

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И УКРЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

В.А.Лисенко, А.И.Буренин

(Одесская Государственная Академия Строительства и Архитектуры,  
г. Одесса, Украина)

Строительство значительной части городов Северного Причерноморья Украины и, в частности, г. Одессы, осуществлялось преимущественно из камня-ракушечника, широко распространенного на юге и частично на юго-западе Украины.

Натурные обследования зданий и сооружений, находящиеся длительное время в требуемых эксплуатационных условиях, подтверждают долговечность и сохранность камня из пильных известняков в кладке наружных и внутренних конструкций зданий. В то же время установлено, что в незащищенных конструкциях при местном увлажнении и одновременном интенсивном действии неблагоприятных атмосферных и других факторов происходит выветривание и разрушение.

В силу отмеченного возникает необходимость защиты, сохранения и структурного укрепления ракушечника в зданиях и сооружениях исторической застройки.

Анализ различных видов воздействий показывает, что основными факторами разрушения камня-ракушечника в архитектурно-исторических объектах являются химическая и физико-химическая коррозия из-за повышенной концентрации вредных веществ в окружающей среде. Серьезную роль в процессе разрушения камня-ракушечника играют климатические условия, химический состав и природа камня, расположение объекта относительно транспортных магистралей и промпредприятий, дым, засоленность воды, миграция влаги. Соединяясь с атмосферной влагой,  $SO_2$  превращается в серную кислоту, которая реагирует с известняком, образуя гипс и сульфат магния. При испарении влаги соли выступают на поверхности камня, «притягивают» сажу, начинают кристаллизоваться, давая новые комбинации с различными физическими свойствами; поверхность камня покрывается черными корками, трескается и отваливается. В ряде случаев поверхность разрушается до порошкообразного состояния, теряя прочность и художественную форму. На поверхности разрушающихся камней наблюдается от 5-32%  $SO_3$  и 35-38% водорастворимых солей.

На памятниках архитектуры Одессы, построенных из камня-ракушечника, как правило, наблюдаются все три степени коррозии, известные из мирового опыта наблюдения за реставрируемыми объектами: первая степень - образование на поверхности камня плотной чёрной корки, содержащей от 4 до 32%  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$  и сажу ( $\text{SO}_3$  - 15-30%); вторая степень - отслаивание чёрной корки и образование под ней порошкообразной массы разрушенного (деградировавшего) камня, осыпающегося от прикосновения ( $\text{SO}_3$  - 8-15%); третья степень - утрата архитектурной ценности и конструктивной стабильности формы ( $\text{SO}_3$  - 5-8%).

Физико-механические характеристики и эксплуатационная долговечность естественного камня в значительной степени определяются их общей повреждённостью. Обследованием ряда зданий, памятников архитектуры и инженерных сооружений в г. Одессе установлено, что основными видами повреждений камня-ракушечника являются выветривание: коррозионное разрушение поверхностного слоя под воздействием рассмотренных выше факторов, расслоение кладки, вывалы камней в арках, трещины различной величины раскрытия и протяженности.

Весьма распространённым видом повреждений являются трещины. При этом трещины могут быть классифицированы на наследственные (трещины, возникшие в природном массиве и появившиеся в процессе добычи и переработки камня) и эксплуатационные (трещины, возникшие в период эксплуатации камня). Вне зависимости от предыстории формирования общей повреждённости камня в сооружении, дальнейшая его надёжность эксплуатации определяется количеством, распределением, ориентированием и длиной трещин. Таким образом, трещины являются важным структурным параметром, который определяет физико-механические свойства и эксплуатационную надёжность объектов из каменных материалов.

Анализ известных в мировой и отечественной практике методов укрепления и защиты каменных материалов показывает, что повышение долговечности и эксплуатационной надёжности камня-ракушечника может быть достигнуто обработкой его различными органическими и неорганическими веществами (консервантами). Пропитка поверхности камня укрепляющими консервантами приостанавливает процессы разрушения камня.

