

УДК 551

О НЕКОТОРЫХ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ФОРМАХ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

© 2015 г. В. П. Морозов¹, А. Н. Кольчугин¹, В. Г. Кузнецов²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008 Казань, ул. Кремлевская, 18;
E-mail: vladimir.morozov@kpfu.ru

²Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина
119991 Москва, Ленинский проспект, 65;
E-mail: vgkuz@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.10.2014 г.

Рассмотрены примеры избирательного выщелачивания компонентов карбонатных пород. В биокластовых известняках с поровым типом цемента растворяется микрозернистый кальцит цемента. Раковины и микробные сгустки благодаря наличию в них белковоподобного материала не затронуты этим процессом. Напротив, раковины первично арагонитового состава легко и быстро растворяются, а образовавшийся карбонат дополнительно цементирует матрицу породы.

DOI: 10.7868/S0024497X15060087

Выщелачивание и сопутствующее ему кавернообразование являются одним из важнейших процессов вторичных преобразований карбонатных пород. Они, в частности, формируют пустотное пространство, создавая тем самым коллекторский потенциал этих пород или существенно повышая его.

Как правило, результаты этих процессов изучаются и описываются в достаточно общей форме, когда фиксируется само наличие образующихся каверн, их количество, форма, связанность между собой и т.д. Само выявление всех или хотя бы основных факторов, способствующих этим процессам, имеет важное значение для прогноза формирования коллекторов подобного типа, возможной оценки их фильтрационно-емкостных свойств, столь необходимых как на стадии подсчета запасов и создания оптимальной системы разработки залежи, так и в процессе ее эксплуатации.

Особое значение подобная проблема имеет для старых нефтеносных районов, в которых новые месторождения и вновь открываемые залежи относительно невелики, а старые находятся на заключительных стадиях разработки с падающей добычей и необходимостью применения вторичных и даже третичных методов добычи.

Вместе с тем, специальные исследования показывают, что существует некоторая селективность, избирательность растворения и выноса составных частей породы.

В данном сообщении приводятся некоторые результаты исследований в этом направлении.

Они основаны главным образом на изучении карбонатных пород турнейского и башкирского ярусов, соответственно, нижнего и среднего карбона ряда месторождений Волго-Уральской провинции с привлечением материалов других районов и другого возраста.

По результатам главным образом оптико-микроскопических исследований в карбонатных отложениях каменноугольного возраста было выделено и описано несколько структурно-генетических типов известняков [Кольчугин и др., 2013].

По-видимому, наиболее распространенными являются органогенно-обломочные (биокластовые) известняки, среди которых выделяются две разновидности – биокластово-зоогенные и биокластово-фитогенные. Форменные элементы первых сложены в основном остатками раковин фораминифер и их обломков, реже встречаются обломки скелетов других организмов. Среди других форменных элементов присутствуют пеллеты – сгустки микритового материала. Происхождение последних, скорее всего, различно. В основном это, видимо, гранулированные остатки раковин фораминифер, о чем писала еще И.В. Хворова [1958], частично копролиты; некоторые, возможно, представляют собой микробные образования – тромболиты. По характеру цементации они подразделяются на две группы: с поровым цементом обычно микритовой структуры (рис. 1а) и с базальным, преимущественно яснокристаллическим (см. рис. 1б).

В биокластово-фитогенных известняках форменные элементы представлены соответственно

