

А. А. РЯСНОЙ (ВСЕГЕИ), Е. Н. САВЕЛЬЕВА (РН-БашНИПИнефть)

Влияние вторичных процессов на коллекторские свойства карбонатных пород верейского нефтегазоносного комплекса (Северо-Запад Республики Башкортостан)

Проведены детальные литолого-петрографические исследования, в результате которых выявлено, что породы верейского горизонта представлены двенадцатью основными литотипами, резко отличными по характеру взаимосвязи коллекторских параметров, что определяется протеканием вторичных (постседиментационных) процессов. Данные оптико-микроскопических исследований и лабораторных определений фильтрационно-емкостных свойств позволили установить, что главные факторы, влияющие на коллекторские свойства карбонатных пород, – постседиментационные процессы: выщелачивание, кальцитизация, перекристаллизация, окремнение и сульфатизация. Особенности структурно-текстурного сложения пород-коллекторов верейского горизонта и степень их постседиментационного преобразования отражаются в характере распределения и взаимосвязи коллекторских свойств по разрезу.

Ключевые слова: *верейский нефтегазоносный комплекс, карбонатные коллекторы, постседиментационные процессы, пористость, проницаемость.*

A. A. RYASNOY (VSEGEI), E. N. SAVELEVA (RN-BashNIPIneft)

Influence of secondary processes on reservoir properties of carbonate rocks in the Vereysky oil and gas field (North-West of the Republic of Bashkortostan)

Detailed lithologic and petrographic studies were carried out. It was identified that the Vereysky horizon rocks are represented by twelve main lithotypes, which dramatically differ in the character of interrelation between reservoir parameters that is controlled by secondary (postsedimentary) processes. Data of optical-microscopic examinations and laboratory studies of the poroperm properties made it possible to identify that the postsedimentary processes such as leaching, calcitization, recrystallization, silification and sulphatization are the main factors affecting the reservoir properties of carbonate rocks. Structural and textural features of reservoir rocks of the Vereysky horizon and the degree of their postsedimentary transformation are reflected in the character of distribution and interrelation of reservoir properties across the section.

Keywords: *Vereysky oil and gas field, carbonate reservoirs, postsedimentary processes, porosity, permeability.*

Как цитировать эту статью: Рясной А. А., Савельева Е. Н. Влияние вторичных процессов на коллекторские свойства карбонатных пород верейского нефтегазоносного комплекса (Северо-Запад Республики Башкортостан) // Регион. геология и металлогения. – 2019. – № 77. – С. 27–39.

Введение. Отложения верейского горизонта, входящего в состав нижнего подъяруса московского яруса среднекаменноугольной системы, распространены в северной части платформенного Башкортостана (рис. 1) и обладают мощностью 46–53 м. Их отличительной особенностью является терригенно-карбонатный состав, приуроченность толщ коллекторов к органогенным карбонатным отложениям, перекрытым надежными глинистыми флюидоупорами (рис. 2). Исследуемый горизонт четко выделяется литологически и фаунистически, надежно коррелируется по каротажу. На каротажных диаграммах в основании разреза выделяется верейский репер, соответствующий высоким показаниям на кривых каротажа сопротивлений.

Верейский (пятый) нефтегазоносный комплекс характеризуется высокой перспективной промышленной нефтеносностью, в составе которого выделяются четыре продуктивных пласта (снизу вверх) В4–В1 [7].

Пространственные границы района работ – Северо-Запад Республики Башкортостан. В региональном тектоническом плане территория выделяется в составе южной части Верхне-Камской впадины, северо-западной и западной периферии Башкирского свода.

Литологическая характеристика среднекаменноугольных отложений платформенного Башкортостана, в частности, верейского горизонта, была осуществлена в работе [3]. Отложения верейского горизонта в пределах северо-запад-

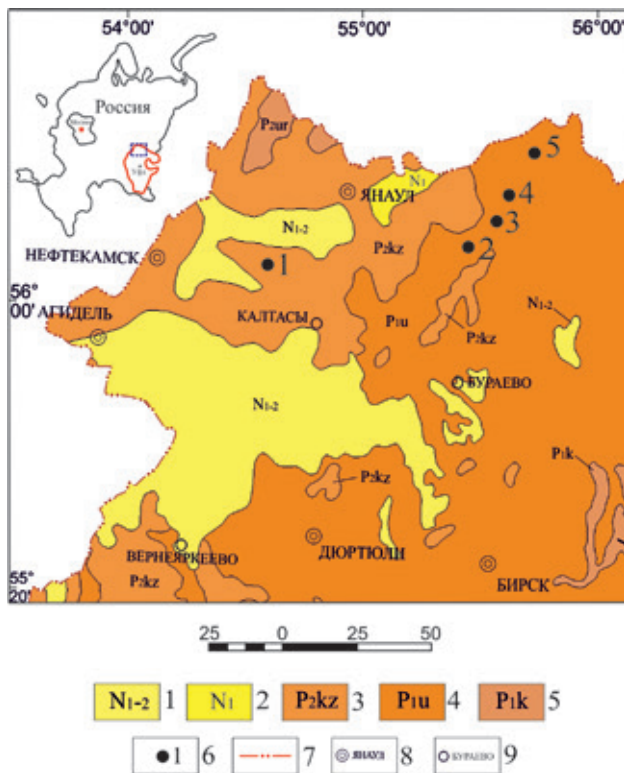


Рис. 1. Геологическая карта Северо-Запада Башкирии. М-6 1:2 500 000 (по материалам ГИС-Атласа «Недра России», с доп.) [11]

1, 2 – неогеновая система: миоцен – плиоцен (1), миоцен (2); 3–5 – пермская система: казанский ярус (3), уфимский ярус (4), кунгурский ярус (5); 6 – местоположение и номера скважин; 7 – административная граница Республики Башкортостан; 8 – административные центры районов и городских округов; 9 – поселки

ной части Башкирии, согласно фоновым материалам, были подразделены А. М. Тюрихиным (1968 г.), а позднее Е. Н. Савельевой (2015 г.) на 8 и 7 литотипов соответственно. Среди вторичных преобразований, оказывающих влияние на коллекторские свойства карбонатных пород, указанными исследователями основное внимание было уделено процессам выщелачивания и кальцитизации [2].

В настоящее время детальное исследование вещественного состава карбонатных толщ и научное обоснование влияния вторичных процессов на коллекторские свойства карбонатных пород верейского горизонта представляет собой актуальный практический интерес в связи с вовлечением данного комплекса отложений в разработку.

Таким образом, основная цель статьи – установление влияния роли постседиментационных процессов на формирование фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород-коллекторов.

Материалы и методы изучения. Авторами детально изучен керн пяти скважин (общий вынос 50,95 м). Карбонаты анализировались с помощью микроскопического метода, изложенного

в работах [4, 5, 8–10], изучено 110 прозрачно-полированных шлифов. В процессе исследований уделялось внимание изучению: вещественного состава, структуры, текстуры, органическим остаткам, морфологическим типам пустотного пространства, постседиментационным преобразованиям. Систематизированы и проанализированы данные 150 лабораторных определений фильтрационно-емкостных свойств. Изучены 18 планшетов каротажных кривых по исследуемым скважинам и пять типовых геолого-геофизических разрезов.

Литологические типы пород верейского горизонта. Литолого-петрографическое изучение пород верейского горизонта показало, что они представлены 12 основными литотипами, резко отличными по характеру взаимосвязи коллекторских параметров: 1 – известняки органогенные (фузулинидовые); 2 – известняки органогенные (фузулинидовые) кремнеземные; 3 – известняки сгустково-комковатые (по органогенному известняку) с крустификационным цементом; 4 – известняки фораминиферо-комковатые с детритом, гранулированные, с комбинацией крустификационного цемента и цемента выполнения пор; 5 – известняки криноидно-полидетритовые с брахиоподами с крупнокристаллическим (регенерации) кальцитовым цементом; 6 – известняки фораминиферо-полидетритовые и детритово-мелкофораминиферо-полидетритовые с детритом; 7 – известняки сгустково-комковато-органогенные с примесью алевролитового материала; 8 – известняки комковато-сгустково-детритовые с примесью обломочного мелкопсаммитового материала; 9 – известняки от тонко- до мелкозернистых с органогенным детритом алевролитовые (и алевролитистые); 10 – мелкопесчаные фузулиново-полидетритовые известняки; 10а – известняки фораминиферо-полидетритовые, глинистые, с примесью алевро-псаммитового обломочного материала; 11 – доломиты мелкозернистые слабоглинистые; 12 – аргиллиты алевролитистые.

