

УДК 552.578.061.4:551.734(470.111+470.13)

Мусихин А.Д.¹, Осинцева Н.А.², Сивальнева О.В.³, Китаева И.А.⁴Российский Государственный Университет нефти и газа имени И.М.Губкина, Москва, Россия, ¹geolog@bk.ru, ²osintsevana@mail.ru, ³ejikow@gmail.com, ⁴irina_kitaeva@bk.ru

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ФАМЕНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО БОРТА ХОРЕЙВЕРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Изучены связи условий формирования фаменских отложений с коллекторскими свойствами пород. Установлено, что в результате гипергенных процессов первично пористые породы подверглись интенсивному выщелачиванию, что значительно улучшило их фильтрационно-емкостные свойства. Коллектор в плотных разностях пород смог получить развитие лишь в результате появления трещин и процессов растворения вдоль их стенок с образованием каверн и пор выщелачивания.

Ключевые слова: фаменские отложения, коллекторские свойства, типы коллекторов, Хорейверская нефтегазоносная область, Тимано-Печорская провинция.

На территории Хорейверской нефтегазоносной области (НГО) открыто более 50 месторождений. Некоторые из них - наиболее крупные и имеющие относительно простое строение - уже разрабатываются на протяжении нескольких десятилетий. По мере снижения нефтедобычи из более крупных месторождений все острее становится проблема освоения трудноизвлекаемых запасов, сосредоточенных в мелких месторождениях и месторождениях сложного строения. Для таких месторождений характерно неравномерное распределение коллекторов по площади и по разрезу, что связано с особенностями образования пород и постседиментационными процессами.

При изучении карбонатной толщи рассматриваемой территории проблему распространения пород-коллекторов по площади позволяет решить фациальное моделирование и данные геофизических исследований скважин. Проблема должна решаться в совокупности с литологическими исследованиями, так как распространение, свойства и типы пород неразрывно связаны с фациальной изменчивостью отложений и вторичными процессами изменения пород.

Изучение коллекторов и выявление их связи с различными фациальными обстановками и постседиментационными процессами позволит прогнозировать развитие коллекторов как по разрезу, так и по площади на изучаемой территории. Это позволит увеличить эффективность заложения новых скважин, и может оказать помощь при разработке месторождений.

Работа содержит литологическую и петрофизическую характеристику пород-коллекторов, их типизацию и характеристику выявленных связей различных типов

коллекторов с условиями образования и преобразования пород.

Объектом исследования являются фаменские отложения верхнего девона центральной части восточного борта Хорейверской НГО Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, изученные в разрезах скважин одного из месторождений. Отложения выделенных авторами литотипов представлены карбонатными породами.

Основные литотипы

Все карбонатные породы условно можно разделить на две группы: породы, в которых первичные компоненты были связаны между собой в процессе осаждения (баундстоуны), и породы, первичные компоненты которых не были связаны между собой в процессе осаждения (грейнстоуны, вакстоуны, пакстоуны, флаутстоуны, рудстоуны).

К первой группе пород среди изучаемых отложений можно отнести известняки: биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем, сферово-водорослевые, строматолитовые, строматопорово-водорослевые.

Вторая группа пород включает известняки: комковатые, органогенно-обломочные, узловато-слоистые, микрозернистые глинистые с органогенным детритом, микросгустковые водорослевые, микросгустковые глинистые с органогенным детритом, желваковые, онколитовые.

Известняки сферово-водорослевые (баундстоуны). Для данного литотипа характерна фенестровая текстура (рис. 1а, б). Фенестры в разной степени залечены кристаллами вторичного кальцита. Породы сложены преимущественно продуктами жизнедеятельности синезеленых водорослей (80-95 % породы). Водорослевые образования сложены неправильными, округлыми и овальными сгустками и микросгустками (размером 0,03-0,7 мм) пелитоморфного известкового вещества, которые сцементированы микро- и тонкозернистыми кристаллами кальцита. На отдельных участках сгустки сливаются, образуя вытянутые, прерывистые прослойки пелитоморфной структуры.

В небольшом количестве встречается органогенный детрит (5-20 %): целые раковины остракод и их обломки, целые раковины фораминифер [Ахметшина и др., 2007] и их обломки, единичные членики криноидей, единичные чехлы зеленых водорослей.

Известняки биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем (баундстоуны). Этот литотип по текстурным особенностям похож на известняки сферово-водорослевые (рис. 1в). Породы также сложены преимущественно продуктами жизнедеятельности синезеленых водорослей (80-95 % породы), но водорослевые карбонатные образования имеют округлую и овальную форму комков и микрокомков пелитоморфного известкового вещества, благодаря которым порода приобретает граноморфную структуру (рис. 1г).

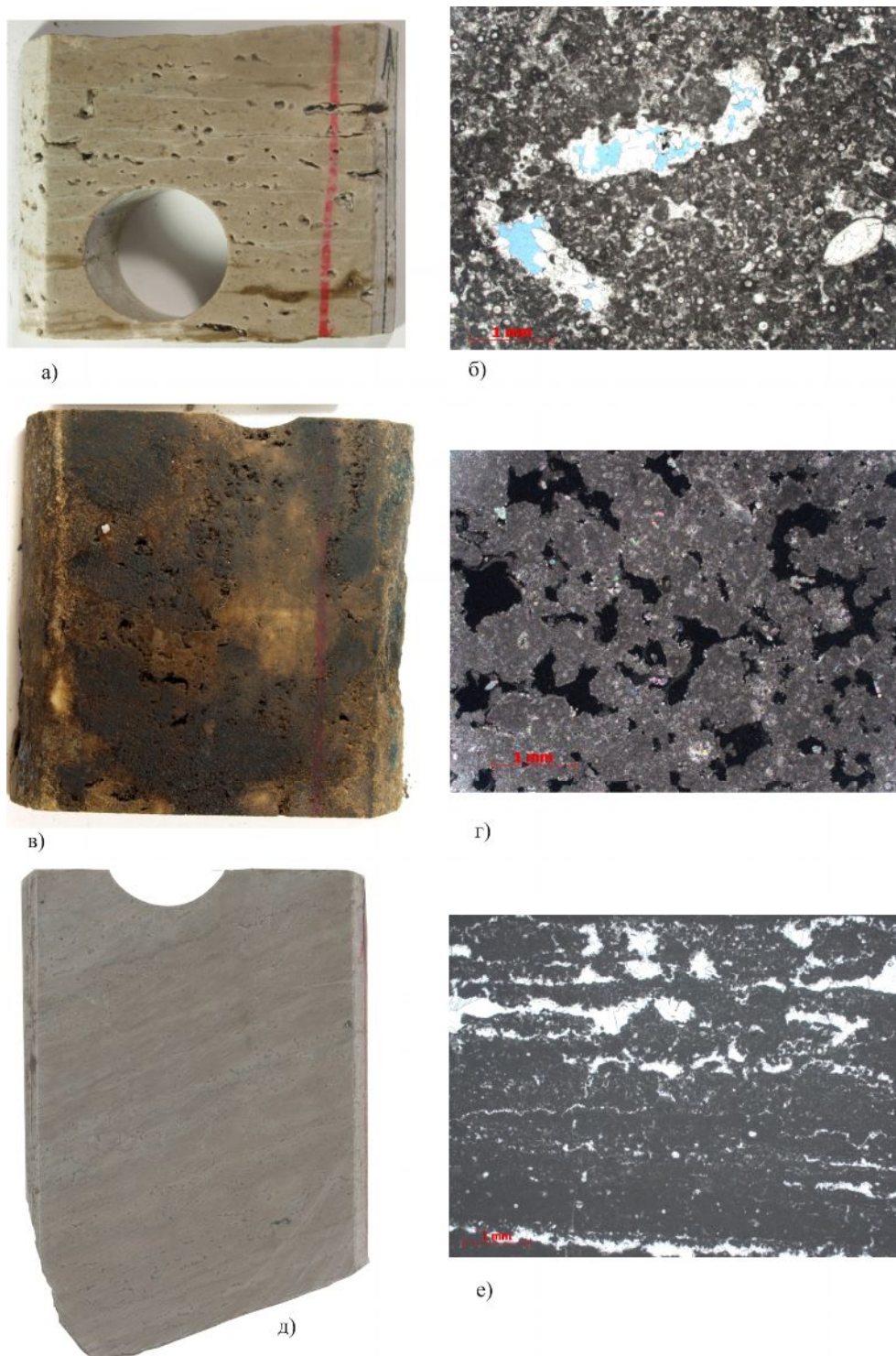


Рис. 1. Фотографии образцов и микрофотографии (фотографии шлифов) изучаемых литотипов
а) Фотография известняка сферово-водорослевого. Видно открытое первичное фенестровое пустотное пространство. Круглое отверстие в образце – результат выпиливания цилиндра для петрофизических исследований.
б) Микрофотография известняка сферово-водорослевого. На микрофотографии также видно первичное фенестровое пустотное пространство, которое не полностью залечено кристаллами кальцита. Шлиф пропитан прокрашенной смолой. Увеличение 2,5х.
в) Фотография известняка биогермного сферово-водорослевого с граноморфным заполнителем (баундстоуна). Образец сильно нефтенасыщен.
г) Микрофотография известняка биогермного сферово-водорослевого с граноморфным заполнителем со скрещенными николями. Увеличение 2,5х.
д) Фотография известняка строматолитового. Слоистая текстура.
е) Микрофотография известняка строматолитового. Увеличение 2,5х.

Намного реже встречаются сгустки и микросгустки пелитоморфного кальцита. Все форменные элементы сцементированы микро- и тонкозернистым, реже - яснокристаллическим кальцитом.

Округлые образования и прерывистые прослойки располагаются ориентированно, создавая водорослевые фенестровые текстуры, которые чаще всего инкрустируются кристаллами вторичного кальцита (0,01-0,05 мм).

В породах присутствует также органогенный детрит (2-10 %), представленный кальцисферами, целыми раковинами фораминифер [Ахметшина и др., 2007] и их обломками, целыми раковинами остракод и их обломками.

Известняки строматолитовые (баундстоуны). Для этих пород характерно слоистое внутреннее строение (рис. 1д). Слоистая текстура строматолитов определяется закономерным чередованием слойков с различными микроструктурами (рис. 1е). Обычно эти слойки отличаются соотношением пелитоморфного и яснокристаллического кальцита, который залечивает пустоты на месте отмирающих синезеленых водорослей.