Известны примеры использования некоторых видов воска и смол в практических работах по защите разрушенного камня. Разрушившийся известняк может быть закреплён с помощью плавиковой кислоты; хорошие результаты получены при применении солей кремнефтористой кислоты, этилсиликата; для пропитки пористых материалов используют синтетические мономеры и различные типы синтетических полимеров. Повышение механических

характеристик камня или восстановление их до нормируемого уровня можно достичь путем скрепления берегов трещин или притушения радиуса устья за счет инъектирования в материю связующих на основе неорганических или органических вяжущих.

Весьма эффективно для обработки каменной кладки использование кремнийорганических материалов (силиконов), обладающих комплексом ценных физико-механических характеристик и обеспечивающих гидрофобизацию и структурное укрепление камня. Для этих целей используют силиконовые олигомеры, органосиликонаты натрия, органосилоксаны, полиорганосилоксаны и др.

Исследования по химической защите капиллярно-пористого известняка-ракушечника путем обработки его поверхности различными структурно-укрепляющими и гидрофобизирующими составами проведены на шести сериях образцов камня-ракушечника, отобранного из шести разных зданий и сооружений г. Одессы приблизительно одного периода застройки. Для этих целей были использованы следующие композиционные материалы:

- для структурного укрепления: составы на основе эфиров ортокремневой кислоты - Steinfestiger - OH (STF) продукт фирмы REDI (Германия, г. Гамбург) и этилсиликат - 40 (ЭТ-40), состав на основе сульфата алюминия (ФХ-1), состав на основе фосфата натрия (ФХ-2);
- для гидрофобной обработки: водная эмульсия метил силоксана эмульгатора-КЭ-30-04 (ГФ-1), поливинилацетатный раствор - ПВА (ГФ-2); водный раствор силикатов Na и K -  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (ГФ-3), водный раствор ГКЖ-13 (ГФ-4), водный раствор ГКЖ-11 (ГФ-5).

Исследуемые составы благодаря низкой вязкости глубоко проникают в камень и насыщают его, отвечают комплексу требований, предъявляемых к реставрационным материалам. Обработка образцов указанным укрепляющими и гидрофобизирующими составами проводилась как кистевым способом с поверхности, так и методом капиллярного подсоса.

После обработки образцов из камня-ракушечника в соответствии с действующими стандартами определялись следующие физико-механические характеристики: плотность, водопоглощение при полном погружении, коэффициент водопоглощения при капиллярном подсосе, прочность при сжатии, скорость прохождения ультразвука.

Как показывают исследования, в результате физической адсорбции гидрофобизирующих составов камнем и химической фиксации адсорбированных молекул гидрофобизатора поверхности пор и капилляров приобретают стойкость в условиях капиллярного подсоса, испарения растворов солей, а также периодического увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания. При обработке камня гидрофобизаторами на 10-30 %