В известняках, сложенных форменными компонентами, разделение производилось по групповому составу организмов и преобладающему типу цементации.

Известняки органогенные (фузулинидовые) по типу цемента делятся на два подтипа. Литотип 1а. Известняки органогенные (фузулинидовые) с крустификационным цементом (скв. 1, 3, 4). Сложены преимущественно раковинами фораминифер размером до 1,5 мм. Цемент крустификационный, представлен тонкозернистым кальцитом, участками синтаксиальным (регенерации) (рис. 3, 11а) [9].

Доминируют межформенные пустоты размером до 2 мм, отдельные из которых частично заполнены среднезернистыми кристаллами кальцита.

Внутриформенные пустоты редки и приурочены к камерам раковин фораминифер. Отмечаются пустоты выщелачивания. По лабораторным

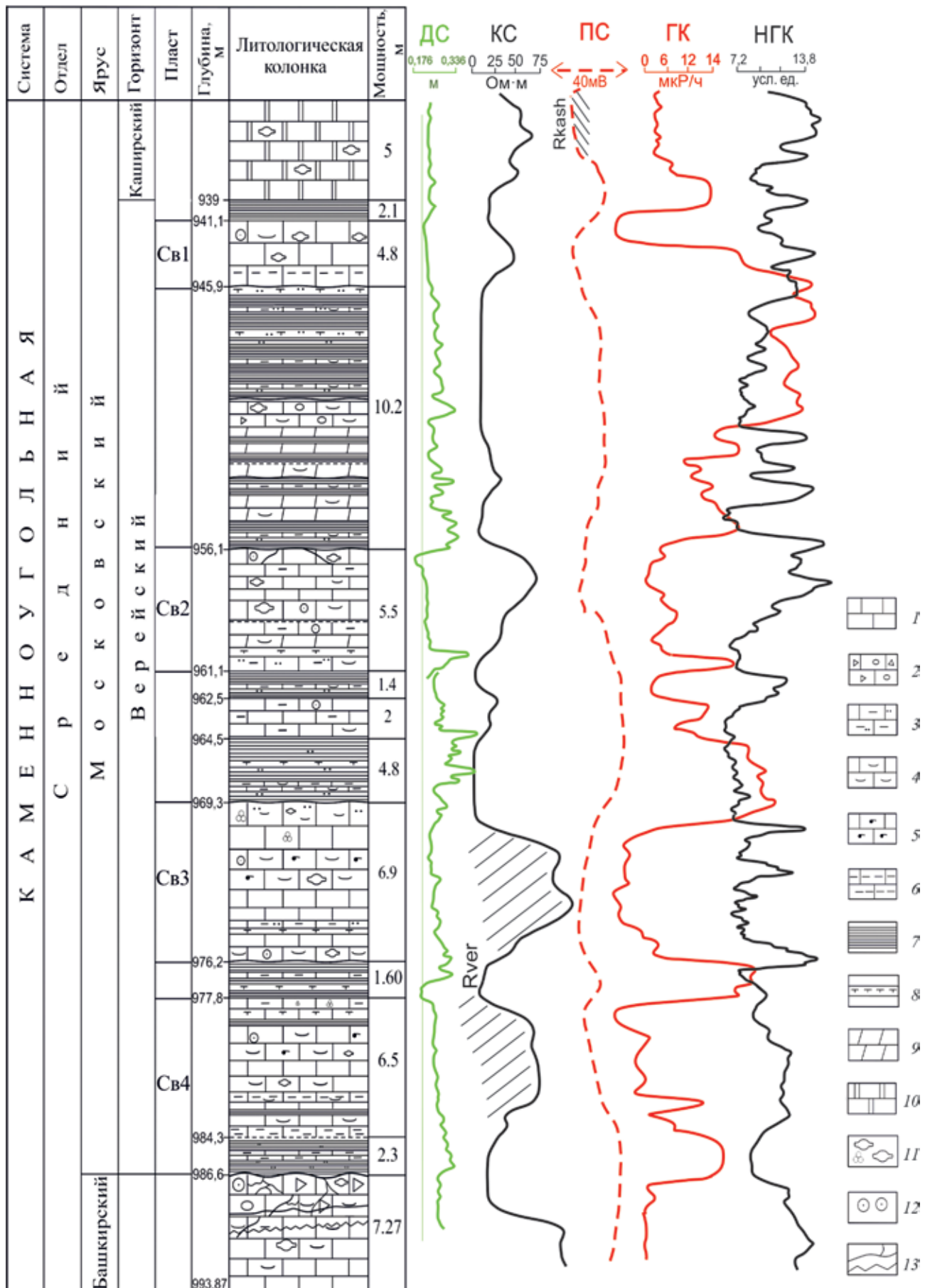


Рис. 2. Литолого-геофизический разрез отложений верейского горизонта. М-6 1:2000

1 – известняк; 2–5 – известняки: брекчиевидные (2), глинистые (алеuritистые) (3), органогенно-обломочные (4), каверзные (5); 6 – известняк с прослоями аргиллитов; 7 – аргиллит; 8 – аргиллит известковистый; 9 – мергели; 10 – доломиты; 11, 12 – органические остатки: фораминиферы (*Fusulinida*) и мелкие фораминиферы (11), иглокожие (12); 13 – зоны трещиноватости и стилолитизации. Методы ГИС: ДС – диаметр скважины, кавернометрия (м); КС – каротаж сопротивлений (Ом·м); ПС – каротаж самопроизвольной поляризации (мВ); ГК – гамма-каротаж (МКР/ч); НГК – нейтронный гамма-каротаж (усл. единицы); Rver – верейский и Rkash – каширский реперы

