внутризерновая вторичная пористость в пористо-кавернозном доломите с реликтовой пелоидно-оолитово-обломочной структурой; б – каверны по границам водорослевых колоний в доломите неравномерно-зернистом с реликтовой водорослевой структурой



частичному «запечатыванию» минеральными новообразованиями ангидрита и галита (25–100 % пустот выщелачивания), что привело к утрате емкости коллектора (рис. 6). В целом, выщелачивание улучшает коллекторские свойства пород (см. табл. 2).

Выщелачиванию интенсивнее подверглись зернистые доломиты литогенетического типа А, обладающие хорошей седиментационной пористостью. В строматолитовых доломитах (тип Г) поры выщелачивания часто щелевидные и образовались, скорее всего, в результате выщелачивания и увеличения фенестровых полостей. В других литогенетических типах выщелачивание выражено слабее (рис. 7).

Окремнение слабо развито в породах усть-кутского горизонта и проявляется в пятнистых формах в основном в доломит-ангидритовых породах (тип В). Часто слои с окремнением деформированы и образуют брекчиевидную текстуру. На некоторых участках вследствие окремнения осуществлялись будинаж и брекчирование нижележащих прослоев доломита. Вблизи зон окремнения участками отмечается повышенная трещиноватость доломитов.

Широко распространен в породах процесс *сульфатизации*, образования ангидрита, реже гипса. Сульфаты встречаются во всех литогенетических типах, но больше их в микритово-зернистых, микритовых, доломит-ангидритовых породах (типы Б и В). По форме выделения сульфатов можно судить о первичном или вторичном их образовании. Так, ангидрит, слагающий доломит-ангидритовые породы в виде прослоев или сплошных масс, представлен игольчатыми, таблитчатыми кристаллами и, скорее всего, имеет первичное образование. Вторичные, эпигенетические сульфаты пойкилитово прорастают карбонатную массу, развиваются в межзерновых и межформенных порах и кавернах, выполняют различные пустоты выщелачивания и открытые трещинки. Сульфатная минерализация, как правило, приводит к ухудшению пористости, но в некоторых случаях, благодаря частичному заполнению пор и каверн, открытая пористость сохраняется (рис. 8, см. табл. 2).

Трещиноватость выражена распространением разноориентированных трещин, заполненных сульфатами, кремнистыми минералами, битумами. Часто в них наблюдаются вторичные каверны и поры растворения. Открытые трещины извилистые, прямые, субпараллельные, вероятно, образованы позднее остальных под действием тектонических нарушений. В общем объеме емкости коллекторов усть-кутского горизонта трещины не играют заметной роли.

Во всех породах усть-кутского горизонта отмечаются стилолиты – трещины растворения под давлением, мелкозубчатые, зубчато-бугорчатые, малоамплитудные, выполненные глинистым или

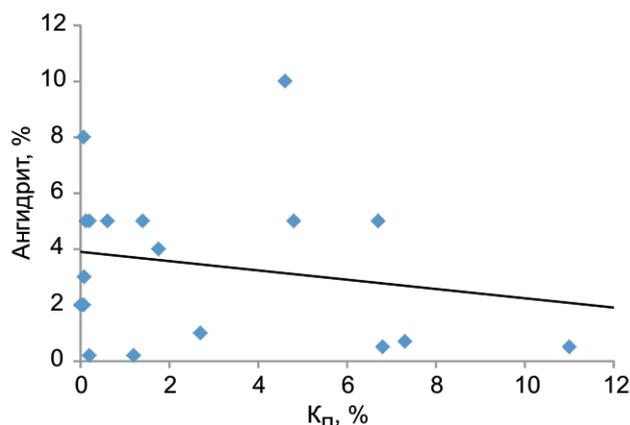


Рис. 8. Зависимость K_p от содержания ангидрита

глинисто-органическим веществом, которые, так же как и трещины, не формируют значительной емкости в коллекторах.

По данным петрографического анализа *засолонение* неравномерно проявляется по разрезу, преимущественно в литогенетических типах А и Г, где галит запечатывает межзерновые поры, мелкие поры перекристаллизации, каверны выщелачивания, иногда инкрустирует только краевые части крупных пор (галит занимает от 5 до 100 % пор) и ухудшает пористость (см. табл. 2).

Выводы

Постседиментационные процессы сыграли большую роль в формировании пустотного пространства венд-кембрийских пород усть-кутского горизонта изученного района. Построенные графики зависимостей и рассчитанные корреляционные коэффициенты пор перекристаллизации, каверн выщелачивания (открытых и закрытых), содержания ангидрита и галита от коэффициентов пористости и проницаемости помогли оценить и подтвердить влияние вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства. Интенсивные процессы перекристаллизации, затрагивающие до 100 % объема породы, и выщелачивания улучшили коллекторские свойства зернистых пород литогенетического типа А, обладающих хорошей седиментационной пористостью. Засолонение и сульфатизация в большинстве случаев отрицательно повлияли на пустотное пространство, частично запечатав поры и трещины. Микростилолитизация и окремнение имеют меньшее распространение и не оказывают большого влияния на фильтрационные и емкостные свойства пород.

Лабораторные определения открытой пористости и изучение пустот в шлифах показали, что зернистые доломиты типа А, реже микритово-зернистые и микритовые доломиты литогенетического типа Б обладают повышенной кавернозностью наряду с их хорошими коллекторскими свойствами. Закономерности в чередовании литотипов по разрезу на данном этапе исследования не обнаружено.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Багринцева, К. И.** Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа [Текст] / К. И. Багринцева. – М. : РГГУ, 1999. – 285 с.

2. **Киркинская, В. Н.** Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа [Текст] / В. Н. Киркинская, Е. М. Смехов. – Л. : Недра, 1981. – 225 с.

3. **Лемешко, М. Н.** Связь нефтенасыщения карбонатных коллекторов с процессами формирования пустотного пространства (на примере древних отложений Восточной Сибири) [Текст] / М. Н. Лемешко, Е. А. Жуковская, И. В. Вараксина // Изв. ТПУ. – 2013. – Т. 323, № 1. – С. 93–99.

4. **Морозов, В. П.** Карбонатные породы визейского, серпуховского и башкирского ярусов нижнего и среднего карбона [Текст] / В. П. Моро-

зов, Э. А. Королев, А. Н. Кольчугин. – Казань : ПФ Гарт. – 2008. – 182 с.

5. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления [Текст] / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин [и др.]. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.

6. **Хабаров, Е. М.** Сравнительная характеристика познедокембрийских рифогенных формаций [Текст] / Е. М. Хабаров. – Новосибирск : Наука, 1985. – 125 с.

7. **Dunham, R.** Classification of carbonate rocks according to depositional texture [Text] / R. Dunham // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. – 1962. – Mem. 1. – P. 108–121.

© М. Н. Лемешко, 2014