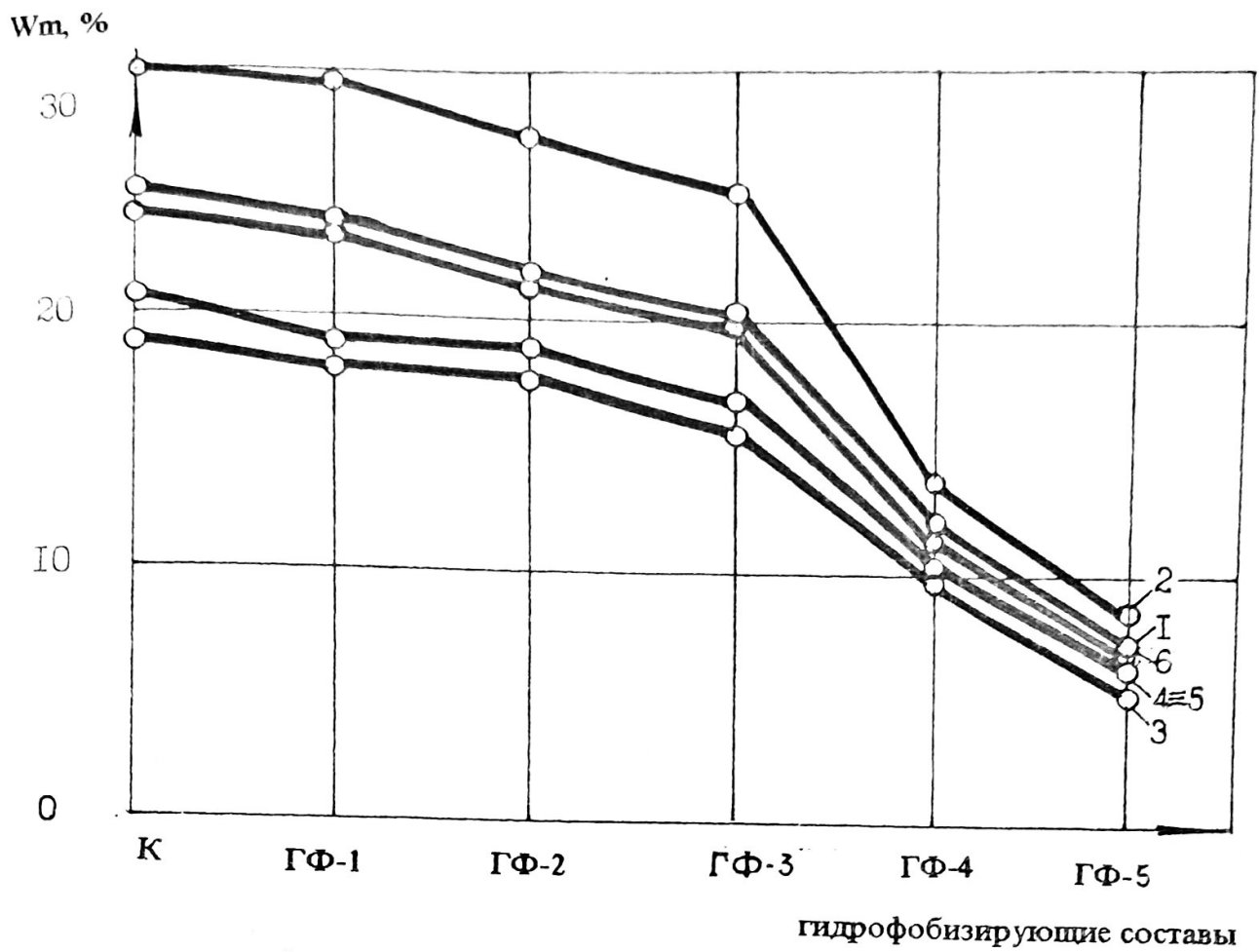


Рис. 1 Изменение водопоглощения при полном погружении известняка-ракушечника от вида гидрофобизирующего состава