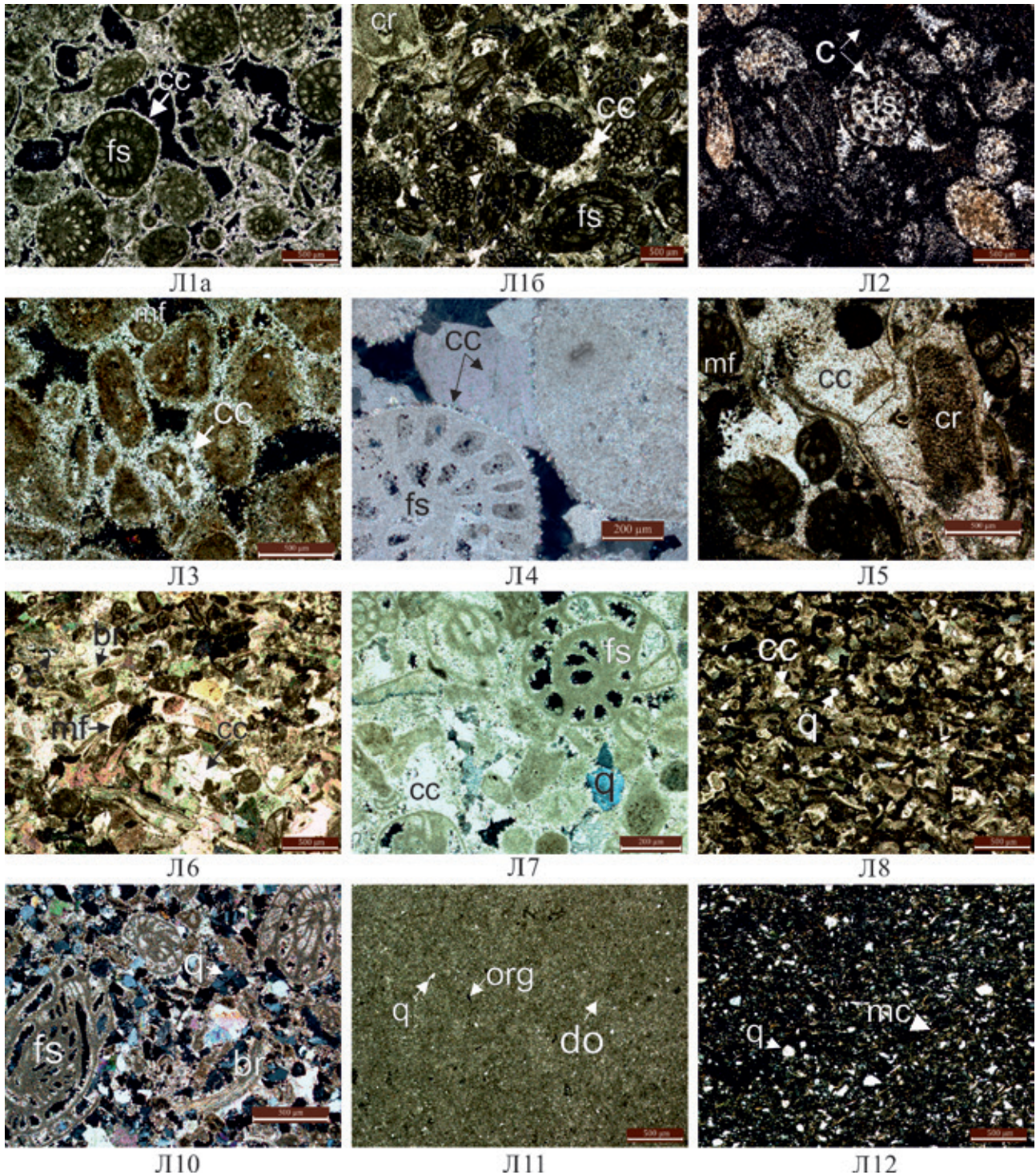


Рис. 3. Литологические типы пород верейского горизонта

Известняки: **Л1а** – фузулинидовый с крустификационным цементом (черное – пустоты) (ув. ×4; николи +); **Л1б** – фузулинидовый кальцитизированный (черное – открытые поры) (ув. ×2; николи +); **Л2** – фузулинидовый окремненный (ув. ×4; николи +); **Л3** – сгустково-комковатый (черное – пустоты между форменными элементами) (ув. ×5; николи +); **Л4** – фораминиферо-комковатый (ув. ×10; николи +); **Л5** – криноидно-полидетритовый (ув. ×5; николи +); **Л6** – детритово-мелкофораминиферовый (ув. ×4; николи +); **Л7** – сгустково-комковато-органогенный с примесью алевритового материала (ув. ×4; николи +); **Л10** – мелкопесчанистый фузулинидово-полидетритовый (темное – поры внутри камер раковин) (ув. ×5; николи +); **Л11** – доломит микрозернистый (ув. ×4; николи +); **Л12** – аргиллит алевритистый (ув. ×4; николи +).
 Обозначения: fs – фораминиферы отряда Fusulinida; mf – мелкие фораминиферы; cr – криноидеи; br – брахиоподы; cc – кальцит; c – халцедон; q – обломочный кварц; do – агрегат криптокристаллического доломита; mc – слюда; org – включения органического вещества

данным, пористость для данной группы изменяется от 18,4 до 22,7 %, проницаемость от 357,28 до 792,47 мД.

Литотип 16. Известняки органогенные (фузулинидовые) кальцитизированные (с контактово-поровым и поровым цементом) (скв. 1–4). Вторая подгруппа характеризуется поровой цементацией, представленной средне-крупнозернистым кальцитом (кальцитизация пустот), единично контактовой. Поровое пространство – межформенные и внутриформенные изолированные пустоты. В некоторых образцах отмечается неравномерная кальцитизация пустот с сохранением участков межформенной пористости (рис. 3, Л16). Пористость 10,6–15,0 %, проницаемость 0,88–52,80 мД.

Среди органогенных (фузулинидовых) известняков выделяются разности, замещенные кремнистым веществом.

Литотип 2. Известняки органогенные (фузулинидовые) окремненные (скв. 2). Породы сложены органическими остатками, представленными фораминиферами, неопределимыми формами и цементирующим их материалом, замещенные микро-тонкоагрегатным кварцево-халцедоновым веществом (рис. 3, Л2). Пористость 0,3 %, проницаемость 0,001 мД.

Литотип 3. Известняки сгустково-комковатые (по органогенному известняку) с крустификационным цементом (скв. 1). По преобладающему типу цементации и структуре порового пространства близки литотипу 1а. Сгустки и межсгустковые участки окаймляются инкрустационными и крустификационными щетками тонкозернистого кальцита (рис. 3, Л3). Пространство между крустифицированными фрагментами участками выполнено гипидиоморфными и идиоморфными кристаллами. Пористость 21,7–24,5 %, проницаемость 123,79–530,20 мД.

Литотип 4. Известняки фораминиферо-комковатые с детритом, гранулированные, с комбинацией крустификационного цемента и цемента выполнения пор (скв. 2, 3, 5). Органогенные остатки сложены криптозернистым кальцитом с сохранением их внутренней структуры. Порода характеризуется сложным типом цементации. Пустотное пространство состоит из внутри- и межформенных пустот и единично каверн выщелачивания (рис. 3, Л4). Пористость 13,8–22,9 %, проницаемость 40,45–76,29 мД.

Литотип 5. Известняки криноидно-полидетритовые с брахиоподами с крупнокристаллическим (регенерации) кальцитовым цементом (скв. 1, 3, 5), сложенные крупными члениками криноидей, а также раковинным детритом. Цемент образован крупнокристаллическим кальцитом (рис. 3, Л5). Кристаллы последнего нарастают на остатки криноидей, имеют с ними одну оптическую ориентировку (цемент регенерации) и захватывают мелкие скелетные фрагменты. Пористость 1,2–5,9 %, проницаемость 0,01–0,09 мД.

Литотип 6 (скв. 1) представлен двумя разностями: известняки детритово-мелкофораминиферо-

ниферовые и фораминиферо-полидетритовые. Первая разность состоит из мелких раковин фораминифер. Цементирующим материалом базального типа служит тонко-среднезернистый кальцит. Отмечаются единичные межформенные поры. В *фораминиферо-полидетритовой разности* цемент представлен двумя типами: поровый и нарастания, характеризуется неравномерной зернистостью (рис. 3, Л6). Пустотное пространство – мелкие внутриформенные поры, заполненные тонкозернистыми кристаллами кальцита. Пористость 1,4–5,9 %, проницаемость 0,01–0,04 мД.

Группа известняков с видимой терригенной примесью характеризуется следующими литотипами:

Литотип 7. Известняки сгустково-комковато-органогенные с примесью алевритового материала (скв. 1). Сложены раковинами фораминифер, сгустковыми и комковатыми образованиями с примесью алевритового кварцевого обломочного материала, сцементированные тонко-мелкозернистым кальцитом (рис. 3, Л7). Пустотное пространство состоит из внутриформенных пор, часто повторяющих форму камер. Пористость 4,6–7,0 %, проницаемость 0,02–0,05 мД.

Литотипы 8 и 9. Известняки комковато-сгустково-детритовые с примесью обломочного мелкопсаммитового материала (скв. 1, 2). *Известняки от тонко- до мелкозернистых с органогенным детритом алевритовые (и алевритистые)* (скв. 1). Сложены комковатыми и сгустковыми образованиями, мелким органогенным детритом (створками остракод, фораминиферами, фрагментами иглокожих) и равномерно распределенной примесью обломочных зерен кварца мелкопсаммитовой и алевритовой размерности (рис. 3, Л8). Поровое пространство представлено единичными межформенными пустотами. Литотип 8: пористость 2,7–7,2 %, проницаемость 0,10–18,65 мД. Литотип 9: пористость 2,7–11,3 %, проницаемость 0,02–0,37 мД.

К вышеуказанной группе следует отнести *литотип 10: мелкопесчанистые фузулинидово-полидетритовые известняки* (скв. 5). Существенной частью карбонатной составляющей являются раковины фораминифер с поврежденными фрагментами внешних оборотов. Минералогический состав песчаной фракции представлен полуокатанными зернами кварца (рис. 3, Л10). Пустотное пространство – исключительно внутриформенные поры, инкрустированные щеткой микро- и тонкозернистых кристалликов кальцита. В одном образце (литотип 10а) – известняки фораминиферо-полидетритовые глинистые с примесью алевритово-псаммитового обломочного материала, терригенной составляющей, помимо кварцевых зерен, выступает глинистое вещество. Пористость 10,3–15 %, проницаемость 5,0–24,40 мД.