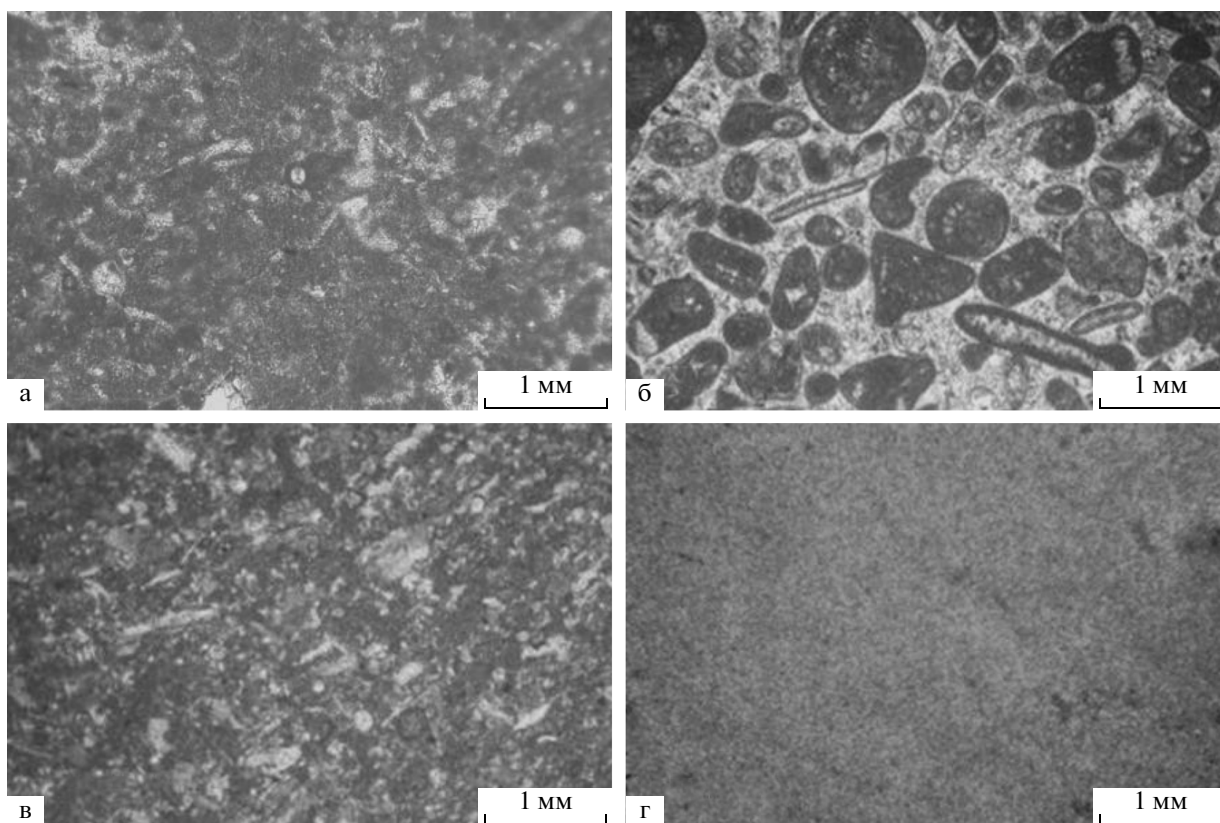


Рис. 1. Основные типы известняков.

а, б - биокластово-зоогенные: а – с поровым типом цементации, б – с базальным типом цементации; в – биокластово-фитогенные; г – пелитоморфные.

остатками водорослей, которые сцементированы микрозернистым материалом с базальным типом цементации (см. рис. 1в).

Достаточно широко представлены известняки пелитоморфные с тем или иным, но в целом незначительным количеством органогенного детрита (см. рис. 1г). В существенно меньших количествах встречаются оолитовые, литокластовые и строматолитовые разновидности.

Большинство пород в целом не являются хорошими коллекторами (рис. 2). Большая часть значений пористости варьирует в интервале 2.5–7.5%, значительно реже достигая 10%, а проницаемость составляет не более 5×10^{-3} мкм². В биокластово-зоогенных известняках картина несколько иная. Здесь, наряду с породами с аналогичными значениями фильтрационно-емкостных свойств, имеется совокупность пород с пористостью 12.5–20%, и проницаемостью более 200×10^{-3} мкм².

Дело в том, что практически все известняки обладают незначительной межзерновой пористостью, причем размеры пор весьма малы, что и предопределяет крайне низкие величины проницаемости. В биокластово-зоогенных известняках с поровым характером цементации наряду с по-

добным типом пустотного пространства имеются связанные между собой каверны, которые и определяют повышенные значения пористости и особенно проницаемости (рис. 3).

В связи с этим возникает вопрос, почему выщелачивание и кавернообразование проявляется именно в этих породах и каковы особенности этих процессов.

Процессы подземного выщелачивания карбонатных пород, то есть растворения и выноса определенного количества вещества, достаточно хорошо изучены. Они описаны, в частности, в работах И.Г. Кисина и С.И. Пахомова [1967], Н.А. Минского [1979], Б.К. Прошлякова с соавторами [1987], Д.С. Соколова [1962] и обобщены в посвященной геохимии катагенеза главе капитальной монографии В.Н. Холодова [2006].

