

---

## **ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ РУССКИХ КРЕПОСТЕЙ XVI—XVII ВВ.**

**Р.В. Лобзова**

Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

**К.С. Носов**

Государственный научно-исследовательский  
институт реставрации (ГосНИИР)  
*ул. Гастелло, 44, Москва, Россия, 107014*

Непременным атрибутом памятников средневековой Руси, возводившихся из каменных и кирпичных материалов, был строительный раствор. Исследование состава строительных растворов позволяет выявить строительные методы, технологические особенности их приемов, воссоздать состав и разработать рецептуру строительных растворов максимально приближенных к использованному ранее, что важно при проведении реставрационных работ. Кроме того, по составу раствора можно предположить место добычи применявшихся материалов. Все это позволяет проследить эволюцию технологии производства и добычи, определить принадлежность памятника к той или иной строительной школе, а в идеале может помочь и в датировке памятников.

Исследование древнерусских строительных растворов началось с 1930 г. [1] и периодически возобновлялось [2—8], однако строительные растворы до сих пор остаются изученными крайне слабо.

На настоящий момент изучено около 110 строительных растворов для примерно 90 древнерусских памятников. Из этих памятников около 70 датируются XI—XIII вв., 8 — XIV—XV вв. и 12 — XVI—XVII вв. При этом на долю сооружений оборонительного зодчества приходится только шесть памятников, из которых один датируется XI в. (Золотые ворота в Киеве), два — XV в. (Остров и Ивангород), два — XVI в. (ров Московского Кремля и стена Китай-города) и один — XVII в. (Ивангород). Если памятники зодчества Древней Руси изучены относительно неплохо, то этого нельзя сказать о памятниках XIV в. и более поздних. Этот пробел в исследовании растворов сооружений оборонительного зодчества и попытались частично восполнить авторы статьи.

Авторами были исследованы 13 кладочных растворов русских крепостей XVI—XVII вв. Кроме того, для сравнения были проанализирован один современный раствор. Все исследованные пробы были отобраны К.С. Носовым. Главной проблемой при отборе проб было найти участок укрепления, не подвергавшийся перестройке и реставрации в более позднее время. Именно по этой причине многие известные крепости не попали в исследуемые объекты. Например, Московский Кремль настолько часто реставрировался, что найти участок с клад-

кой конца XV в. не представлялось возможным. Доступные укрепления Китай-города были в значительной степени или даже полностью перестроены в XIX в. В связи с тем, что облицовочная кладка, как правило, подновлялась в последующие века, большинство проб были отобраны из забутовки. При отборе проб русских строительных растворов одним из важнейших ориентиров служил большемерный кирпич — характерный признак крепостного зодчества XVI—XVII вв. Размеры этого кирпича изменялись довольно значительно. Наиболее типичный кирпич имел размеры  $30 \times 14 \times 8$  см и  $30,5 \times 14,5 \times 7,5$  см. Общим для такого кирпича было не кратное соотношение размеров сторон, что позволяло вести кладку при швах равной толщины. При ремонтных работах XVIII — начала XIX вв. использовался также большемерный кирпич, но с кратным соотношением сторон ( $6 \times 3 \times 1,5$  вершков). При последующих ремонтно-реставрационных работах применялся обычный маломерный кирпич.

Для приготовления растворов исходными материалами обычно служат: вяжущее вещество, в качестве которого широко применяют воздушную известь в виде теста, вода и заполнитель в виде песка, шлака, обломков кирпича и т.п. Для ускорения твердения раствора в него вводят вместо теста молотую известь-кипелку, а для улучшения свойств — гидравлические добавки или портланд-цемент. При твердении известковых растворов происходит испарение избыточной воды, кристаллизация гидроксида кальция, его карбонизация путем присоединения углекислого газа из воздуха с образованием  $\text{CaCO}_3$  и образование из гидроксида кальция и песка (кремнезема) гидросиликатов кальция и других соединений, идентификационные характеристики которых приведены в работе [9]. При длительном нахождении раствора на воздухе может пойти и обратный процесс — разложение гидросиликата кальция с образованием  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SiO}_2$  (вторичная карбонизация). Этот процесс иногда рассматривается как разрушительный, ослабляющий со временем прочность растворов. Однако существует мнение, что он скорее способствует прочности растворов, а вот выделение водного оксида кремния может иметь как вредное, так и полезное влияние.

### **Результаты петрографического исследования**

Проведенный нами петрографический анализ показал, что образцы растворов различаются по содержанию вяжущего и заполнителя. Во всех растворах в составе заполнителя основную роль играет кварцевый песок, в котором кроме кварца отмечается примесь полевого шпата, слюд (мусковита, биотита), глаукононита, оолитов гидрооксидов и оксидов железа (лимонит, магнетит и др.), а также окатанные обломки пород (известняка, мрамора, алевролита, кремня, кварцита, гранита). Кроме того, в составе заполнителя некоторых образцов в небольшом количестве присутствуют обломки раковин, обломки угля, и искусственных материалов (обломки кирпича, шлака, кирпичной муки). Содержание последних варьирует в значительных пределах: от единичных включений до целых процентов. Во всех растворах вяжущее — известковое, но отличается разной степенью раскристаллизации. Химический анализ также показал разный состав вяжущего, его различие связано с разным исходным составом материала, использовавшегося