Литотип 11. Доломиты микрозернистые (скв. 1). Пустотное пространство представлено изолированными порами, определяемыми только при большом увеличении (рис. 3, Л11). Пористость 14,1–15,0 %, проницаемость 6,35–6,7 мД.

Завершают литологическую типизацию отложений верейского горизонта *аргиллиты* (литотип 12). Они сложены чешуйчатым глинисто-гидрослюдистым материалом, угловато-полуокатанными обломочными зернами кварца, листочками мусковита. Встречаются единичные обломки раковин, отмечаются открытые трещинки (рис. 3, Л12).

Таким образом, разрез верейского горизонта сложен разными генетическими типами пород: биогенными – биоморфными и детритовыми, характеризующимися различными типами цементации; терригенно-карбонатными и терригенными. Все эти типы пород резко отличаются по характеру взаимосвязи коллекторских параметров, что определяется протеканием вторичных (постседиментационных) процессов.

Постседиментационные преобразования карбонатных пород верейского горизонта и их влияние на коллекторские свойства. Главные факторы, влияющие на коллекторские свойства карбонатных пород верейского комплекса, – постседиментационные процессы: выщелачивание, кальцитизация, перекристаллизация, окремнение и сульфатизация.

Выщелачивание (литотипы 1а, 1б, 3, 4). Образование пор выщелачивания связано с полным или частичным растворением цементирующего вещества, форменных элементов. Селективный характер выщелачивания контролируется особенностями строения породы (рис. 4, 1). Весьма большую роль в этом играет характер пористости (размеры, форма пор и поровых каналов).

Форма пор выщелачивания разнообразна: от округло-изометричной до лапчатой, размер больше или равен, реже меньше размера форменных элементов, зафиксированы каверны размером до 0,5 см (рис. 4, 1.1). Макроскопически отмечается кавернозность размером до 1,5 см. Располагаются поры выщелачивания между форменными элементами, единично внутри них.

Формирование вторичной пористости (унаследованной кавернозности) происходит весьма интенсивно в известняках, состоящих из крупных форменных компонентов – органических остатков, сгустков и комков пелитоморфного кальцита: *известняки органические (фузулинидовые) с крустификационным цементом; известняки сгустково-комковатые (по органическому известняку) с крустификационным цементом и известняки фораминиферово-комковатые с детритом, гранулированные, с комбинацией крустификационного цемента и цемента выполнения пор* (литотипы 1а, 3, 4). Данные разности пород отличаются высокими значениями первичной и раннедиагенетической пористости (межформенные поры посткрустификационной цементации), а геометрическое строение их порового пространства, в котором преобладают сообщающиеся крупные поры, благоприятно для движения растворов [1]. Процессы выщелачивания

увеличивают пористость и в большей степени проницаемость. В известняках фузулинидовых с крустификационным цементом пористость изменяется 18,4–22,7 %, проницаемость 357,28–792,47 мД; в известняках сгустково-комковатых пористость 21,7–24,5 %, проницаемость 123,79–530,20 мД и в известняках фораминиферово-комковатых пористость 13,8–22,9 %, проницаемость 40,45–76,29 мД.

Кальцитизация (литотипы 1, 3, 4). В известняках органических (фузулинидовых); известняках сгустково-комковатых (по органическому известняку) и известняках фораминиферово-комковатых, гранулированных наблюдаются крупные кальцитовые кристаллы, возникшие в постседиментационную стадию развития породы. Крупнокристаллический кальцит выполняет поровое пространство, являясь новообразованным цементом, что характерно для известняков, состоящих из соприкасающихся фрагментов с крустификационной цементацией и, таким образом, обладавших крупной пористостью. В процессе кальцитизации происходит образование крустификационного кальцитового цемента в карбонатных породах, сложенных преимущественно форменными элементами, и формирование каемок инкрустации внутри внутриформенных пор и межформенных пустот (сокращающих и нередко полностью запечатывающих мелкую биогенную пористость) [5]. Очевидно, что кальцит, выполнявший поровые пространства, появился после того, как фрагменты покрылись тонкой крустификационной корочкой, его образованием закончилась литификация породы (рис. 4, 2) [9]. К раннему проявлению процесса кальцитизации следует отнести образование регенерационных кальцитовых каемок вокруг членников криноидей (рис. 4, 2.1) [4, 5].

Кальцитизация развивается в пространстве межформенной и внутриформенной пустотности и выражена в заполнении камер раковин гипидиоморфными тонко-мелкозернистыми кристаллами (рис. 4, 2.2); в межформенном пространстве доминирует средне- и крупнокристаллический кальцит (рис. 4, 2.3). Видна последовательность минералообразования, характерная для пород данного литотипа, где вначале выделяются призматические агрегаты, образующие крустификационные каемки. Остаточное пространство заполняется средне-мелкозернистым агрегатом гипидиоморфных блоковых зерен или монокристаллами. Внутриформенную пористость выполняет кальцит двух генераций. К ранней генерации относится агрегат призматических кристаллов, инкрустирующих стенки пустот, к более поздней – блочные кристаллы, запечатывающие остаточное поровое пространство.

Минимальными значениями фильтрационных свойств (0,88–0,9 мД) характеризуются образцы с развитой внутриформенной пористостью, с почти полным выполнением агрегатами кальцита межформенных и частично внутриформенных пустот.

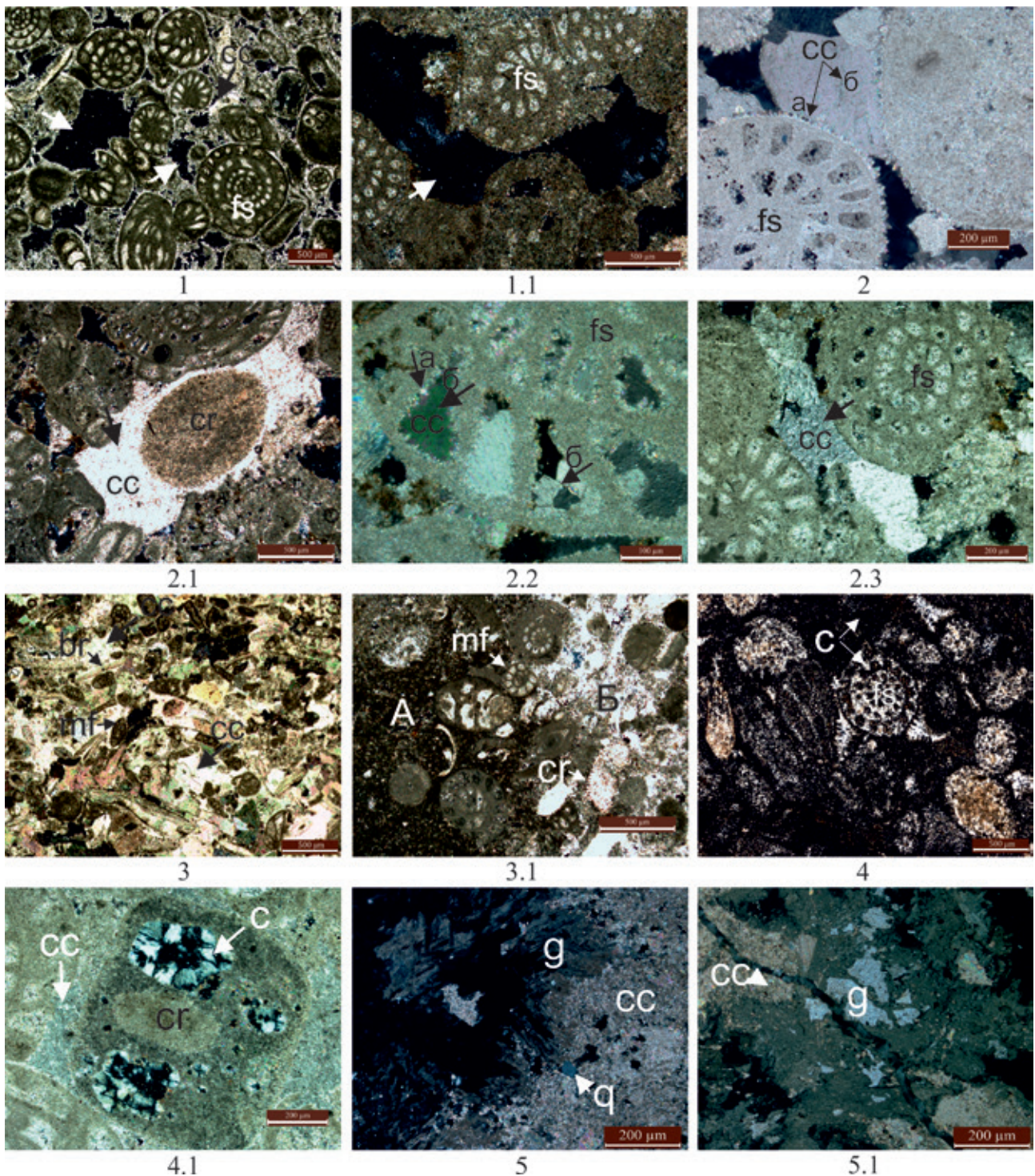


Рис. 4. Постседиментационные преобразования карбонатных пород верейского горизонта