Суть процессов заключается в том, что при наличии в пластовых водах CO₂ последний реагирует с карбонатом кальция с образованием растворимого бикарбоната, который и выносится этими водами. Источники CO₂ могут быть различны, важно не только, а часто не столько его абсолютное количество, сколько определенные термобарические условия, при которых углекислота ста-

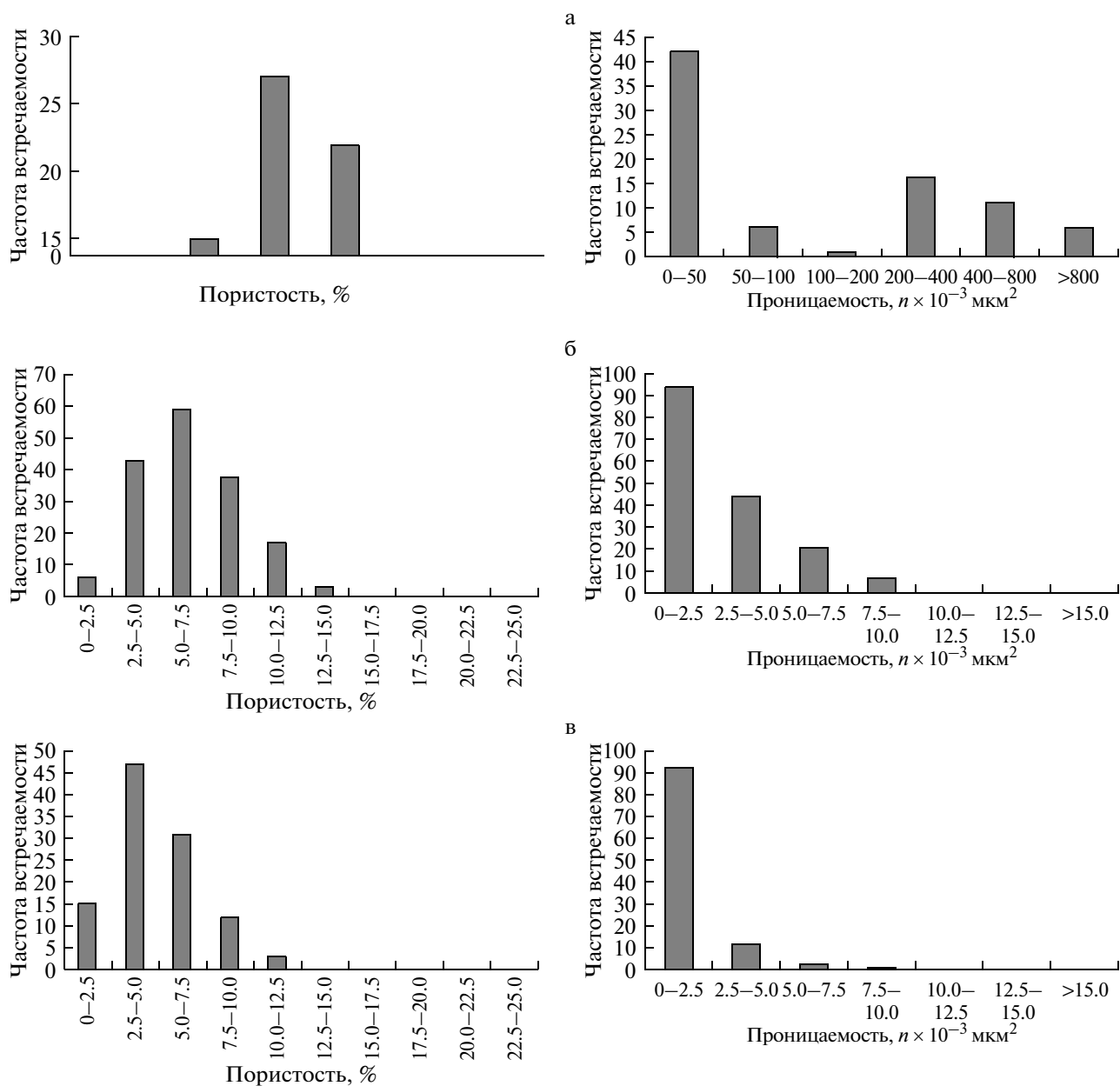


Рис. 2. Гистограммы распределения значений пористости и проницаемости отдельных типов известняков. а – биокластово-зоогенные; б – биокластово-фитогенные; в – пелитоморфные.