Биота представлена единичными раковинами остракод, остатками водорослевых чехлов, кальцисферами и раковинами однокамерных фораминифер [Ахметшина и др., 2007]. Количество органогенных остатков составляет до 7 %.

Известняки строматопорово-водорослевые (баундстоуны). Породы сложены колониями строматопороидей, которые по внешней форме можно подразделить на цилиндрические, конусовидные, реже – дендроидальные и желвакообразные (рис. 2а).

В межкаркасном заполнителе, сложенном комками пелитоморфного кальцита, сцементированными тонкозернистыми кристаллами кальцита, присутствуют округлые, реже овальные и неправильной формы строматопоры (рис. 2б), которые часто крустифицируются синезелеными водорослями. Структура заполнителя – комковатая.

В незначительном количестве в породе встречаются единичные чехлы зеленых водорослей, обломки раковин остракод, водорослевые сферы, однокамерные фораминиферы, раковины брахиопод, обломки мшанок, членики криноидей. Количество органогенного детрита изменяется до 3 %.

Известняки комковатые (грейнстоуны). Породы имеют массивную или пятнистую текстуры (рис. 2г). Структура пород - комковатая, спаритовая составляющая пород весьма разнообразна: от микрозернистой до крупнозернистой.

Породы сложены округлыми, овальными комками пелитоморфного кальцита (рис. 2д). Кальцит, слагающий форменные элементы, сформировался в результате жизнедеятельности синезеленых водорослей.

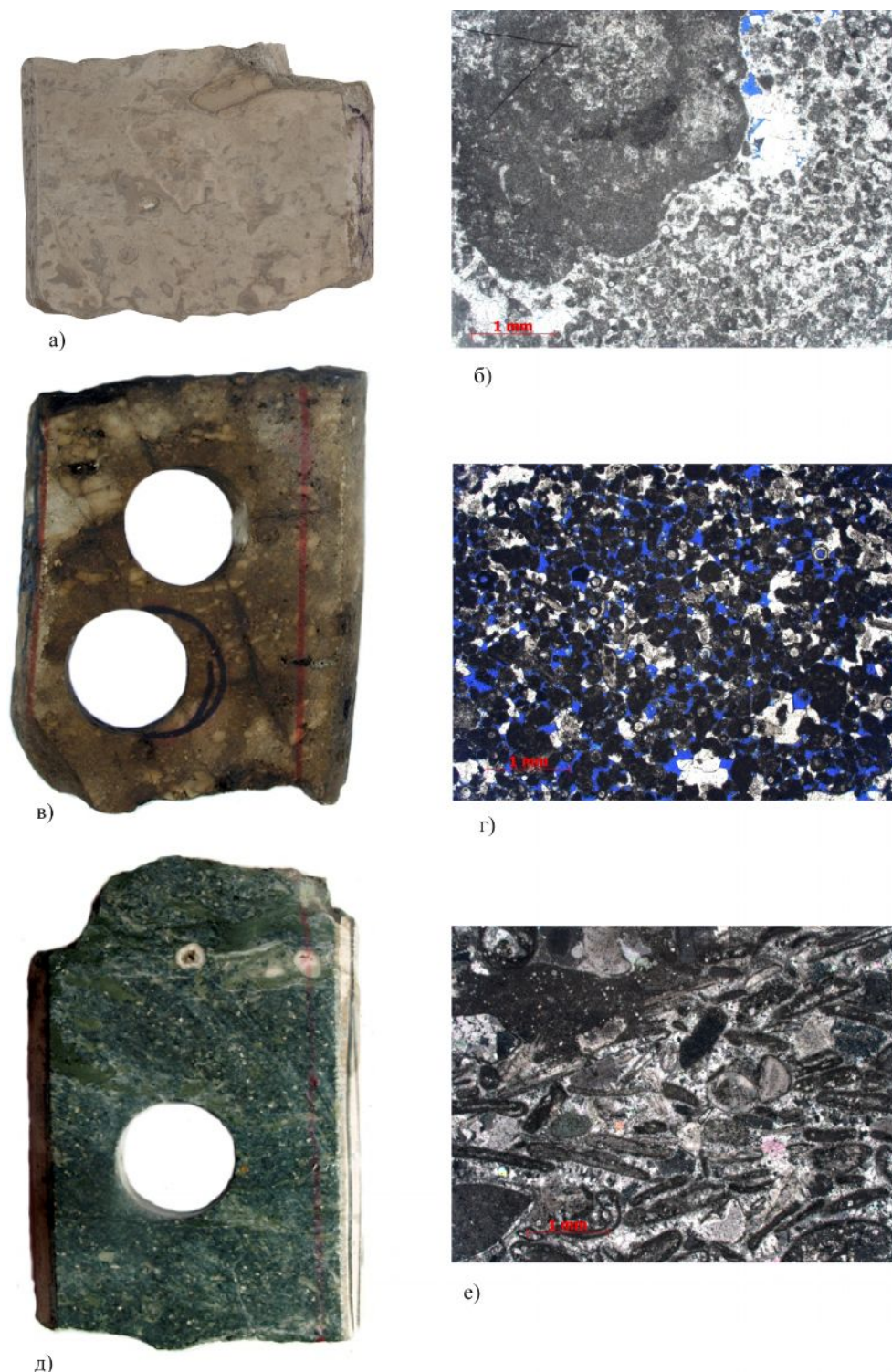


Рис. 2. Фотографии образцов и микрофотографии (фотографии шлифов) изучаемых литотипов
 а) Биогермная текстура известняка строматопорово-водорослевого (баундстоуна).
 б) Сечение строматопоры в известняке строматопорово-водорослевом. Шлиф пропитан покрашенной смолой. Увеличение 2,5х.
 в) Известняк органогенно-обломочный (грейнстоун). Круглое отверстие в образце – результат выпиливания цилиндра для петрофизических исследований.
 г) Микрофотография известняка органогенно-обломочного. Николи скрещены. Увеличение 2,5х.
 д) Контакт известняка комковатого (верхняя часть образца) сильно нефтенасыщенного и известняка сферово-водорослевого (нижняя часть образца). Круглое отверстие в образце – результат выпиливания цилиндра для петрофизических исследований.
 е) Микрофотография высокопористого комковатого известняка (грейнстоуна). Шлиф пропитан покрашенной смолой. Увеличение 2,5х.

Форменные элементы сцементированы, в основном, тонкозернистым кальцитом, на некоторых участках первичное поровое пространство заполнено мелко-крупнозернистым кальцитом. На отдельных участках пород вокруг комков образуются крустификационные каемки кальцита.

Кроме того, в породах присутствует органогенный детрит (до 10 %): раковины однокамерных фораминифер, кальцисферы, единичные чехлы зеленых водорослей, обломки раковин остракод.

Известняки органогенно-обломочные (грейнстоуны). Структура пород органогенно-детритовая (от мелко- до грубодетритовой), спаритовая (от тонко- до крупнозернистой) (рис. 2д, е).

Большая часть породы сложена чехлами зеленых водорослей, члениками криноидей, остатками мшанок, обломками раковин остракод, брахиопод, гастропод. Встречаются обломки микрозернистого известняка. Все форменные элементы сцементированы яснокристаллическим (от тонко- до крупнозернистого) кальцитом.

Известняки комковато-водорослевые. Породы сложены преимущественно округлыми, овальными и неправильными комками пелитоморфного кальцита, присутствуют чехлы зеленых водорослей, которые практически все полностью перекристаллизованы, и иногда встречаются лишь реликты их чехлов в монокристаллах кальцита. Все составные части породы сцементированы микро- и тонкозернистыми кристаллами кальцита. Структура породы преимущественно комковатая - типа грейнстоуна, встречаются участки водорослевой структуры.

Органогенные остатки представлены в основном практически полностью перекристаллизованными чехлами зеленых водорослей, также встречаются единичные обломки раковин и целые раковины остракод, водорослевые сферы.

Известняки микросгустковые водорослевые (мадстоуны-вакстоуны). Основная масса породы сложена микросгустковой массой пелитоморфного кальцита, на отдельных участках микросгустки сливаются, и структура породы практически пелитоморфная (рис. 3в, г).

В основной микросгустковой массе присутствуют (повсеместно) многочисленные нитевидные образования зеленых водорослей. Также встречаются водорослевые сферы, обломки раковин и раковины остракод, единичные обломки раковин брахиопод, пелеципод, остатки микрокодиевых водорослей. Количество органогенного детрита изменяется в пределах 3-25 %.

Известняки узловато-слоистые (мадстоуны?). Для литотипа характерна узловато-слоистая текстура (рис. 3а). Структура светлой и темной части пород различная (рис. 3б). В

светлой части пород основная масса представлена микритовым известняком с пелитоморфной глинистой примесью, в котором присутствует органогенный детрит.

Структура темно-серой части пород – микро-тонкозернистая и представлена скоплениями ромбоэдрических кристаллов доломита в микро-тонкозернистой известковой массе.

Встречаются органогенные остатки (1-5 %), представленные обломками раковин остракод, брахиопод, гастропод и члениками криноидей.

Известняки микрозернистые глинистые с органогенным детритом (вакстоуны).

Порода состоит из микритовой карбонатной массы с глинистой примесью, в которой находятся органогенные остатки различной степени сохранности, представленные обломками раковин остракод, брахиопод, гастропод, остатками харовых водорослей, члениками криноидей и остатками мшанок (рис. 3д, е). Количество органогенных остатков изменяется в пределах от 25 до 35 %.

Известняки микросгустковые глинистые с органогенным детритом (мадстоуны-вакстоуны). Основная масса породы сложена пелитоморфным кальцитом с глинистой примесью, который образует микросгустковую структуру, возможно, водорослевого генезиса (рис. 4а, б).

Присутствуют органогенные остатки (5-12 %), представленные раковинами и обломками раковин остракод, гастропод, однокамерными фораминиферами, кальцисферами, чехлами зеленых водорослей, единичными багряными водорослями.

Известняки желваковые (флаутстоуны). Текстура пород - желваковая (онколитопоподобная), пятнистая, реже – неяснослоистая (рис. 4в, г).

Породы сложены овально-вытянутыми, реже округлыми и неправильными водорослевыми, вероятно и строматопорово-водорослевыми онколитопоподобными желваками с разной степенью окатанности, многочисленными комками, состоящими из сгустков пелитоморфного кальцита и обломками органогенного детрита со следами окатанности. Органогенные остатки представлены багряными водорослями, чехлами зеленых водорослей, встречаются водорослевые сферы, обломками кораллов, целыми раковинами и обломками раковин остракод, гастропод, брахиопод, пелеципод, единичными раковинами и обломками раковин фораминифер.