Выщелачивание: 1 – селективно выщелоченный спаритовый цемент (черное), Л1а (ув. $\times 2$; николи +); 1.1 – пустоты выщелачивания (черное) между форменными элементами, Л1а (ув. $\times 5$; николи +); **кальцитизация:** 2 – кристификационное обрастание раковин (а) и выполнение пустот (черное) крупными кристаллами кальцита (б), Л4 (ув. $\times 10$; николи +); 2.1 – регенерационная кальцитовая каемка вокруг членка криноидеи, Л1а (ув. $\times 5$; николи +); 2.2 – кальцит двух генераций, заполняющий камеру раковины фораминиферы: (а) инкрустационный и (б) блочные кристаллы (ув. $\times 20$; николи +); 2.3 – среднекристаллический кальцит в пространстве между раковинами фузулинид, Л16 (ув. $\times 10$; николи +); **перекристаллизация:** 3 – среднекристаллический цемент в мелкофораминиферовом известняке, Л6 (ув. $\times 4$; николи +); 3.1 – контакт двух участков, где первый не перекристаллизован (А), тогда как во втором цемент образован тонкокристаллическим кальцитом (Б); Л5 (ув. $\times 5$; николи +); **окремнение:** 4 – криптокристаллическая основная масса с органическими остатками, замещенными мелкокристаллическими агрегатами кварца, Л2 (ув. $\times 4$; николи +); 4.1 – халцедон, замещающий членок криноидеи, Л16 (ув. $\times 10$; николи +); **сульфатизация:** 5 – игольчатые агрегаты гипса замещают карбонат кальция (ув. $\times 10$; николи +); 5.1 – прожилок агрегата разноориентированных кристаллов гипса блочной формы (ув. $\times 10$; николи +).
Обозначения: fs – фораминиферы отряда Fusulinida; mf – мелкие фораминиферы; cr – криноидеи; br – брахиоподы; cc – кальцит; c – халцедон; g – гипс; q – кварц

Кальцитизация в значительной степени оказала влияние на структуру пор. Путем закупорки полостей и каналов сообщения снизился эффективный объем порового пространства. Поэтому при сравнительно высоких значениях пористости (15–18 %) кальцитизированные разности обладают низкой проницаемостью (0,88–0,9 мД). Для известняков органогенных (фузулинидовых), кальцитизированных (с контактово-поровым и поровым цементом) коллекторские параметры составляют: пористость 10,6–15,0 %, проницаемость 0,88–52,80 мД.

Перекристаллизация (литотипы 5–7). В мелкогустковых, мелкофораминиферовых известняках (литотипы 6, 7), содержащих значительное количество микрозернистого карбонатного цемента, обнаруживаются явления перекристаллизации, которые выражены по-разному.

В известняках сгустково-комковато-органогенных (литотип 7) цемент представлен тонко- и мелкозернистым перекристаллизованным карбонатом кальция. Пористость для данных пород 4,6–7,0 %, проницаемость 0,02–0,05 мД.

В известняках фораминиферо-полидетритовых и детритово-мелкофораминиферовых (литотип 6) при более интенсивной перекристаллизации породы появляется большое количество относительно крупных кристаллов (рис. 4, 3). Пористость 1,4–5,9 %, проницаемость 0,01–0,04 мД.

Перекристаллизация протекает неравномерно, что наблюдается и в мелко- и крупнофрагментарных известняках. Нередко в одном и том же шлифе в известняках криноидно-полидетритовых с брахиоподами с крупнокристаллическим (регенерацией) кальцитовым цементом (литотип 5) наблюдаются участки, не затронутые перекристаллизацией, и участки, где почти весь микрозернистый материал замещен кристаллическим кальцитом (рис. 4, 3.1). Пористость 1,2–5,9 %, проницаемость 0,01–0,09 мД.

Окремнение (литотипы 2, 1а, 1б, 3, 4). Макроскопически окремнение проявляется в виде кремневых конкреций и окремнелых прослоев.

В известняках органогенных (фузулинидовых) окремнелых кремнезем полностью замещает карбонатный цемент и органические остатки. Причем цемент выполнен крипто- или микрокристаллическим кварцево-халцедоновым веществом, форменные элементы замещаются более крупнозернистым агрегатом. Вследствие неодинакового замещения различных частей породы сохраняются детали первичной структуры (рис. 4, 4).

В известняках, состоящих из форменных компонентов (сгустки, органические остатки), сцементированных небольшим количеством карбонатного цемента (литотипы 1–4), отдельные розетки халцедона наблюдаются в остатках иглокожих, раковинах брахиопод (рис. 4, 4.1). Изучение вещественно-структурных особенностей этих образований показало, что они являются не седиментационными образованиями,

а результатом замещения карбонатного вещества кремнистым [6, 8, 9].

В рассматриваемых случаях окремнение карбонатных пород ухудшает их коллекторские свойства: пористость 0,3 %, проницаемость 0,001 мД.

Сульфатизация. Гипс единично встречается в исследуемых породах и образует рассеянные кристаллы и прожилки в органогенном известняке, микроскопически представленные агрегатом разноориентированных кристаллов блочной, игольчатой и пластинчатой форм, среди которых наблюдаются прожилки карбонатной породы. Агрегаты гипса замещают карбонат кальция, развиваются по цементу и по органическим остаткам (рис. 4, 5).

Сульфатизация снижает пористость и проницаемость пород путем заполнения пор и трещин (рис. 4, 5.1). В сульфатизированных известняках пористость 21,7 %, проницаемость 5,20 мД.

Корреляционные зависимости фильтрационно-емкостных свойств. Учитывая структурно-вещественные особенности описанных литотипов и данные петрофизических исследований, построены графики корреляционных зависимостей фильтрационно-емкостных свойств (рис. 5, скв. 1–5).

На основании анализа данных графиков следует заключить, что наиболее высокими коллекторскими свойствами характеризуются образцы известняков органогенных (фузулинидовых) (литотип 1а), сгустково-комковатых (литотип 3) и фораминиферо-комковатых (литотип 4) с крустификационной цементацией, образующейся на ранней стадии диагенеза карбонатов во фреатической зоне и крупной межформенной пустотностью [10]. Фильтрационно-емкостные свойства рассматриваемой группы улучшаются за счет процессов селективного и унаследованного выщелачивания. Ухудшение параметров фильтрационно-емкостных свойств данной группы пород связано с кальцитизацией пустот (литотип 1б).

Следует отметить, что структура порового пространства сгустково-комковатых и фораминиферо-комковатых известняков (литотипы 3, 4) существенно определяется формой, размером и характером упаковки форменных компонентов, а также разной интенсивностью вторичной цементации, что выражается колебаниями оценочных параметров – проницаемости и открытой пористости в пределах группы.

Группа фузулинидово-полидетритовых и детритово-мелкофораминиферовых известняков (литотип 6) обладает низкими показателями фильтрационно-емкостных свойств и характеризуется развитием процессов перекристаллизации цементирующего материала. Близкими параметрами обладают образцы литотипа 7, а также литотипа 5 с крупнокристаллическим кальцитовым цементом регенерации.

Мелкофрагментарные известняки с примесью обломочного материала (литотипы 8, 9) характеризуются низкими параметрами коллекторских свойств.