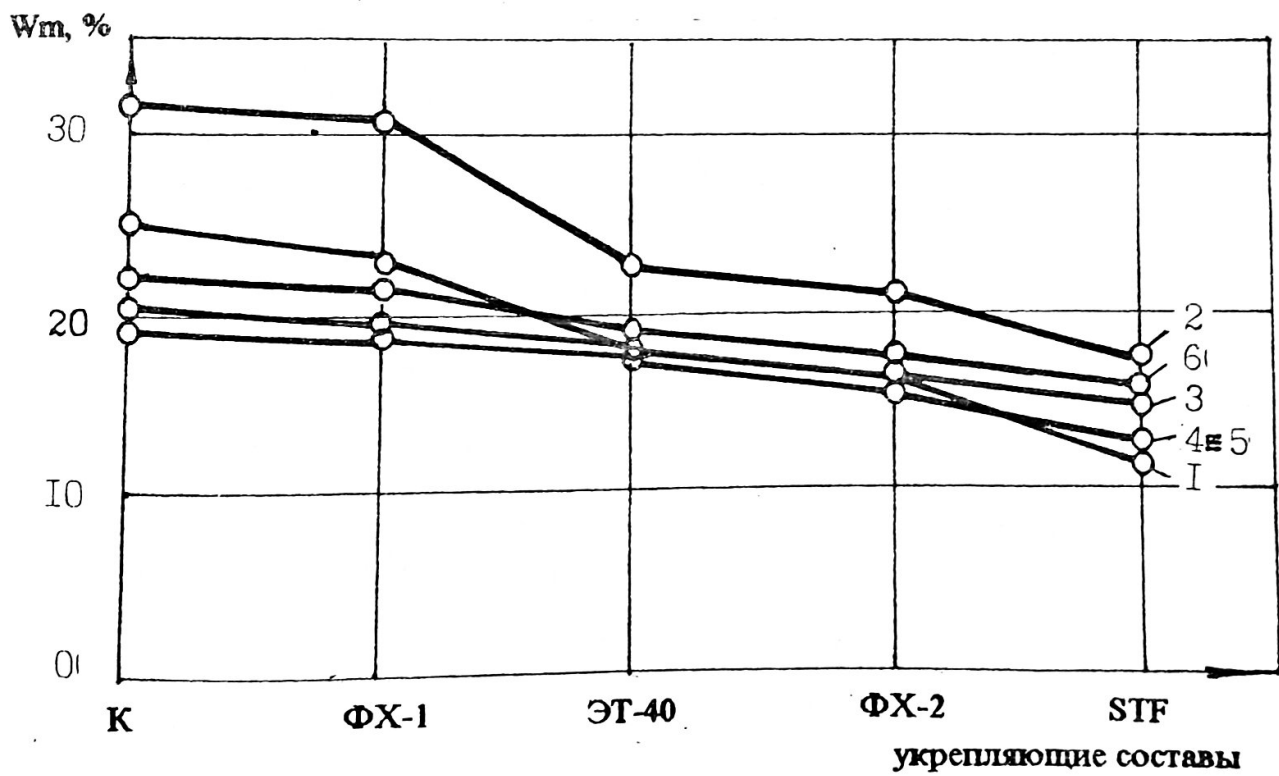


Рис. 2 Изменение водопоглощения при полном погружении известняка-ракушечника от вида укрепляющего состава. 1-6 - серия образцов.