Большая часть составных частей породы сцементирована крупными кристаллами разномасштабного кальцита. Встречаются желваки, комки и органогенный детрит, крустифицированные микро- и тонкозернистыми кристаллами кальцита. Количество желваков (онколитов?) достигает 55-65 %.

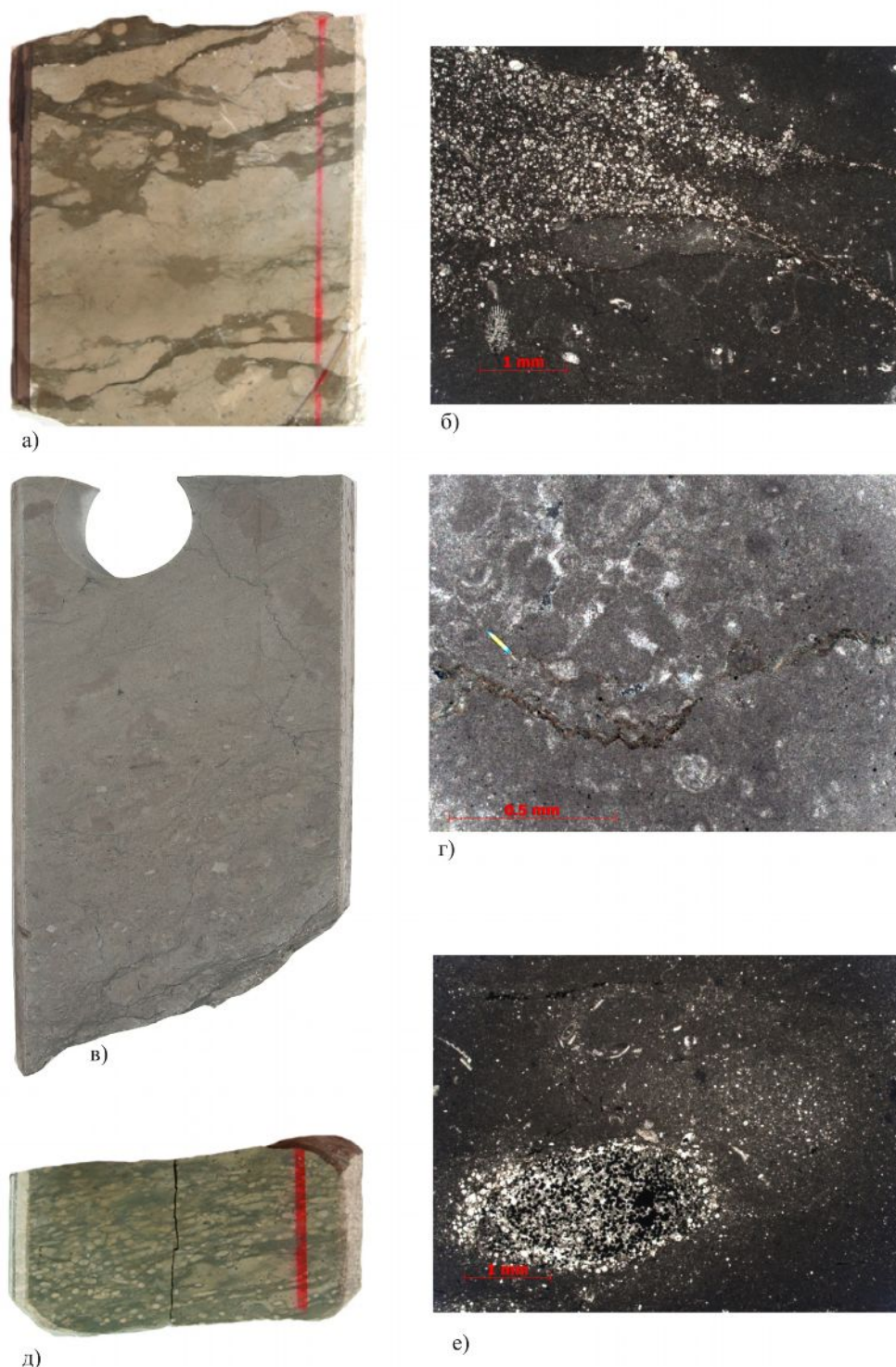


Рис. 3. Фотографии образцов и микрофотографии (фотографии шлифов) изучаемых литотипов

а) Известняки узловато-слоистые.

б) Чередование доломитизированных и микрозернистых участков в известняке узловато-слоистом. Без анализатора. Увеличение 2,5х.

в) Известняки микрогустковые водорослевые. Круглое отверстие в образце – результат выпиливания цилиндра для петрофизических исследований.

г) Скопление сульфидов железа, приуроченное к сутуро-стилолитовому шву с глинистой прослойкой в известняке микрогустковом водорослевом. Увеличение 10х.

д) Текстура биотурбации в известняках микрозернистых глинистых.

е) Пиритизация доломитизированного участка в известняке микрозернистом глинистом. Без анализатора. Увеличение 2,5х.

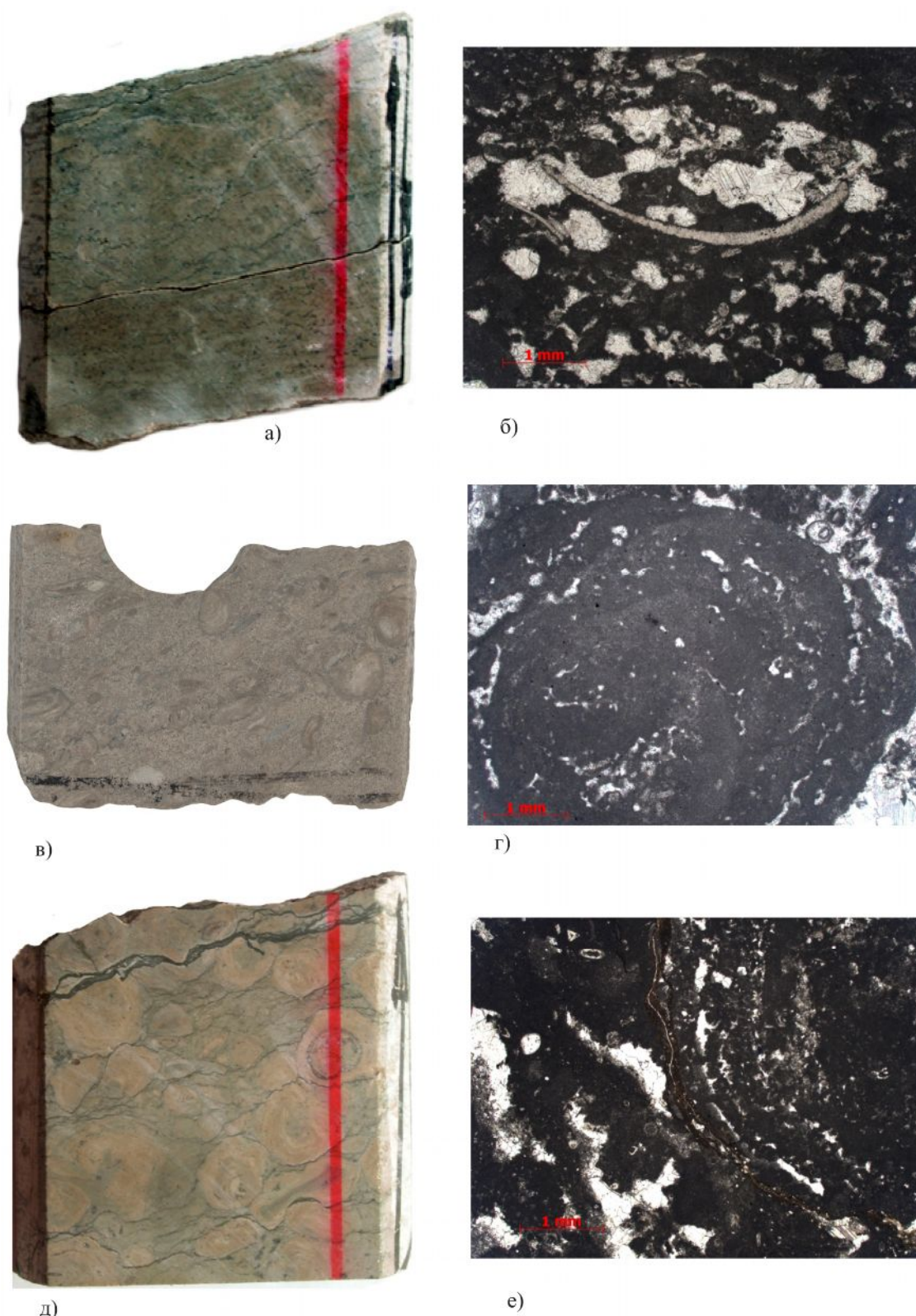


Рис. 4. Фотографии образцов и микрофотографии (фотографии шлифов) изучаемых литотипов
а) Известняк микрогустковый глинистый с органогенным детритом.
б) Обломки раковин остракод в известняке микрогустковом глинистом с органогенным детритом. Без анализатора. Увеличение 2,5х.
в) Фотография известняка желвакового.
г) Водорослевый желвак в известняке желваковом. Увеличение 2,5х.
д) Известняк онколитовый. е) Онколит в пелитоморфной кальцитовой массе (контакт по стилолиту) в известняке онколитовом. Без анализатора. Увеличение 2,5х.

Известняки онколитовые (рудстоуны). Породы сложены округлыми, овальными и неправильными сгустками пелитоморфного кальцита с пелитоморфной глинистой примесью (рис. 4д, е). Сгустки формируют онколиты явно выраженного концентрического строения. Пространство между онколитами заполнено в основном микро- и тонкозернистыми кристаллами кальцита.

В пустотах типа «птичьих глазок» встречаются мелко-крупнозернистые кристаллы кальцита.

В породах присутствуют целые раковины остракод, гастропод и их обломки, кальцисферы, однокамерные фораминиферы, единичные чехлы зеленых водорослей, багряные водоросли.

Высокими фильтрационными свойствами обладают литотипы:

- известняки сферово-водорослевые (баундстоуны);
- известняки биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем (баундстоуны);
- известняки комковатые (грейнстоуны).