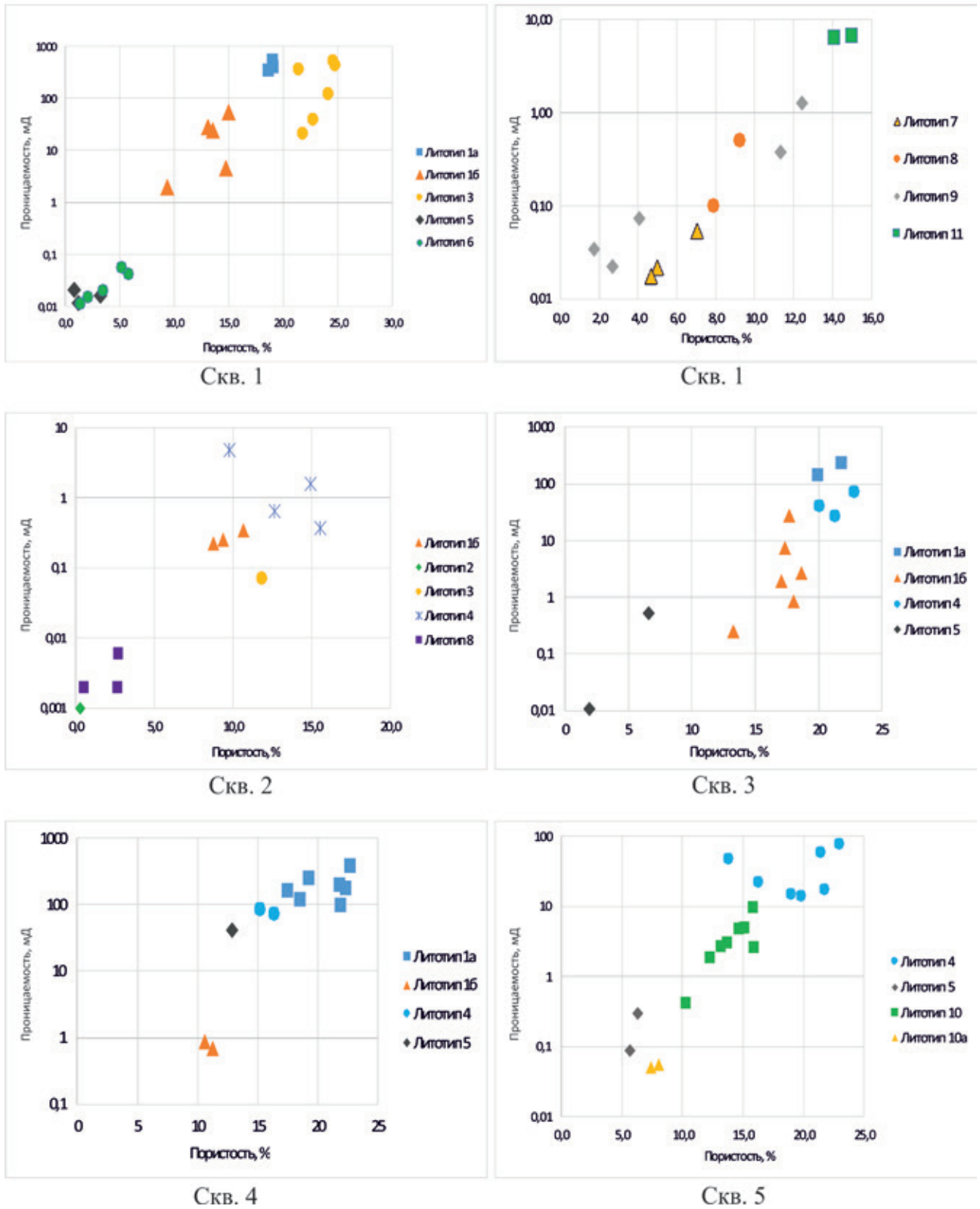
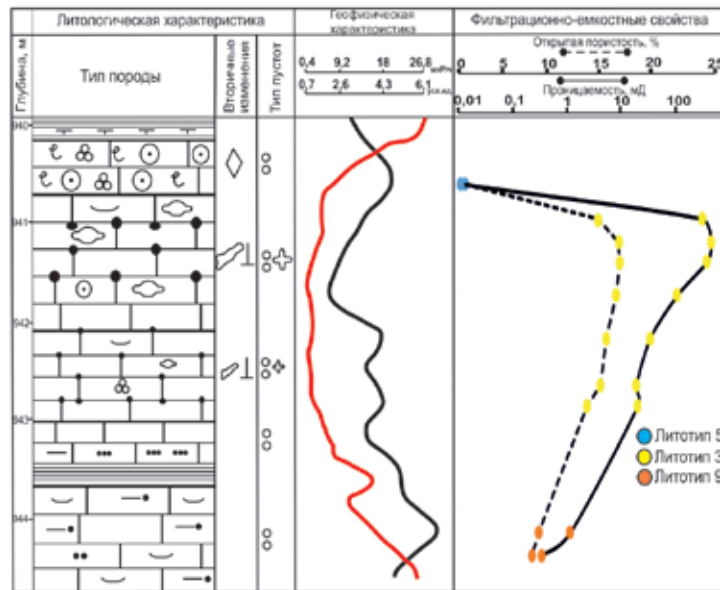
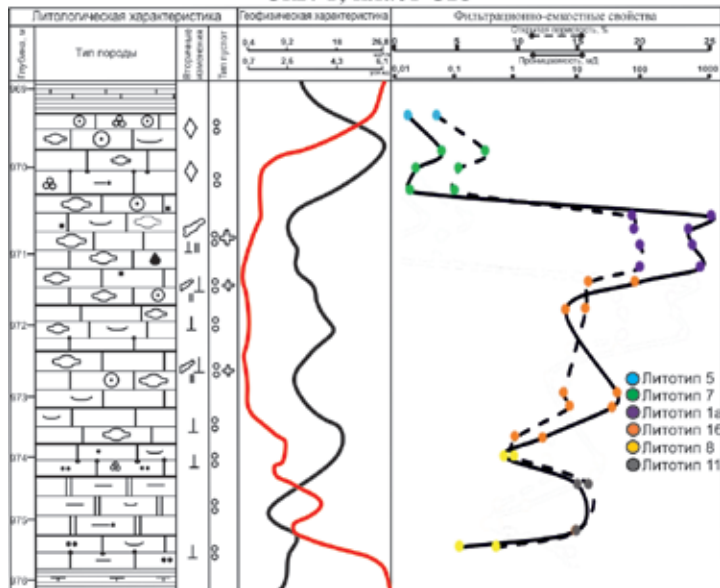


Рис. 5. Корреляционные зависимости величин открытой пористости и абсолютной проницаемости
Пояснения см. в тексте