новится агрессивной и реализуется процесс растворения и последующего выноса карбонатного вещества.

Важной особенностью подобного выщелачивания является то, что растворимость карбонатов в определенной степени зависит и от их структуры. В частности, установлено, что тонкодисперсные компоненты более растворимы, поэтому пластовые воды могут быть недонасыщены по отношению к карбонатному материалу микрочастиц и перенасыщены по отноше-

нию к крупным кристаллам, что ведет к растворению первых и дополнительному росту вторых.

Необходимым условием протекания процесса выщелачивания, то есть растворения и выноса вещества, является наличие открытой системы, где происходит фильтрация вод, способных растворять карбонатный материал и выносить его за пределы данной породы. Подобное возможно лишь в изначально пористых и проницаемых породах. Биокластово-зоогенные известняки, где форменные элементы соприкасаются друг с другом, опираются друг на друга, как раз и обладают подобны-

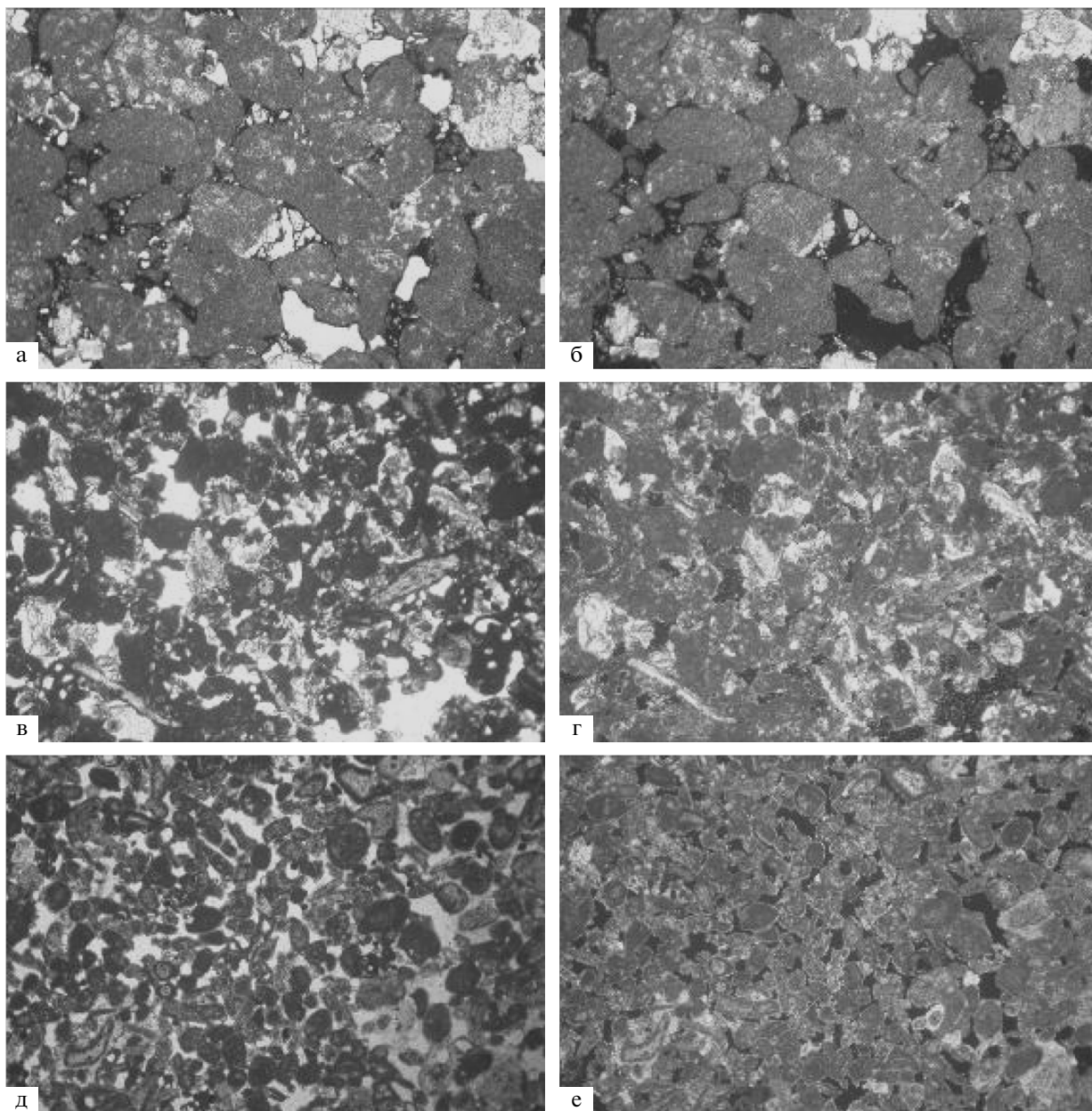


Рис. 3. Межформенные пустоты выщелачивания в биокластово-зоогенных известняках с поровым типом цемента. а, в, д – николи II; б, г, е – николи X.