Практические никогда не обладают значимыми коллекторскими свойствами известняки:

- микрозернистые глинистые с органогенным детритом;
- микросгустковые глинистые с органогенным детритом.

Каждый из литотипов формируется в определенных фациальных обстановках.

Типизация пород-коллекторов

Изучаемые отложения фаменского возраста были дифференцированы по генетическим типам пустотного пространства. В изученных юго-восточном (1), южном (2) и северном (3) разрезах центральной части восточного борта Хорейверской НГО выделены следующие типы коллекторов (рис. 5, 6):

- порово-кавернозный;
- трещинно-кавернозный;
- смешанный.

Помимо перечисленных типов в разрезе 3 выделяется трещинный тип коллектора.

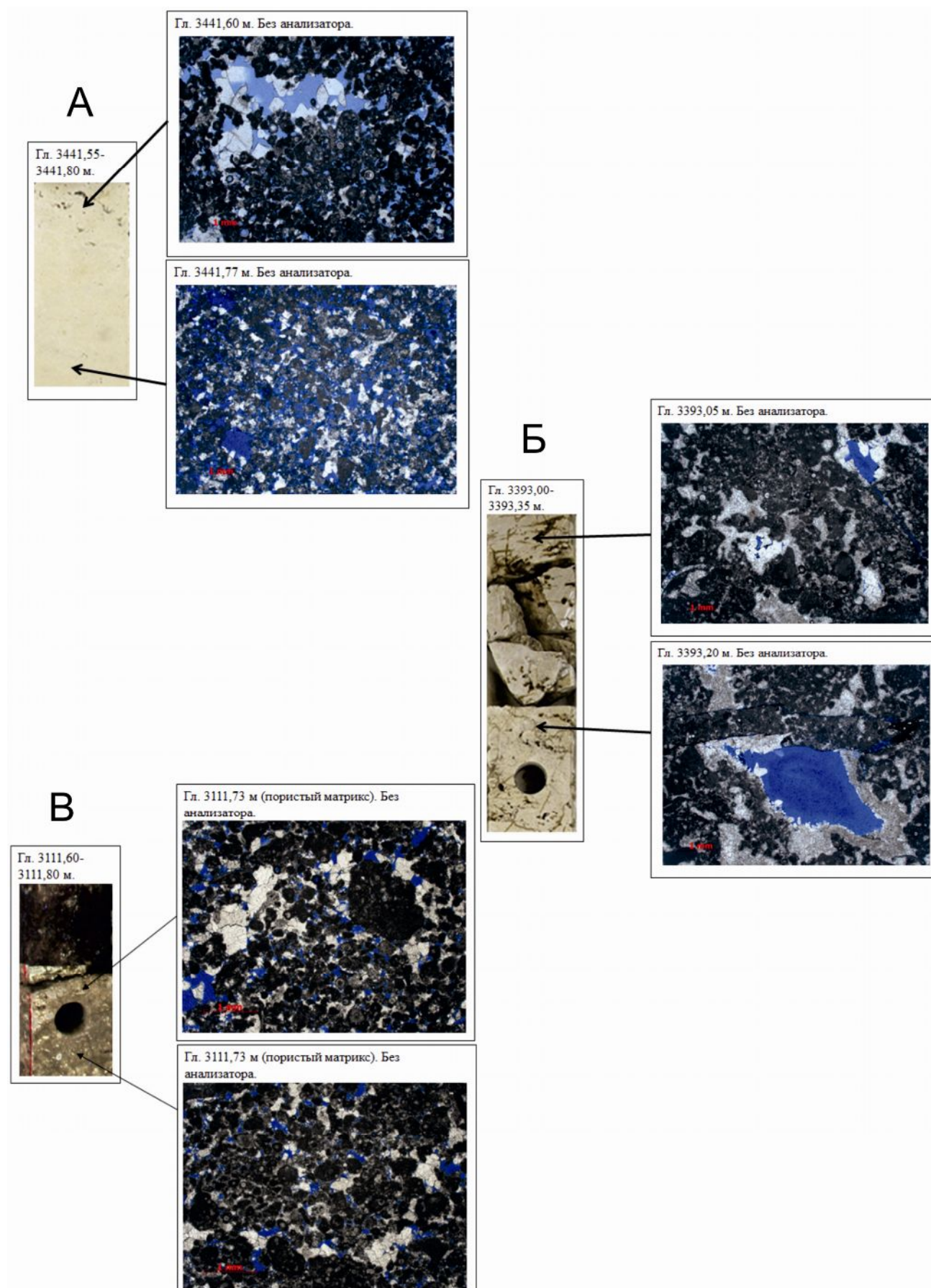
В рассматриваемых отложениях выделяется несколько генетических разновидностей кавернозности:

1 разновидность – кавернозность, развитая по первичному фенестральному пустотному пространству в результате движения флюида по трещинам, связывающих эти пустоты (рис. 7);



Рис. 5. Схема корреляции с нанесенными литотипами и типами коллекторов

1-5 - типы коллекторов: 1 – неколлектор, 2 – трещинно-кавернозный, 3 – порово-кавернозный, 4 – смешанный, 5 – трещинный; 6-18 - литотипы: 6 – сферово-водорослевые известняки (баундстоун), 7 – известняки строматолитовые, 8 – известняки биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем (баундстоун), 9 – известняки комковатые (грейнстоун), 10 – известняки микросгустковые глинистые с органическим детритом, 11 – известняки онколитовые, 12 – известняки микрозернистые глинистые с органическим детритом (вакстоун), 13 – известняки узловато-слоистые, 14 – известняки органично-обломочные (грейнстоун), 15 – известняки строматопорово-водорослевые (баундстоуны), 16 – известняки микросгустковые водорослевые, 17 – известняки комковато-водорослевые, 18 – известняки желваковые.

**Рис. 6. Типы коллекторов**

А – порово-кавернозный; Б – трещинно-кавернозный; В – смешанный. Увеличение микрофотографий 2,5х.

2 разновидность – развита по первично пористым породам (рис. 7);

3 разновидность – развита по стенкам трещин, увеличивая их раскрытость, часто представлена порами выщелачивания (рис. 7).

Фильтрационно-емкостные свойства различных типов пород-коллекторов изучаемого разреза представлены на рис. 8.

Связь типов коллекторов с литотипами

В разрезах 1 и 2 по всему интервалу широко развиты процессы растворения, за счет чего создаются прослои высокеемких и высокопроницаемых известняков с порово-кавернозным типом коллектора в нижних частях разрезов. Особенно хорошо развита кавернозность по первично пористым породам, значительно увеличивающая размеры пустот и обеспечивающая хорошую сообщаемость пустот между собой. Рассматриваемый тип коллектора преимущественно представлен известняками биогермными сферово-водорослевыми с граноморфным заполнителем и в меньшей степени известняками комковатыми, которые образуют прослои 0,05-1,5 м среди преобладающих по разрезам низкоёмких коллекторов трещинно-кавернозного типа, развитых почти по всему интервалу в разрезе 1 и с усилением в средней части разреза 2. Образование трещинно-кавернозного типа коллектора происходило как по породам, обладающим фенестровым первичным пустотным пространством, так и плотным, что привело к образованию разных генетических типов кавернозности. Такая направленность вторичных изменений чаще всего наблюдается в известняках сферово-водорослевых.

Трещинно-порово-кавернозный (смешанный) тип коллектора характеризуется более сложным строением пустотного пространства, чем предыдущие описанные типы и увеличением проницаемости по сравнению с порово-кавернозным типом, при незначительном увеличении пористости за счет трещинной составляющей. Этот тип коллектора выделяется в таких литотипах, как: известняки комковатые, сферово-водорослевые и биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем.

В отличие от ранее описанных разрезов в третьем широко развита трещиноватость. Трещины распространены почти повсеместно, но с различной интенсивностью. Образование данного типа коллектора протекало в породах, содержащих примесь глинистых веществ, которая тормозила процессы растворения, мешая образованию трещинно-кавернозного типа коллектора [Багринцева, 1977, 1999]. Образование трещинного типа коллектора протекало по известнякам сферово-водорослевым, известнякам микросгустковым водорослевым, содержащим глинистую примесь, присутствие которой в данных отложениях связано, скорее всего, с образованием пород в более глубоководных условиях, чем в разрезах 1 и 2.