для приготовления извести. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом был выполнен И. А. Рощиной (ГЕОХИ РАН) на спектрометре AXIOS Advanced фирмы PANalytical B. V. При разработке программы количественного анализа строительных растворов были использованы измерения 32 стандартных образцов состава горных пород с широким диапазоном концентраций оксидов Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn и Fe, а также примесных элементов: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba и Pb. Пробы и стандартные образцы были приготовлены в виде тонких таблеток диаметром 20 мм из навесок в 300 мг со связующим веществом (C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>). Воспроизводимость и точность результатов, проверенные по семи параллельным независимым анализам стандартного образца состава, удовлетворяют требованиям к качеству анализа рядовых проб ОСТ 41-08-205-99 по всем перечисленным выше элементам. Данные химического анализа (табл. 1) находятся в полном соответствии с минеральным составом пород и также показывают различное содержание основных породообразующих компонентов. Наиболее высокое содержание оксида кремния (кремнезема) устанавливается для растворов с большим содержанием кварца и кварцсодержащих пород. Содержание оксида кальция (извести) связано как с присутствием гранулированного известкового вяжущего, так и с наличием в заполнителе обломков известняка, мрамора и других карбонатсодержащих образований. Обращает на себя внимание высокое содержание в некоторых образцах магнезии, что также связано как с составом вяжущего, так и с характером присутствующих в растворе обломков карбонатных пород. В некоторых образцах отмечается повышенное содержание сульфата, особенно в фундаменте (например, Нижний Новгород, Зарайск, Коломна), обусловлено наличием, видимо, гипса. В наземной части сооружений содержание сульфатов незначительное.

Таблица 1

**Химический состав растворов**

№	Памятник	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП
Русские крепости XVI—XVII вв.											
1	Нижний Новгород	66,03	2,32	0,77	0,50	15,90	0,66	0,68	0,82	2,34	9,47
2	Нижний Новгород	56,44	2,10	0,87	0,58	25,04	0,37	0,63	0,11	0,12	13,60
3	Коломна	25,22	1,40	0,71	2,45	38,68	1,67	0,82	0,72	0,17	27,35
4	Коломна	40,16	1,71	0,66	1,90	34,59	0,22	0,42	0,21	0,14	19,60
5	Зарайск	27,24	1,56	0,89	4,08	38,37	сл.	0,20	0,11	0,05	27,42
6	Зарайск	65,13	2,48	0,57	0,52	17,47	0,34	0,64	1,06	0,10	11,24
7	Серпухов	15,71	0,75	0,74	3,73	43,14	0,09	0,19	0,03	0,11	34,68
8	Борисов городок	23,48	1,67	1,04	15,96	24,85	0,24	0,40	0,02	0,11	31,35
9	Смоленск	49,8	3,32	1,24	11,18	15,86	0,56	0,98	0,02	0,12	16,16
10	Смоленск	18,71	1,62	0,81	1,32	44,98	0,22	0,38	0,02	0,09	31,46
11	Смоленск	24,08	2,32	1,00	0,71	40,33	1,02	0,93	0,04	0,11	28,61
12	Смоленск	8,33	0,67	0,72	0,82	45,45	2,08	0,35	0,06	0,08	40,69
13	Вязьма	15,84	1,33	1,92	0,91	48,80	0,13	0,36	0,04	0,13	29,46
14	Смоленск	51,51	3,03	1,08	2,85	24,77	0,58	1,06	0,05	0,08	14,50

### Свойства исследованных растворов

Для характеристики растворов были использованы коэффициенты, известково-магнезиальный модуль, гидравлический (основной) модуль, частная глиноземистость, соотношение вяжущего и заполнителя (табл. 2). Оценка вяжущего строительных растворов проводится по нескольким показателям, из которых важнейшими являются известково-магнезиальный и гидравлический (основной) модули. Эти модули в свое время были введены В.Н. Юнгом [4]. Известково-магнезиальный модуль рассчитывается как отношение по массе (%)  $\text{CaO} / \text{MgO}$ . Если этот модуль выше 12, то говорят о маломagneзиальной извести; если от 4 до 12 — о магнезиальной извести, от 4 до 1,6 — о доломитизированной извести, меньше 1,6 — о доломитовой извести. Чем ниже известково-магнезиальный модуль, тем выше содержание магнезии и соответственно выше прочность раствора, и наоборот. Гидравлический модуль определяется как весовое отношение (%)  $\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ . Высокий гидравлический модуль свидетельствует о воздушности извести (раствора), а низкий — о гидравлическости, т.е. значительном содержании глинистых примесей. Частная глиноземистость определялась по методу А.А. Предовского (Соболев Р.Н и др. [10]). Согласно этому методу пересчета химических анализов в карбонатных породах можно определить примесь глинистого материала. Из всех проанализированных образцов два образца раствора из забутовки (№ 3 Коломна и № 12 Смоленск) выделяются по уровню глиноземистости (отрицательные значения). Не менее важным показателем свойств растворов является соотношение вяжущего и заполнителя. Рассчитанное нами соотношение вяжущего и заполнителя приведено в трех вариантах: для известки-кипелки (оксида кальция), известки-пушонки (гидроксида кальция) и известкового теста (смесь гидроксида кальция с водой в соотношении 1 : 1 по весу). Такая вариативность представления материала облегчит сравнение результатов анализов, полученных в данной работе, с результатами анализов других исследователей. Дело в том, что до сих пор не выработан единый стандарт представления результатов анализов древних строительных растворов. В строительстве известь используют в виде известкового теста, которое смешивают в определенном соотношении с заполнителем. В связи с этим И.Л. Значко-Яворский призывал представлять результаты именно в таком виде. Однако многие исследователи и до него и после представляли результаты своих анализов в виде соотношения заполнителя не с тестом, а с известью-кипелкой или известью-пушонкой. В связи с этим одни исследователи считают такой раствор жирным, а другие называют его тощим.