ми свойствами – пористостью и достаточной проницаемостью, где эти выщелачивание не только возможно, но и происходит в реальности.

Вместе с тем, в изученных отложениях установлена и определенная специфика, а именно избирательное растворение микрозернистого кальцита разного происхождения. Растворению подвержен только кальцит цемента – микрозернистый материал между форменными элементами – остатками раковин. Сами же раковины не растворяются, стенки их, сложенные микрозернистым и даже пелито-

морфным карбонатом, сохраняются практически неизменными.

Для решения вопроса о причине сохранения от растворения микрозернистого кальцита остатков раковин было проведено микрондирование вещественного состава карбонатного материала раковин и цемента. Элементный состав весьма близок стехиометрическому составу чистого кальцита (рис. 4), поэтому растворение происходит согласно стандартным правилам химии.

В отличие от состава цемента, в стенках раковин повышенное по отношению к кальцию и кис-

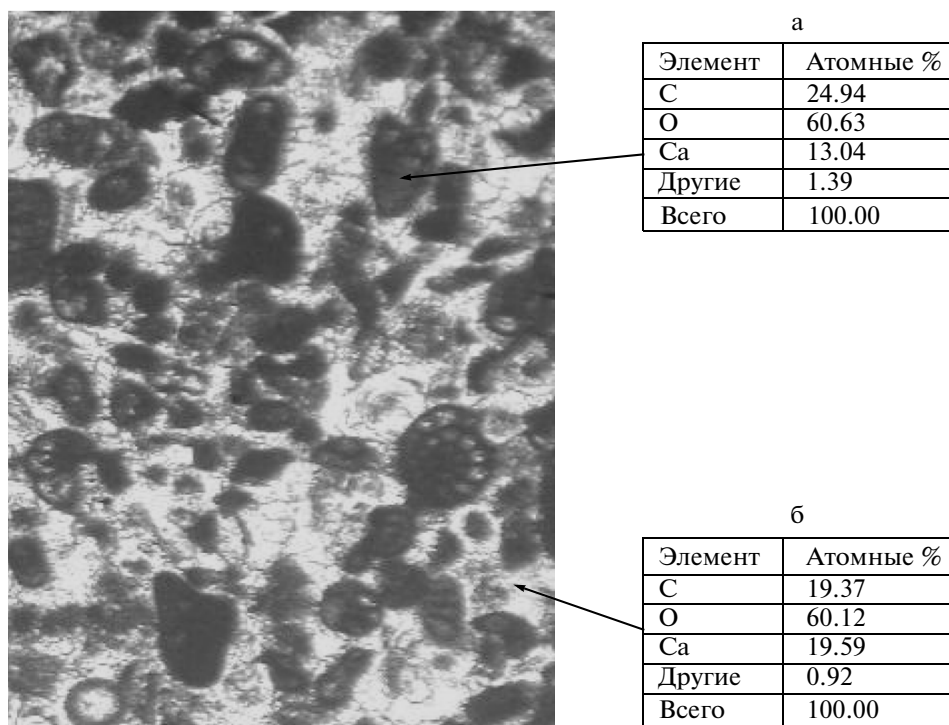


Рис. 4. Элементный состав стенки раковины фораминиферы (а) и янокристаллического кальцита в биокластово-зоогенном известняке (б).