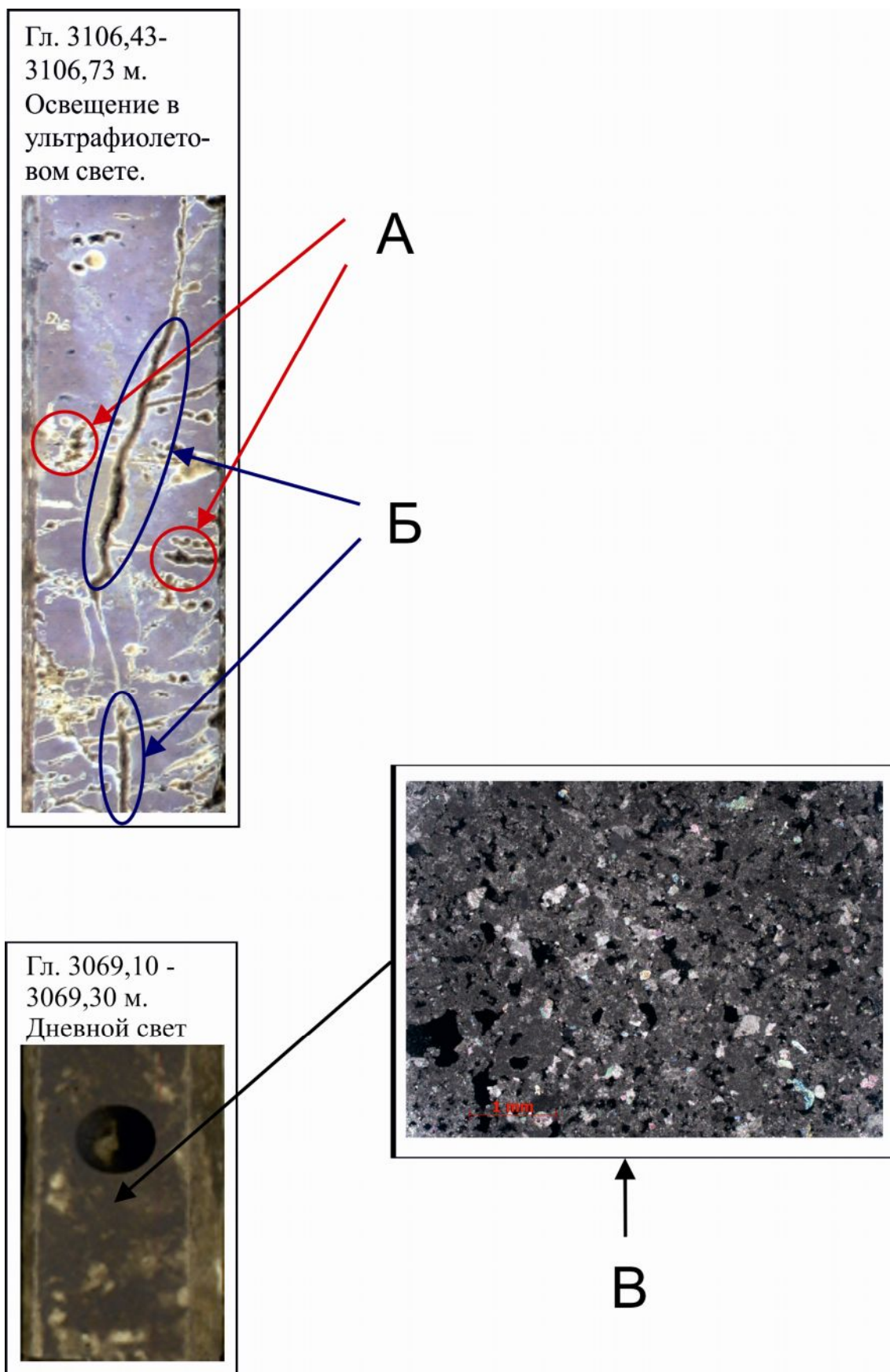


Рис. 7. Разновидности кавернозности

А – кавернозность, развитая по первичному фенестральному пустотному пространству, в результате движения флюида по трещинам, связывающим эти пустоты; Б – кавернозность, развитая по трещинам, путем растворения их стенок; В – кавернозность, развитая по первично пористым породам. Увеличение микрофотографии 2,5х.

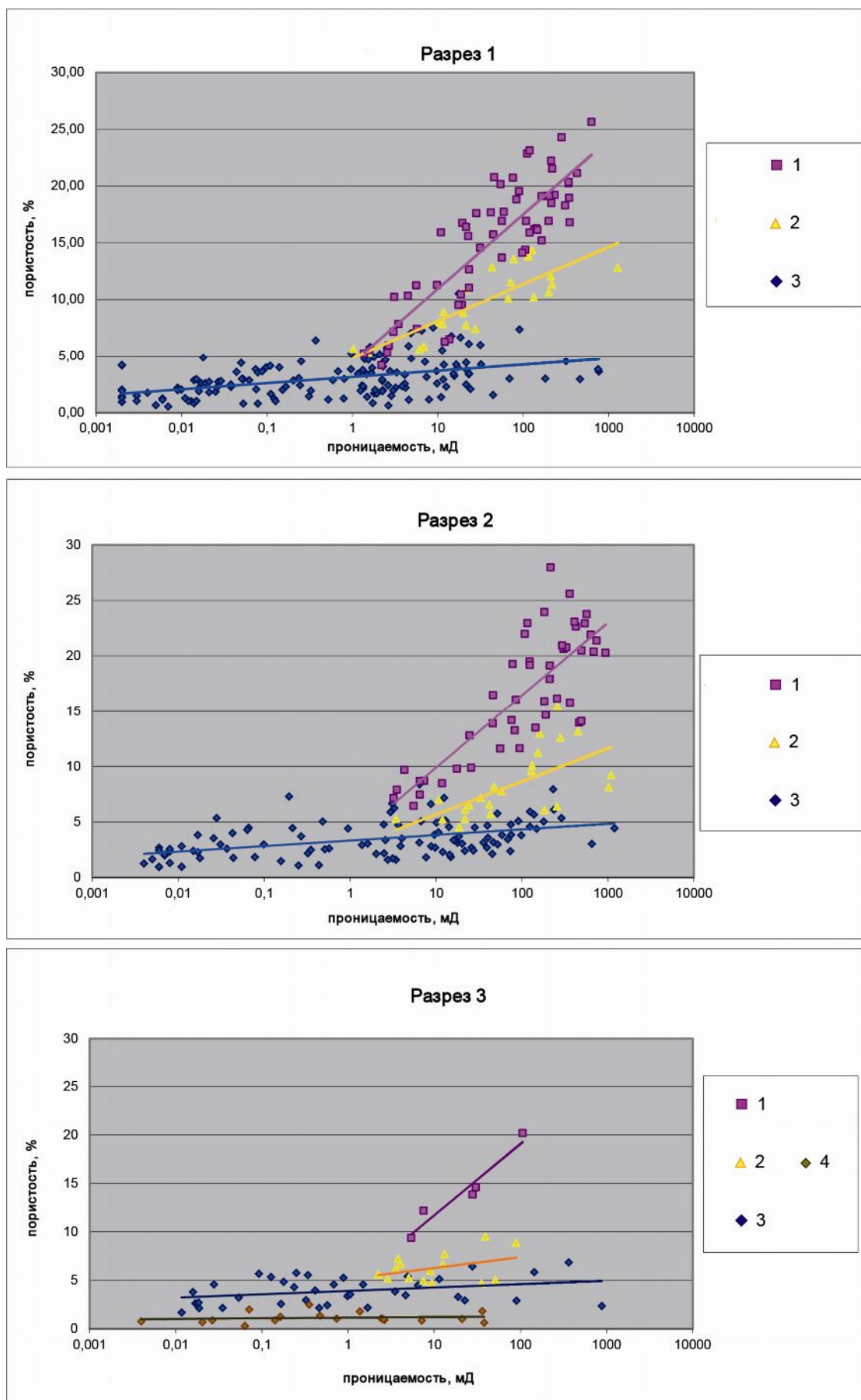


Рис. 8. Фильтрационно-емкостные свойства выделенных типов коллекторов разрезов 1-3 - типы коллекторов: 1 – порово-кавернозный, 2 – смешанный, 3 – трещинно-кавернозный, 4 – трещинный.

Фильтрационно-емкостные свойства литотипов

Для количественной оценки коллекторских свойств основных литотипов, которыми представлены породы-коллекторы, были построены гистограммы зависимости проницаемости от пористости.

Известняки сферово-водорослевые в основном представлены трещинно-кавернозным типом коллектора, и в меньшей степени порово-кавернозным и смешанным типами коллекторов и обладают разнообразными фильтрационными и умеренными емкостными свойствами (рис. 9). В разрезе 3 помимо вышеперечисленных типов выделяется трещинный тип коллектора. Проницаемость для данного литотипа изменяется от 0,002 до 1189,6 мД, пористость от 0,3 до 13,90 %. Значения проницаемости известняков сферово-водорослевых с трещинно-кавернозным типом коллектора лежат в пределах от 0,002 до 1189,6 мД, значения пористости от 0,5 до 8,9%. Рассматриваемый литотип с порово-кавернозным типом коллектора имеет значения проницаемости от 1,40 до 57,6 мД, пористости – от 5,2 до 13,9 %. Смешанный тип коллектора в данном литотипе имеет значения проницаемости от 1 до 1086,4 мД, пористости – от 4,5 до 13,8 %.

Известнякам биогермным сферово-водорослевым с граноморфным заполнителем в исследуемом разрезе скважины приурочен порово-кавернозный и в меньшей степени смешанный типы коллекторов (рис. 10). Рассматриваемый литотип обладает как высокими фильтрационными, так и высокими емкостными свойствами. Проницаемость изменяется от 2 до 940,3 мД, значения пористости, в свою очередь, изменяются от 4,2 до 28 %. Рассматриваемый литотип имеет довольно высокие значения фильтрационно-емкостных свойств, это связано с тем, что он, в основном, представлен порово-кавернозным типом коллектора (проницаемость – от 2,2 до 940,3 мД, пористость – от 4,2 до 28 %). В разрезе 2 помимо порово-кавернозного типа представлен смешанный тип коллектора, пределы проницаемости которого – 3,4 и 448,9 мД, пористости – 5,2 и 15,5 %.

Для известняков комковатых в разрезе 1 характерны смешанный, порово-кавернозный и трещинно-кавернозный типы коллекторов (рис. 11). Значения проницаемости в пределах данного литотипа изменяются от 27,6 до 1278,9 мД, пористости – от 7,38 до 20,19 %. Из зоны развития трещинно-кавернозных коллекторов образцы на петрофизические исследования не были взяты, поэтому не представлены на гистограмме. Порово-кавернозный тип коллектора рассматриваемого литотипа имеет значения проницаемости в пределах от 134,6 до 342,0 мД, пористости – от 15,18 до 20,19 %, смешанного – проницаемость от 27,6 до 1278,9 мД, пористость от 7,38 до 14,34 %.

В разрезе 2 известняки комковатые представлены более плотными разностями. Для них характерен трещинно-кавернозный тип коллектора. Значения проницаемости в пределах

данного литотипа изменяются от 0,004 до 137,58 мД, пористости – от 2,06 до 7,17 %.