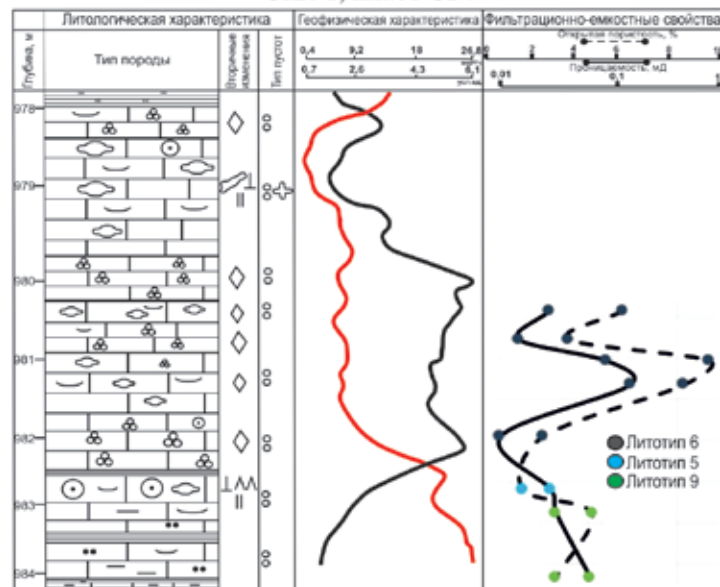
Скв. 1, пласт Св1



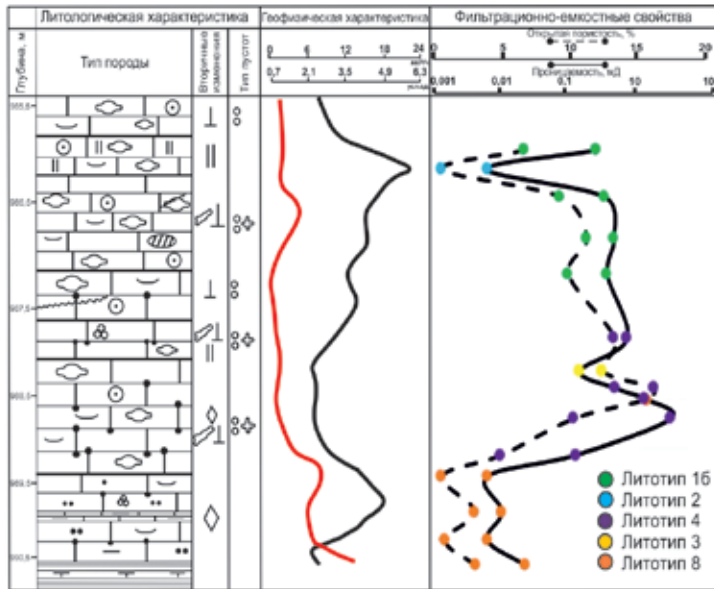
Скв. 1, пласт Св3



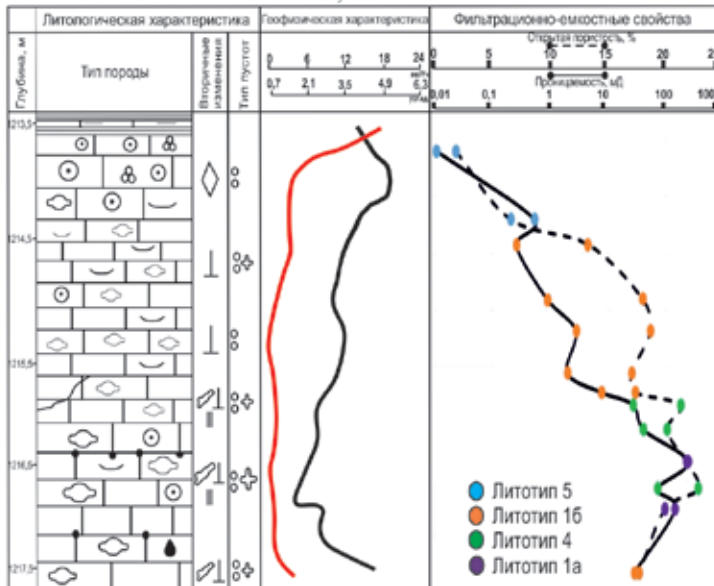
Скв. 1, пласт Св4



Скв. 2, пласт Св3



Скв. 3, пласт Св3



Скв. 5, пласт Св I

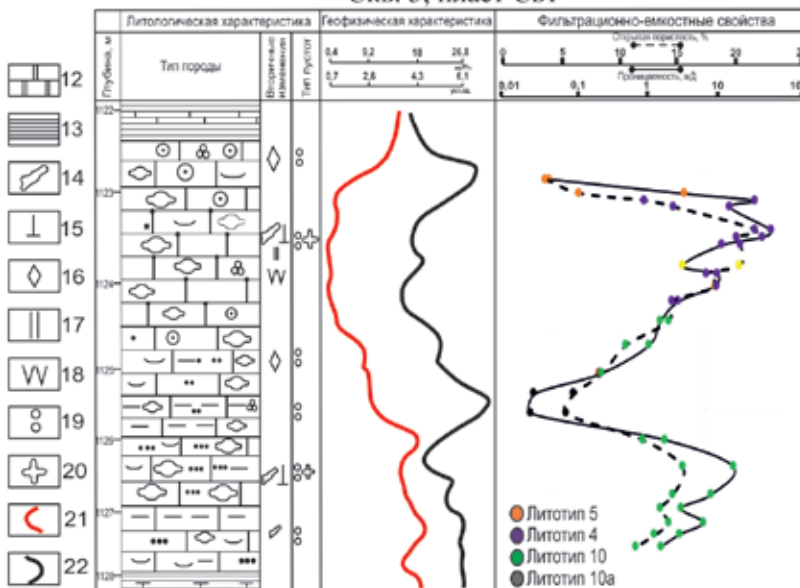


Рис. 6. Литолого-геофизические разрезы скважин

Типы пород: 1–11 – известняки: 1 – фузулиновые с крустификационным и поровым цементом (Л1а и 1б), 2 – фузулиновые кремнеземные (Л2), 3, 4 – ступково-комковатые (Л3), 5 – криноидно-полидетритовые (Л5), 6, 7 – детритово-мелкофораминиферовые и фораминиферо-полидетритовые (Л6), 8 – ступково-комковато-органогенные с алевритовым материалом (Л7), 9 – комковато-ступково-детритовые с мелкосаммитовым материалом (Л8), 10 – от тонко- до мелкозернистых с органогенным детритом алевритовые (Л9), 11 – фораминиферо-комковатые (Л10); 12 – доломиты микрзернистые (Л11); 13 – аргиллиты (Л12). Вторичные изменения: 14 – выщелачивание, 15 – кальцитизация, 16 – перекристаллизация, 17 – кремнеобразование, 18 – сульфатизация. Типы пустот: 19 – поры, 20 – каверны. Методы ГИС: 21 – ГК – гамма-каротаж (мкР/ч), 22 – НГК – нейтронный гамма-каротаж (усл. единицы)

Встреченные доломиты имеют подчиненное значение и характеризуются микрозернистой структурой (*литотип 11*). Коллекторские свойства доломитов связаны с размерностью его кристаллов. Несколько увеличенные значения коллекторских параметров микрозернистых доломитов обусловлены их трещиноватостью, что отмечается при макроскопическом описании.

Группа пород, относимая к *литотипу 10*, определяется развитием внутриформенной пустотности, которая ухудшается путем развития процесса кальцитизации с инкрустацией стенок внутриформенных пустот. В результате кальцитизации частично сокращается мелкая биогенная пористость, заполнение остаточного пустотного пространства происходит блочными кристаллами и агрегатами новообразованного кальцита.

Распределение литологических типов пород и изменение их коллекторских свойств в разрезе. Особенности структурно-текстурного сложения пород-коллекторов верейского горизонта и степень их постседиментационного преобразования отражаются в характере распределения и взаимосвязи коллекторских свойств по разрезу.

На литолого-геофизических разрезах (рис. 6) показана изменчивость генетических типов пород, направленность вторичных изменений, преобладающие типы пустот и изменение коллекторских свойств.

Разрез скв. 1 характеризуется широким развитием биоморфных (фораминиферовых (*литотип 1*) и водорослево-фораминиферовых разновидностей (*литотип 3*)) и меньшим содержанием органично-обломочных известняков (рис. 6, скв. 1, Св1 и Св3). В особую группу можно выделить известняки криноидно-полидетритовые с брахиоподами с крупнокристаллическим (регенерации) кальцитовым цементом (*литотип 5*). Криноидно-полидетритовые известняки встречаются в виде небольших пластов (10–20 см, редко до 0,5 м), образуя характерные пачки, локализующиеся в кровельных частях разреза. Указанные породы прослеживаются почти во всех исследуемых скважинах и являются хорошими маркирующими горизонтами, которые отображаются повышенными показаниями на кривой нейтронного гамма-каротажа (НГК). Породы изменены постседиментационными преобразованиями, проявилось влияние процессов выщелачивания, кальцитизации и перекристаллизации.

Согласно литолого-петрографическим наблюдениям, наиболее интенсивные формы проявления вторичных процессов приурочены к высокопористым и кавернозным разновидностям карбонатных пород. Высокопористые интервалы отображаются депрессиями на кривой нейтронного гамма-метода.

В скв. 1 вскрытые отложения, относящиеся к пласту Св4, характеризуются наименьшими показателями коллекторских свойств по разрезу (рис. 6, скв. 1, Св4). Колебания кривой, отражающей изменение фильтрационно-емкостных

свойств, обусловлены переходами в структурном отношении фузулинидово-полидетритовых и детритово-мелкофораминиферовых известняков (*литотип 6*).