лороду содержание углерода, что свидетельствует о присутствии в них углерода иной, не минеральной, а биогенной природы. Наличие в стенках органического вещества белковой природы установлено также методом электронного парамагнитного резонанса. В этом случае органическое вещество обволакивает микроскопические кристаллики кальцита, препятствуя их растворению.

Аналогичная ситуация, видимо, имеет место и в случае микробных ступков, что предохраняет их от растворения.

Подобное предположение "... что ингибция растворения карбонатов в природе в большинстве случаев обусловлена скорее физическими пленками органического вещества, чем его химической адсорбцией" приводится в коллективной монографии по минералогии и химии карбонатов [Карбонаты..., 1987, с. 314].

При этом, после растворения кальцита цемента и выноса растворенного вещества, сохраняется созданный биокластами и относительно целыми раковинками прочный каркас, который препятствует уплотнению как за счет возрастающего геостатического давления при погружении, так и при отмеченном выше выносе части цементирующего вещества, что и определяет появление соответствующей каверновой пористости. Таким образом, формируется межформенный (interpar-

ticle – по западной терминологии) тип пустот [Choquette, Pray, 1970].

Вместе с тем установленное для каменноугольных отложений преимущественное выщелачивание цемента при сохранении карбонатных раковин, видимо, не является универсальным явлением. Известны примеры, когда, напротив, растворяются раковины, а цементирующая часть составляет относительно плотную матрицу. Таковы, например, некоторые третичные известняки южного обрамления Восточно-Европейской платформы (рис. 5). В западной литературе подобный тип пустот получил специальное название – молдик (moldic) [Choquette, Pray, 1970].

Дело, видимо, в минеральном составе скелетных органических остатков. Растворяются лишь те раковины, которые сложены арагонитом, поскольку растворимость последнего выше растворимости кальцита.

Проявление подобного типа выщелачивания, видимо, ограничено двумя обстоятельствами.

Во-первых, оно происходит очень рано, в диagenезе, поскольку арагонит в осадках достаточно быстро перекристаллизуется в кальцит. При этом образовавшийся растворенный карбонат переоткладывается здесь же, дополнительно способствуя формированию плотной матрицы – цемента.

Во-вторых, формирование пустотного пространства подобного типа в той или иной степени