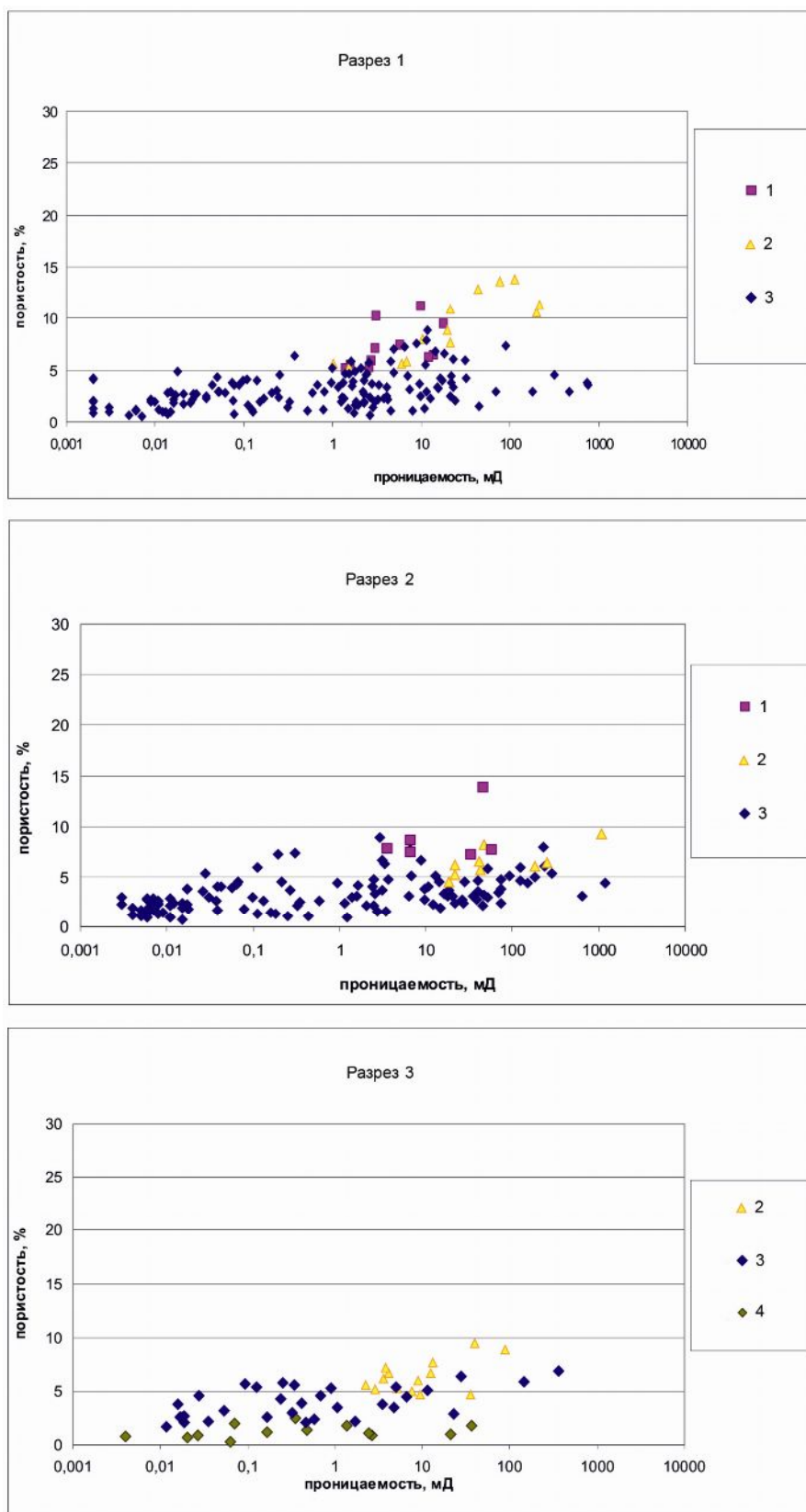


Рис. 9. Фильтрационно-емкостные свойства литотипа известняки сферово-водорослевые (баундстоуны)

Условные обозначения см. на рис. 8.

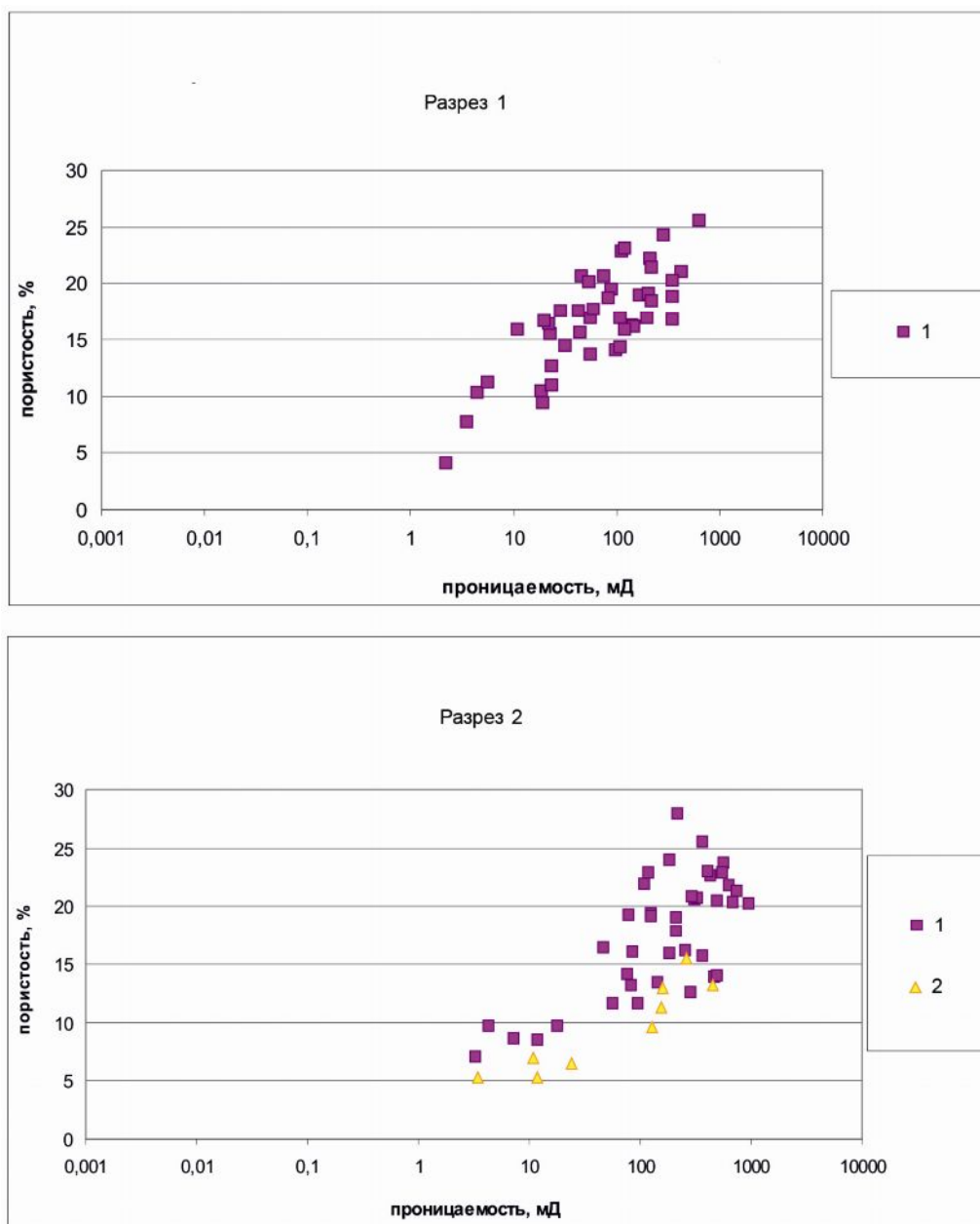


Рис. 10. Фильтрационно-емкостные свойства литотипа известняки сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем (баундстоуны)

Условные обозначения см. на рис. 8.

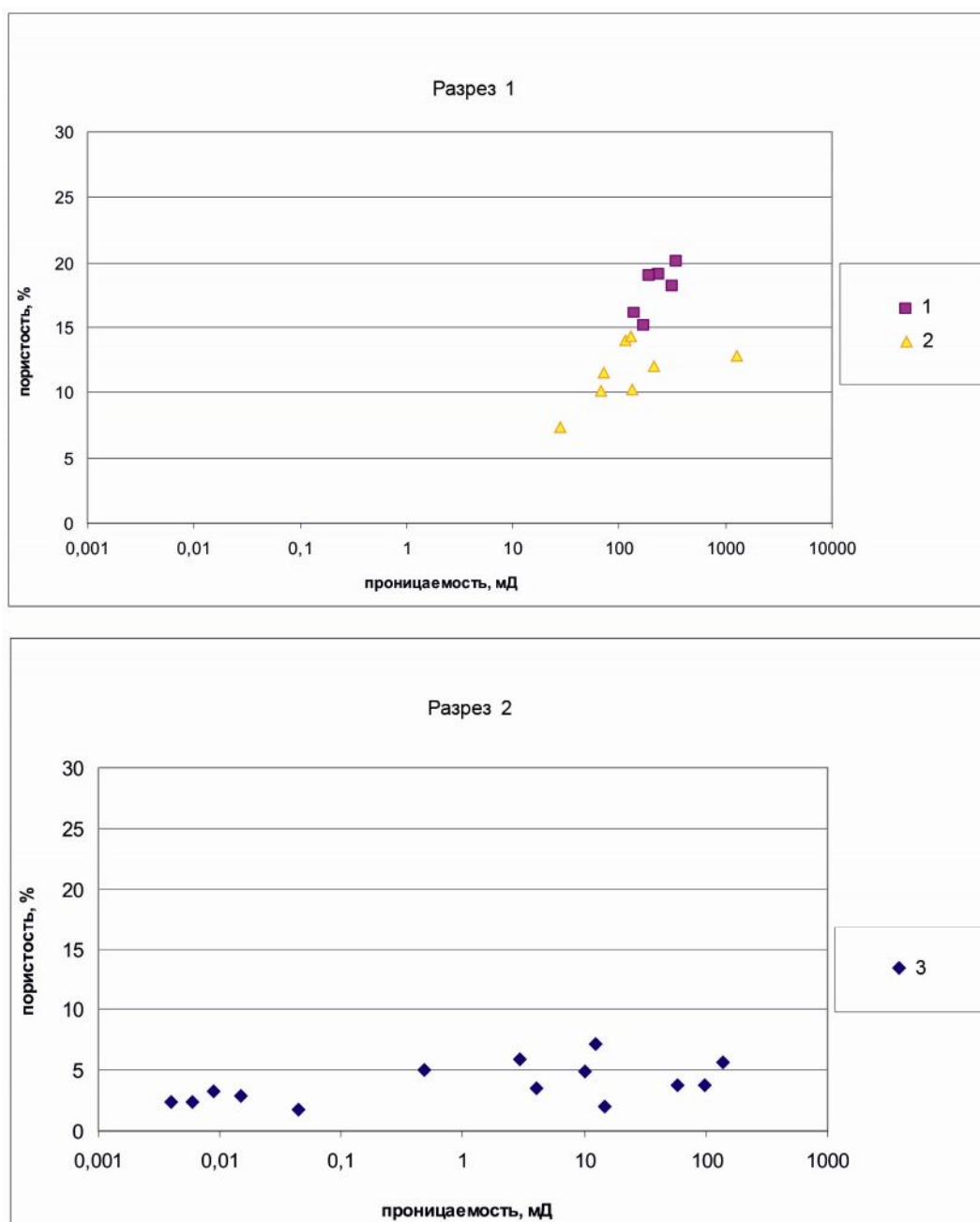


Рис. 11. Фильтрационно-емкостные свойства литотипа известняки комковатые (грейнстоуны)
Условные обозначения см. на рис. 8.