В скв. 2 наиболее высокими значениями коллекторских свойств так же характеризуются известняки с крустификационной цементацией, относимые к *литотипу 4* и выделяющиеся депрессиями на кривой НГК (рис. 6, скв. 2, Св3). Ухудшение коллекторских параметров связано со вторичным минеральным заполнением порового пространства кристаллами кальцита (*литотип 1б*). Отложения горизонта в скв. 2 характеризуются локальными проявлениями процессов окремнения (*литотипы 2 и 3*). Окремнение выражено в породе в виде прослоев и конкреций.

В изменении коллекторских свойств по разрезу скважин 3 и 4 отчетливо проявляется влияние постседиментационных процессов на фильтрационные свойства известняков (рис. 6, скв. 3, Св3). Главный фактор, ухудшающий фильтрационные и емкостные свойства пород рассматриваемых скважин, — кальцитизация пустотного пространства (*литотип 1б*).

Наиболее высокими коллекторскими свойствами характеризуются разности пород с крустификационной цементацией и крупной межформенной пустотностью (*литотипы 1а и 4*), фильтрационно-емкостные свойства которых улучшаются за счет процессов селективного и унаследованного выщелачивания.

Разрез, представленный в скв. 5, наиболее полно характеризует отложения, относимые к пласту Св1 (рис. 6, скв. 5, Св1). Согласно литолого-петрографическим наблюдениям, широким развитием по разрезу характеризуются известняки фораминиферо-комковатые с комбинацией крустификационного цемента и цемента выполнения пор (*литотип 4*).

Участок разреза, характеризуемый *литотипом 10*, определяется развитием внутриформенной пустотности, которая ухудшается путем развития процесса кальцитизации. В описываемой скважине фрагментарно отмечается сульфатизация пород.

В пределах карбонатных пачек в направлении снизу вверх отмечается общее повышение пористости и проницаемости. Породы с наиболее высокими коллекторскими свойствами (нефтеносные пачки) (*литотипы 1а, 3, 4*) приурочены к кровельным частям пластов и связаны с толщей известняков с крустификационным корочковым цементом. Настоящая закономерность прослеживается во всех изучаемых скважинах, и характеризуемый интервал, по данным геофизических исследований скважин, выделяется нефтенасыщением.

Выводы. 1. Проведены детальные литолого-петрографические исследования, в результате которых выявлено, что породы верейского горизонта представлены двенадцатью основными

литотипами, резко отличными по характеру взаимосвязи коллекторских параметров.

2. Данные оптико-микроскопических исследований и лабораторных определений фильтрационно-емкостных свойств позволили установить, что главные факторы, влияющие на коллекторские свойства карбонатных пород, – постседиментационные процессы:

– положительное влияние на формирование коллекторских свойств карбонатных пород верейского горизонта оказало выщелачивание;

– к отрицательному воздействию относятся: кальцитизация пустот, перекристаллизация, окремнение и сульфатизация.

3. По литолого-геофизическим схемам установлено, что породы с наиболее высокими коллекторскими свойствами приурочены к кровельным частям пластов.

4. Выявленные структурно-вещественные особенности карбонатных пород верейского горизонта, определяющие неоднородность разрезов, позволяют устанавливать места локализации зон развития пород-коллекторов.

1. Багринцева К. И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа: монография. – М.: Изд-во РГУ, 1999. – 282 с.

2. Бурикова Т. В. Литолого-петрофизическая типизация карбонатных пород отложений среднего карбона (на примере месторождений северо-западной части Башкортостана) / Т. В. Бурикова, Е. Н. Савельева, А. М. Хусайнова, О. Р. Привалова, А. Н. Нугаева, Д. В. Корост, Д. А. Гилязетдинова // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 18–21.

3. Виссарионова А. Я. Стратиграфия и фации средне- и нижнекаменноугольных отложений Башкирии и их нефтеносность: монография. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 222 с. (Труды УфНИИ; вып. 5).

4. Гмид Л. П., Леви С. Ш. Атлас карбонатных пород-коллекторов. – Л.: Недра, 1972. – 200 с.

5. Гмид Л. П. Литологические аспекты изучения карбонатных пород-коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – № 1. – С. 1–23.

6. Диагенез и катагенез осадочных образований / под ред. Г. Ларсена, Дж. В. Чилингара. – М.: Мир, 1971. – 463 с.

7. Лозин Е. В. Геология и нефтеносность Башкортостана: монография. – Уфа: БашНИПИнефть, 2015. – 704 с.

8. Фортунатова Н. К., Карцева О. А., Баранова А. В. и др. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. – М.: ВНИГНИ, 2005. – 440 с.

9. Хворова И. В. Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 170 с.

10. Sholle P. A., Ulmer-Sholle D. S. A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis // AAPG Memoir. Published AAPG. – Tulsa, Oklahoma, U.S.A. – 2003. – Vol. 77. – 474 p.

11. Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации [Электронный ресурс] // ГИС-Атлас «Недра России»: [сайт]. – URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#027723fa484b679a17> (дата обращения: 23.01.2019).

1. Bagrintseva K. I. Usloviya formirovaniya i svoystva karbonatnykh kolektorov nefi i gaza [Formation conditions and properties of carbonate reservoirs of oil and gas]. Moscow: RGGU, 1999. 282 p.

2. Burikova T. V., Saveleva E. N., Khusainova A. M. i dr. Litho-petrophysical typification of carbonate rocks of Middle Carboniferous sediments (by the example of deposits in the north-western part of Bashkortostan). *Neftyanoe hozyajstvo*. 2017. No 10, pp. 18–21. (In Russian).

3. Vissarionova A. Ya. Stratigrafiya i facii sredne- i nizhnekamennougol'nykh otlozhenij Bashkirii i ih neftenosnost': monografiya [Stratigraphy and facies of middle and lower carboniferous sediments of Bashkiria and their oil content: a monograph]. Moscow: Gostoptekhizdat. 1959. 222 p.

4. Gmid L. P., Levi S. Sh. Atlas karbonatnykh porod-kollektorov [Atlas of carbonate reservoir rocks]. Leningrad: Nedra. 1972. 200 p.

5. Gmid L. P. Lithological aspects of the study of carbonate reservoir rocks. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2006. Vol. 1. No 1, pp. 1–23. (In Russian).

6. Diagenез i katagenез osadochnykh obrazovaniy [Diagenesis and catagenesis of sedimentary formations]. Ed. by G. Larsen and G. V. Ghilinger. Moscow: MIR. 1971. 463 p.

7. Lozin E. V. Geologiya i neftenosnost' Bashkortostana [Geology and oil content of Bashkortostan]. Ufa: BashNIPIneft. 2015. 704 p.

8. Fortunatova N. K., Kartseva O. A., Baranova A. V. i dr. Atlas strukturnykh komponentov karbonatnykh porod [Atlas of structural components of carbonate rocks]. Moscow: VNIIGNI. 2005. 440 p.

9. Khvorova I. V. Atlas karbonatnykh porod srednego i verhnego karbona Russkoj platformy [Atlas of carbonate rocks of the Middle and Upper Carbon of the Russian platform]. Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1958. 170 p.

10. Sholle, P. A., Ulmer-Sholle, D. S. 2003: A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. *AAPG Memoir*. 77. 474. Published AAPG, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

11. Aktualizirovannyye GIS-pakety operativnoj geologicheskoy informacii [Elektronnyj resurs] *GIS-Atlas «Nedra Rossii»: [sajt]*. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#027723fa484b679a17> (23.01.2019). (In Russian).

Рясной Андрей Андреевич – инженер, аспирант, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <Andrey_Ryasnoy@vsegei.ru>

Савельева Елена Николаевна – канд. геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, Башкирский научно-исследовательский и проектный институт нефти (ООО «РН-БашНИПИнефть»). Ул. Ленина 86/1, Уфа, Республика Башкортостан, 450006, Россия. <SavelevaEN@bashneft.ru>

Ryasnoy Andrey Andreevitch – Engineer, Post-graduate Student, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <Andrey_Ryasnoy@vsegei.ru>

Saveleva Elena Nikolaevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Bashkirian Research and Project Institute of Oil (LLC «RN-BashNIPIneft»). 86/1 Lenin st., Ufa, Bashkortostan Republic, 450006, Russia. <SavelevaEN@bashneft.ru>