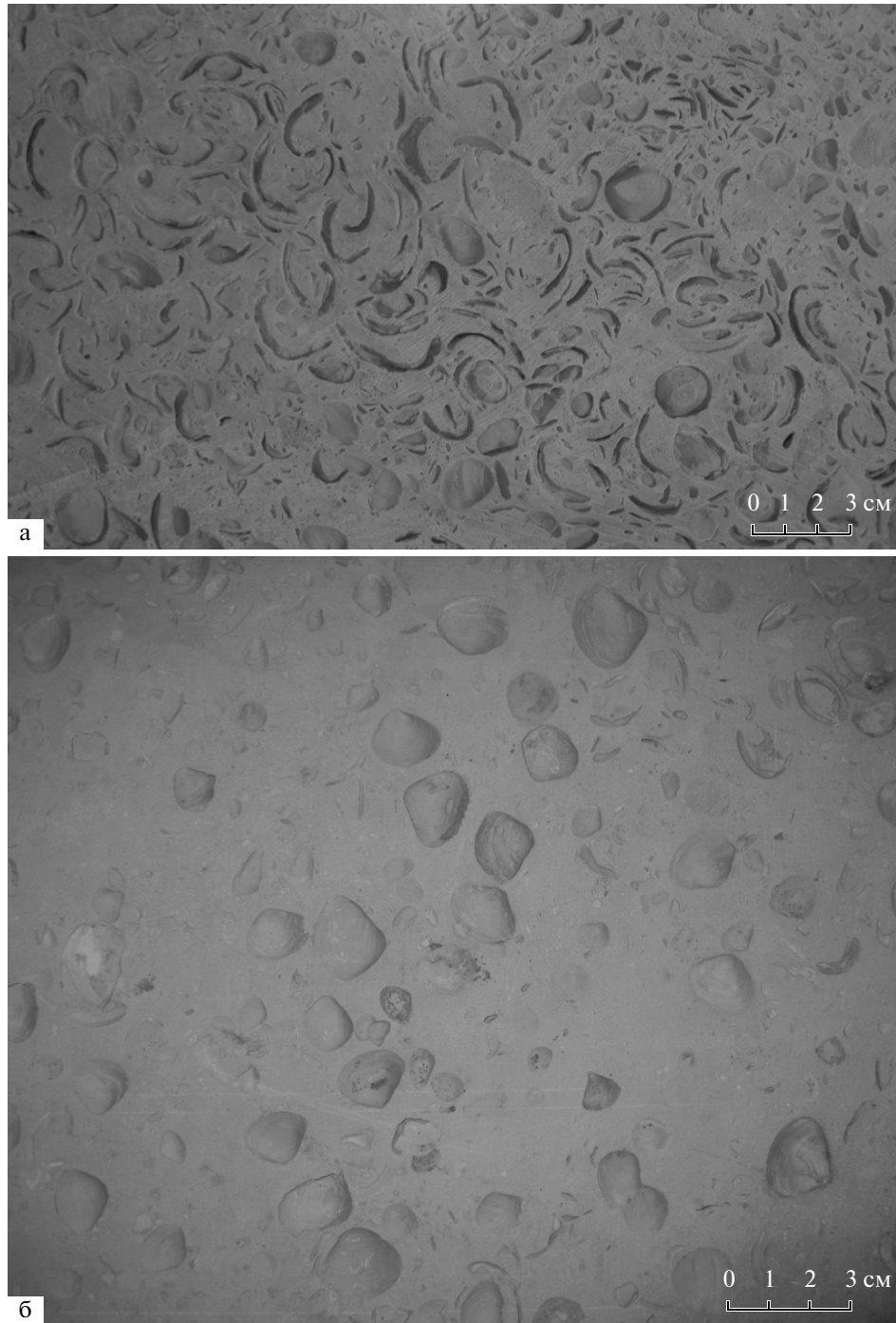


Рис. 5. Пустоты, образовавшиеся в результате растворения раковин пеллеципод.
а – сечение перпендикулярно слоистости, б – то же параллельно.

обусловлено изменениями минерального состава скелетов в геологической истории Земли – арагонитовые скелеты появились позже кальцитовых, где-то со второй половины палеогена, а по некоторым данным арагонит как основной или по крайней мере важный минерал карбонатных осадков (и скелетов соответственно) формировался периодически, и один из таких периодов

приходится на глобальное похолодание позднего карбона – ранней перми [Flügel, 2004; Sanberg, 1983]. Правда, сохранение подобных пустот выщелачивания раковин в отложениях этого возраста достаточно проблематично.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального

университета в целях повышения его конкурентноспособности среди ведущих мировых научно-исследовательских центров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Карбонаты.* Минералогия и химия. М.: Мир, 1987. 496 с.
- Кисин И.Г., Пахомов С.И.* О возможности генерации углекислоты в недрах при умеренно высоких температурах // Докл. АН СССР. 1967. Т. 174. № 2. С. 451–454.
- Кольчугин А.Н., Морозов В.П., Королев Э.А. и др.* Типовые разрезы карбонатных пород башкирского яруса юго-востока Республики Татарстан и строение залежей нефти // Нефтяное хозяйство. 2013. № 11. С. 84–86.
- Минский Н.А.* Закономерности формирования поясов оптимальных коллекторов. М.: Недра, 1979. 398 с.
- Прошляков Б.К., Гальянова Т.И., Пименов Ю.Г.* Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах. М.: Недра, 1987. 200 с.
- Соколов Д.С.* Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 382 с.
- Хворова И.В.* Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 170 с.
- Холодов В.Н.* Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
- Choquette Ph.W., Pray L.C.* Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1970. V. 54. № 2. P. 207–250.
- Fluegel E.* Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin, Heidelberg: Springer, 2004. 976 p.
- Sandberg P.A.* An oscillating trend in Phanerozoic nonskeletal carbonate mineralogy // Nature. 1983. V. 305. P. 19–22.