Фациальные обстановки осадконакопления фаменских отложений

Формирование исследуемых карбонатных отложений происходило в морском бассейне с нормальной соленостью и с благоприятными условиями для развития крупных биогермных построек. Следует отметить, что поздний девон характеризуется повсеместным вымиранием большого количества видов живых организмов, поэтому состав пород, их текстурно-структурные особенности весьма своеобразны. Количество вымерших морских животных на земле составило 3/4 видов, 1/2 родов и более 1/5 семейств [Буко, 1979]. Главную роль в карбонатном осадконакоплении стали играть водорослевые биогермы.

Согласно региональным лито-фациальным исследованиям в пределах изучаемой

территории, формирование отложений происходило в условиях окаймленного шельфа, который представлял собой мелководную смежную с сушей карбонатную платформу с отчетливо выраженным перегибом склона в сторону более глубоких вод [Wilson, 1975; Жемчугова, 2002]. На этом перегибе происходила локализация более или менее непрерывной цепи органогенных построек (биогермов), сложенных, в основном, сферово-водорослевыми баундстоунами, которые образовывали пачки большой мощности [Беляева, Корзун, Петрова, 1998]. Иногда в роли биогермостроителей выступали строматопоры, которые совместно с синезелеными водорослями могли формировать биоценоз. Для баундстоунов характерны большие значения первичной пористости. Это связано с тем, что прирост органогенной постройки всегда осуществлялся в приповерхностной зоне бассейна, формируя пористый каркас сложного строения. В подавляющем большинстве случаев эта зона находится выше базиса действия волн, в пределах которой происходит постоянная циркуляция вод, обеспечивающая интенсивную промывку внутрикаркасных поровых каналов.

На вершинах биогермов накапливались маломощные пачки грейнстоунов, за счет разрушения органогенной постройки под воздействием волн. Эти осадки также обладали высокой первичной пористостью, так как их накопление происходило в условиях активной гидродинамики.

Для карбонатной платформы были характерны относительно небольшие глубины осадконакопления [Маслов, 1973], и в результате незначительных колебаний уровня моря верхняя часть органогенной постройки попадала в приповерхностную зону с активной гидродинамикой волн, где происходило формирование сферово-водорослевых баундстоунов, в которых межкаркасное пространство заполнялось граноморфным материалом, представленном комками синезеленых водорослей. Иногда часть органогенной постройки оказывалась выше уровня моря, и подвергалась процессам выщелачивания под действием метеорных вод [Постседиментационные изменения, 1980]. Поры выщелачивания, при дальнейшем погружении органогенной постройки, могли заполняться комками или сгустками синезеленых водорослей. Совокупность этих факторов привела к тому, что сферово-водорослевые баундстоуны с граноморфным заполнителем характеризуются высокими значениями первичной пористости, связанной с процессами растворения, заполнение которых комками и сгустками синезеленых водорослей не привело к значительному снижению пористости.

При незначительном падении относительного уровня моря, на периодически осушаемых склонах биогермной постройки происходило формирование водорослевых матов (биостромов) - известняков строматолитовых. Строматолиты - сложные по морфологии и внутренней структуре, слоистые карбонатные образования, обязанные своим

происхождением жизнедеятельности определенных сообществ синезеленых водорослей, осаждающих и концентрирующих карбонатное и другое вещество различными способами [Фортунатова и др., 1985]. При отмирании синезеленых водорослей образовывались газообразные выделения в виде метана, аммиака, сероводорода [Шуйский, 1981], которые сливались, создавая пузыри или камеры различного размера и формы. Под нагрузкой вышележащего осадка камеры приобретали прихотливую конфигурацию. Изначально эти породы обладали небольшими значениями первичной пористости, связанными с фенестрами, которые были изолированы друг от друга.

Отмели, создаваемые биогермными постройками, ограничивали циркуляцию воды в примыкающей к суше зоне, формируя лагуну внутреннего шельфа. На склоне биогерма, обращенном в сторону лагуны, ниже базиса действия волн происходило накопление микросгустковых водорослевых известняков. Эти породы обладали невысоким первичным пустотным пространством, которое на стадии диагенеза залечивалось кальцитом.

Формирование отложений, которые слагают верхние части разрезов, происходило при трансгрессивной направленности изменения относительного уровня моря. В этой части разреза мы наблюдаем смену водорослевых баундстоунов известняками микросгустковыми, желваковыми, микрозернистыми, онколитовыми и узловато-слоистыми.

При подъеме относительного уровня моря синезеленые водоросли уже не могли самостоятельно строить биогермные тела, поэтому в этих условиях сохранили свое существование лишь органогенные постройки, сложенные строматопорами с подчиненным количеством синезеленых водорослей, которые развивались в непосредственной близости от изучаемой территории. Накопление продуктов разрушения строматопоровых биогермов, представленных желваковыми известняками, происходило на участках изучаемой территории, расположенных недалеко от строматопоровых органогенных построек. На участках, более отдаленных от строматопоровых биогермов происходило накопление известняков микросгустковых. При незначительном снижении уровня моря, на более приподнятых участках дна, происходило образование онколитовых известняков. Образование этих отложений связано с нарастанием синезеленых водорослей на органогенные остатки и комки пород. Так как онколитовые и желваковые известняки формировались при слабой гидродинамике, происходило частичное или полное заполнение межформенного пространства карбонатным илом и глинистым веществом. Незначительное первичное пустотное пространство полностью впоследствии было залечено кальцитом.

В периоды сильного подъема относительного уровня моря все отложения изучаемой территории перекрывались микрозернистыми глинистыми известняками. Накопление этих отложений происходило за счет осаднения карбонатного ила. Эти породы практически не

обладают первичным пустотным пространством.

Между сильными подъемами относительного уровня моря могло происходить его падение, при котором формировались узловато-слоистые известняки. Большое количество карбонатного ила и практически отсутствие органогенных остатков свидетельствуют о формировании отложений в относительно глубоководной обстановке. Эти отложения характеризуются отсутствием пустотного пространства.

Все изученные отложения в разной степени были подвержены постседиментационным преобразованиям, которые по-разному отразились на коллекторских свойствах пород.

Влияние постседиментационных процессов на коллекторские свойства пород

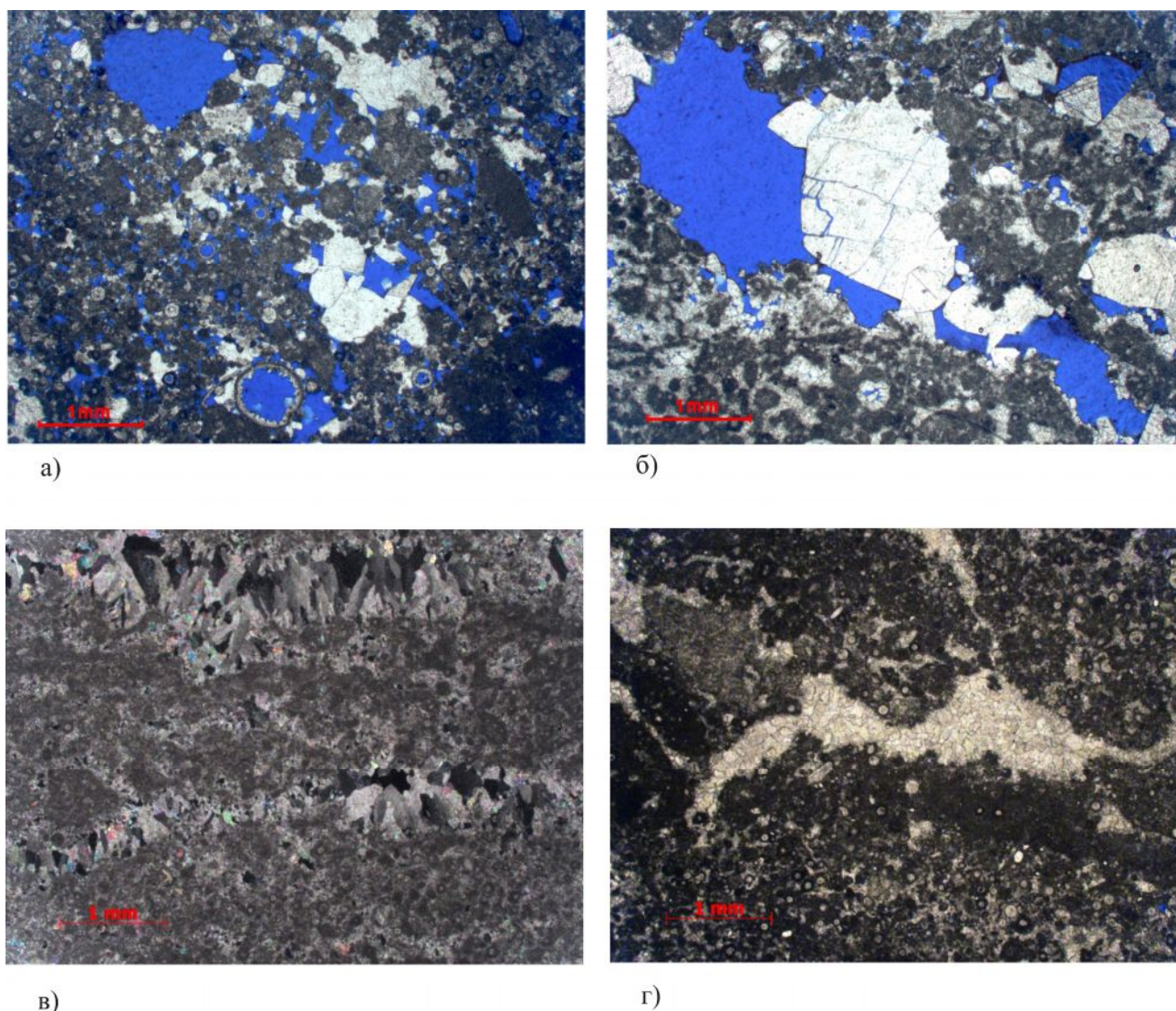
Пустотное пространство изучаемых отложений можно разделить на первичное и вторичное. Первичное пустотное пространство наблюдается внутри раковин и чехлов организмов, между органогенными формами, комками и сгустками водорослей, внутри и между фрагментами водорослевого и строматопорового каркаса. Вторичное пустотное пространство было образовано в результате постседиментационных преобразований породы, которые происходили на различных стадиях диагенеза, катагенеза и гипергенеза [Кузнецов, 1992].