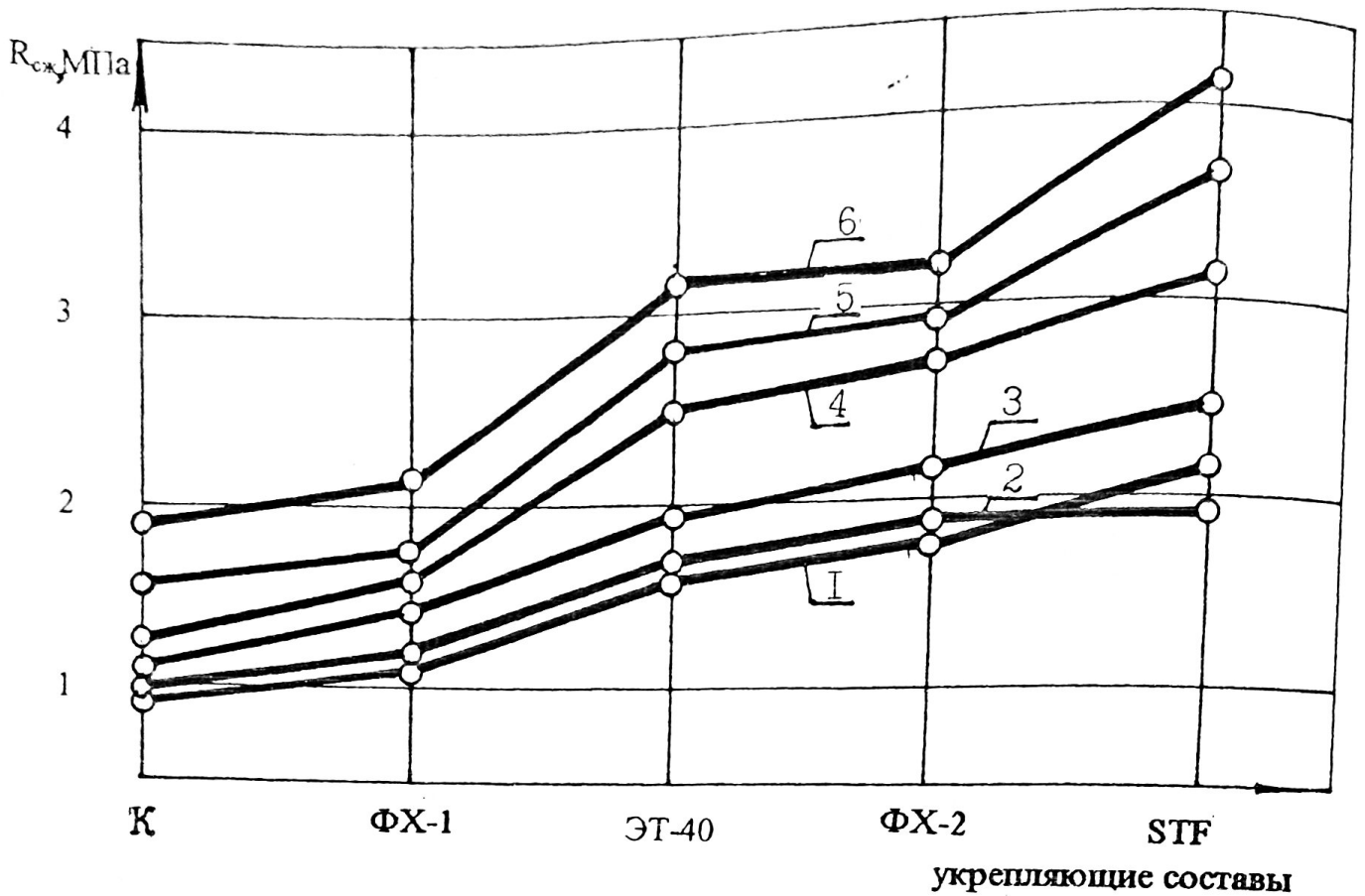


Рис. 3 Изменение предела прочности при сжатии в зависимости от вида укрепляющего состава. 1-6 - серия образцов