В результате частого колебания относительного уровня моря, частично литифицированный известняк мог выводиться на дневную поверхность, где подвергался выщелачиванию [Leeder M.R., 1982]. Растворение карбонатного вещества в широком масштабе наблюдается в известняках сферово-водорослевых и комковатых. Доказательством растворения карбонатных первичных компонентов служат растворенные стенки элементов, срезание органогенных форм, а также вадозная цементация в пустотах выщелачивания (рис. 12а, б).

Растворенные неустойчивые карбонатные минералы заполняли пустотное пространство пород, находящихся в гидродинамической зоне циркуляции вод, расположенной под постоянным уровнем карстовых вод [Leeder, 1982]. Так, в известняках сферово-водорослевых мы можем наблюдать заполнение фенестр радиально-лучистым и блоковым кальцитом (рис. 12в, г).

На улучшение фильтрационных свойств значительно повлияло образование трещин. Так в известняках сферово-водорослевых наблюдается образование трещин, соединяющих каверны развитые по первичному фенестральному пустотному пространству.

Развитие разнообразных постседиментационных процессов привело к образованию различных типов коллекторов.



**Рис. 12. Постседиментационные изменения пород
фаменского возраста рассматриваемой территории**

а) Вадозная цементация в пустотах выщелачивания. б) Поры выщелачивания, частично заполненные кристаллами кальцита. в) Заполнение фенестрального пустотного пространства радиально-лучистым кальцитом. г) Заполнение фенестрального пустотного пространства блоковым кальцитом.

Увеличение фотографий 2,5х.

Заключение

Литологическое расчленение пород, характеристика коллекторских свойств основных литотипов и определение литологического состава пород-коллекторов позволили выявить связь между коллекторскими свойствами отложений и условиями образования и преобразования пород.

Наилучшими коллекторскими свойствами в изучаемом разрезе обладают баундстоуны: известняки сферово-водорослевые и известняки биогермные сферово-водорослевые с граноморфным заполнителем. Известняки комковатые (грейнстоуны) также обладают хорошими фильтрационно-емкостными свойствами, но мощности этих отложений

относительно разрезов незначительны. Формирование коллекторов в данных типах пород связано с образованием отложений в условиях активной гидродинамики (выше базиса действия волн), а также увеличение пустотного пространство произошло за счет активных процессов выщелачивания и трещинообразования.

Остальные разности пород характеризуются низкими значениями пористости и проницаемости. Их осадконакопление происходило ниже базиса действия волн, и все первичное пустотное пространство было заполнено карбонатным илом.

Коллекторы фаменского возраста изучаемой площади представлены трещинно-кавернозным, порово-кавернозным и в меньшей степени смешанным типами. Для известняков сферово-водорослевых характерен, в основном, трещинно-кавернозный тип коллектора, реже – смешанный и порово-кавернозный. Для известняков биогермных сферово-водорослевых с граноморфным заполнителем характерен порово-кавернозный тип коллектора, реже – смешанный. Среди известняков комковатых встречаются как порово-кавернозные и смешанные типы коллекторов, так и трещинно-кавернозный. При формировании трещинно-кавернозного типа коллектора важную роль играли процессы трещинообразования и растворения. Выщелачивание проходило по стенкам трещин и по первичному незалеченному фенестровому пустотному пространству.

Формирование порово-кавернозного и смешанного типов коллекторов связано с первичным пустотным пространством, которое было увеличено за счет процессов выщелачивания, а в смешанном типе коллектора еще и с трещинообразованием.

Для изучаемой площади характерно чередование пористых и плотных пород, что значительно затрудняет разработку месторождений данной территории. Все выявленные особенности изучаемой территории следует учитывать при разработке месторождений.

Литература

Ахметшина Л.З., Гибишман Н.Б., Куандыков Б. М., Ускова Н.А., Кононец В.И., Баймагамбетов Б.К., Кухтинов Д.А., Дегтярева Л.В. Атлас палеонтологических остатков, микрофаций и обстановок осадконакопления фаменско-каменноугольных отложений Прикаспийской впадины (Казахстанская часть). – Алматы. - 2007. – 476 с.

Багринцева К.И. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. - М. - 1977. – 231 с.

Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. – М.: РГГУ. - 1999. – 285 с.

Беляева Н.В., Корзун А.Л., Петрова Л.В. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы. – СПб.: Наука. - 1998. – 154 с.

Буко А. Эволюция и темпы вымирания. – М.: Мир. - 1979. – 308 с.

Жемчугова В.А. Природные резервуары в карбонатных формациях Печорского

нефтегазоносного бассейна. - М.: изд-во Московского государственного горного университета. - 2002. – 243 с.

Кузнецов В.Г. Природные резервуары нефти и газа карбонатных отложений. - М.: Недра. - 1992. – 320 с.

Маслов В.П. Атлас породообразующих организмов (известковых и кремневых). - М.: Наука. - 1973. – 265 с.

Постседиментационные изменения карбонатных пород и их значение для историко-геологических реконструкций. Ответственный редактор Кузнецов В.Г. – М.: Наука. - 1980. – 96 с.

Фортулатова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. – М.: ВНИГНИ. - 2005. – 440 с.

Шуйский В.П. Фациальная природа Фамен-Турнейских отложений киенкопского вала. - Тезисы докладов АН СССР «Литология и условия образования докембрийских и палеозойских отложений Урала». - 1981. - С. 54-71.

Leeder M.R. Sedimentology. Process and product. London: Allen and Unwin, 1982, 384 p.

Wilson J.L. Carbonate facies in Geologic History. Berlin: Springer-Verlag, 1975, 471 p.

Musikhin A.D.¹, Osintseva N.A.², Sival'neva O.V.³, Kitaeva I.A.⁴

Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia, ¹geolog@bk.ru,
²osintsevana@mail.ru, ³ejikow@gmail.com, ⁴irina_kitaeva@bk.ru

EASTERN EDGE OF KHOREYVER PETROLEUM SUB-BASIN (TIMAN-PECHORA BASIN) - PETROGENESIS OF THE FAMENNIAN RESERVOIRS

The relationship between Famennian sedimentation conditions and reservoir rocks properties was studied. As a result of supergene processes, initially porous rocks were leached; this lead to significant improvement of filtration-capacitive properties. Non permeable rocks became permeable reservoir rocks only as a result of cracking and dissolution processes with the formation of cavities and leaching pores.

Key words: Famennian rocks, reservoir property, types of reservoirs, Khoreyver petroleum sub-basin, Timan-Pechora basin.

References

- Akhmetshina L.Z., Gibshman N.B., Kuandykov B. M., Uskova N.A., Kononets V.I., Baymagambetov B.K., Kukhtinov D.A., Degtyareva L.V. *Atlas paleontologicheskikh ostatkov, mikrofatii i obstanovok osadkonakopleniya famensko-kamennougol'nykh otlozheniy Prikaspiyskoy vpadiny (Kazakhstanskaya chast')* [Atlas of fossil remains, microfacies and sedimentation environments of the Famennian-Carboniferous deposits of the Pre-Caspian Basin (Kazakhstan part)]. Almaty, 2007, 476 p.
- Bagrintseva K.I. *Karbonatnye porody – kollektory nefti i gaza* [Carbonate rocks as oil and gas reservoirs]. Moscow, 1977, 231 p.
- Bagrintseva K.I. *Usloviya formirovaniya i svoystva karbonatnykh kollektorov nefti i gaza* [Conditions of formation and properties of carbonate reservoirs of oil and gas]. Moscow: RGGU, 1999, 285 p.
- Belyaeva N.V., Korzun A.L., Petrova L.V. *Model' sedimentatsii fransko-turneyskikh otlozheniy na severo-vostoke Evropeyskoy platformy* [Model of sedimentation of the Frasnian-Tournaisian deposits in the north-east of the European platform]. Saint Petersburg: Nauka, 1998, 154 p.
- Buko A. *Evolutsiya i tempy vymiraniya* [Evolution and extinction rate]. Moscow: Mir, 1979, 308 p.
- Fortunatova N.K., Kartseva O.A., Baranova A.V., Agafonova G.V., Ofiman I.P. *Atlas strukturnykh komponentov karbonatnykh porod* [Atlas of the structural components of carbonate rocks]. Moscow: VNIGNI, 2005, 440 p.
- Kuznetsov V.G. *Prirodnye rezervuary nefti i gaza karbonatnykh otlozheniy* [Natural oil and gas reservoirs of carbonate deposits]. Moscow: Nedra, 1992, 320 p.
- Leeder M.R. *Sedimentology. Process and product*. London: Allen and Unwin, 1982, 384 p.
- Maslov V.P. *Atlas porodoobrazuyushchikh organizmov (izvestkovykh i kremnevyykh)* [Atlas of rock-forming organisms (calcareous and siliceous)]. Moscow: Nauka, 1973, 265 p.
- Postsedimentatsionnye izmeneniya karbonatnykh porod i ikh znachenie dlya istoriko-geologicheskikh rekonstruktsiy* [Postsedimentation changes of carbonate rocks and their significance for historical and geological reconstructions]. Editor Kuznetsov V.G. Moscow: Nauka, 1980, 96 p.
- Shuyskiy V.P. *Fatsial'naya priroda Famen-Turneyskikh otlozheniy kienkopskogo vala* [Facies nature of the Famennian-Tournaisian deposits of Kienkopsky shaft]. Abstracts of AN SSSR «Litologiya i usloviya obrazovaniya dokembriyskikh i paleozoyskikh otlozheniy Urala» [Lithology and formation conditions of the Precambrian and Paleozoic deposits of the Urals], 1981, 54-71 p.
- Wilson J.L. *Carbonate facies in Geologic History*. Berlin: Springer-Verlag, 1975, 471 p.
- Zhemchugova V.A. *Prirodnye rezervuary v karbonatnykh formatsiyakh Pechorskogo neftegazonosnogo basseyna* [Natural reservoirs in carbonate formations of the Pechora oil and gas basin]. Moscow: Moscow State Mining University, 2002, 243 p.