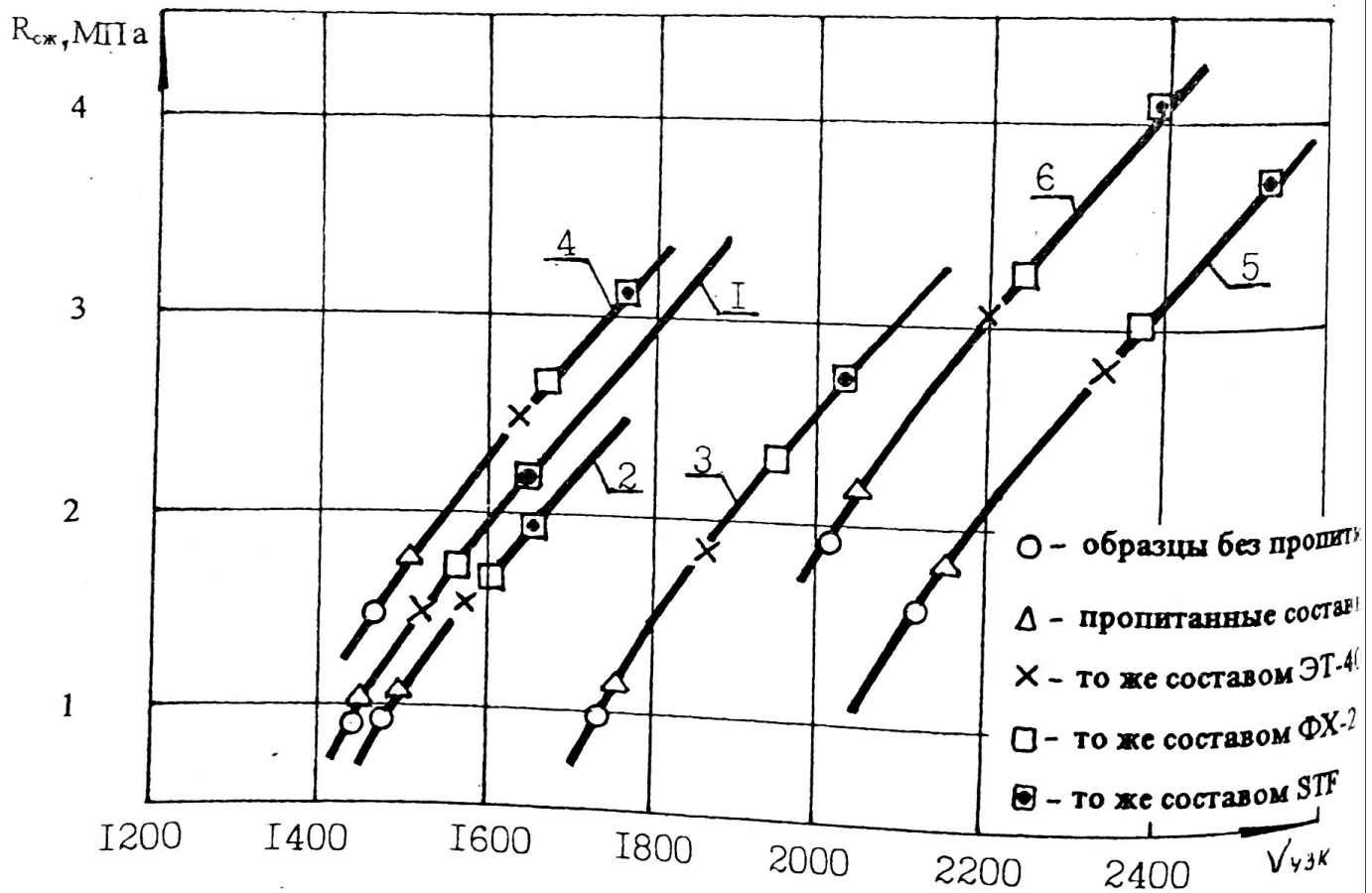


Рис. 4 Зависимость предела прочности камня-ракушечника и скорости прохождения ультразвука от вида укрепляющего состава. 1-6 - серия образцов.

уменьшается водопоглощение при полном погружении; до 8 раз уменьшается коэффициент водопоглощения при капиллярном подсосе, капельная абсорбция увеличивается до 60 мин. и более - модифицированный известняк-ракушечник приобретает стойкость к адсорбционным воздействиям среды. Сравнительная оценка гидрофобизирующих составов показывает, что наибольшей эффективностью характеризуется состав ГКЖ-11 (ГФ-5). (Рис.1).

Обработка известняка-ракушечника структурно-укрепляющими составами не только приостанавливает процессы коррозии, но и увеличивает прочность в 2 - 2,5 раза, плотность на 4-6 %, уменьшает водопоглощение на 26-60 % (рис. 2, 3). Обработка образцов приводит также к увеличению на 22-36 % скорости прохождения ультразвука, при этом зависимость между прочностью камня-ракушечника и скоростью распространения ультразвука носит линейный характер (рис.4). Следует отметить, что наибольший эффект достигается при использовании укрепляющего состава Steinfestiger - OH (STF).

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка камня композиционными материалами обеспечивает защиту его от коррозионного разрушения, приводит к омоноличиванию трещин, препятствует миграции воды в устье трещины и снижает кинетику их развития. При этом обработка, не вызывая существенного изменения плотности материала и условий его работы, способствует увеличению прочности, морозостойкости, солестойкости, уменьшению водопоглощения, практически не изменяя воздухо- и паропроницаемость.

Использование эффективных материалов и оптимальных методов реставрации, защиты и сохранения камня-ракушечника при реставрации, ремонте и консервации памятников архитектуры способствует как повышению долговечности зданий и сооружений, сбережению материальных ресурсов, так и обеспечивает получение социального, внеэкономического эффекта.

#### Литература

1. Лисенко В.А. Защитно-конструкционные полимеррастворы в строительстве. - Киев: Будівельник, 1985.
2. V. A. Lissenko. The conservation of calcareous stone-evaluation of protective treatments /pilot object- Odessa Gigantic stairway/: Реставрация, реконструкция, урбоэкология / сб. научн. статей. - Одесса-Б.Днестровский, 1998.
3. А.И.Буренин. Полимерные композиционные материалы для реконструкции и реставрации зданий и сооружений исторической застройки. : Реставрация, реконструкция, урбоэкология / сб. научн. статей. - Одесса-Б.Днестровский, 1998.
4. Р.Г.Чеботарь, Ю.Н.Воронов. Химическая защита (гидрофобная обработка, структурное укрепление) известняка-ракушечника при реставрационных работах исторической застройки

Одессы. /: Реставрация, реконструкция, урбоэкология / сб. научн. статей.- Одесса.  
Б.Днестровский, 1998.