При использовании данных как петрографического, так и химического анализа необходимо вводить специальные поправочные коэффициенты, позволяющие пересчитать вяжущее на  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и тесто, так как петрографический анализ представляет известковое вяжущее в виде карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ ; (известь для растворов старше 200—300 лет обычно полностью карбонизирована), а химический анализ — в виде  $\text{CaO}$ . Об этом многие исследователи забывали, что приводило к ошибкам в определении степени жирности растворов и невозможности сравнивать разные исследования между собой.

## Свойства растворов

№	Памятник	Датировка	Известково-магнезиальный модуль	Гидравлический (основной) модуль раствора	Частная глиноземистость, А	Соотношение извести-кипелки и заполнителя	Соотношение извести-пушонки и заполнителя	Соотношение известкового теста и заполнителя	Характер раствора
Русские крепости XVI—XVII вв.									
1	Нижний Новгород	1500—1517 гг.	31,8	0,23	4,88	1 : 10,1	1 : 7,7	1 : 3,8	Маломагнезиальный, нормальный
2	Нижний Новгород	1500—1517 гг.	43,2	0,42	7,93	1 : 10,8	1 : 8,2	1 : 4,1	Маломагнезиальный, тощий
3	Коломна	1525—1531 гг.	15,8	1,42	-21,91	1 : 0,3 1 : 1,8	1 : 0,2 1 : 1,4	1 : 0,1 1 : 0,7	Маломагнезиальный, жирный
4	Коломна	1525—1531 гг.	18,2	0,81	8,76	1 : 4,2	1 : 3,2	1 : 1,6	Маломагнезиальный, жирный
5	Зарайск	1528—1531 гг.	9,4	1,29	13,17	1 : 1,5	1 : 1,1	1 : 0,6	Маломагнезиальный, жирный
6	Зарайск	1528—1531 гг.	33,6	0,26	12,04	1 : 4,3	1 : 3,3	1 : 1,6	Маломагнезиальный, жирный
7	Серпухов	конец 1550-х гг.	11,6	2,51	3,88	1 : 0,4	1 : 0,3	1 : 0,2	Магнезиальный, жирный
8	Борисов городок	1598 г.	1,6	0,95	8,26	1 : 1,5	1 : 1,1	1 : 0,6	Доломитизированный, жирный
9	Смоленск	1596—1602 гг.	1,4	0,29	13,11	1 : 11,9	1 : 9,0	1 : 4,5	Доломитовый, тощий
10	Смоленск	1596—1602 гг.	34,1	2,13	8,30	1 : 0,3	1 : 0,2	1 : 0,1	Маломагнезиальный, жирный
11	Смоленск	1596—1602 гг.	56,8	1,47	-3,58	1 : 0,6	1 : 0,5	1 : 0,2	Маломагнезиальный, жирный
12	Смоленск	1596—1602 гг.	55,4	4,68	-30,70	1 : 0,6	1 : 0,5	1 : 0,2	Маломагнезиальный, жирный
13	Вязьма	1631—1634 гг.	53,6	2,56	7,12	1 : 0,2	1 : 0,16	1 : 0,1	Маломагнезиальный, жирный
14	Смоленск	1596—1602 гг.	8,7	0,45	9,10	1 : 2,1	1 : 1,6	1 : 0,8	Магнезиальный, жирный

## Выводы

Проведенное исследование показало, что все 13 строительных растворов русских крепостей XVI—XVII вв. являются известково-песчаными и резко отличаются от известково-цемяночных растворов XI—XIII вв. Вяжущая масса в исследо-

ванных растворах известковая, редко известково-глинистая. Заполнителем в основном является кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), часто с примесью обломков пород (известняка и др.). Иногда явно присутствует недожженный известняк. Количество карбонатов не превышает 10% всего заполнителя и, как правило, находится в пределах до 5%. Как известно, карбонатный заполнитель повышает прочность и технологичность обработки (удобообрабатываемость) раствора, а также ускоряет его твердение. Поэтому, возможно, древние строители и не стремились специально очищать известь, экспериментально установив, что присутствие примеси недожженного известняка положительно сказывается на качестве растворов. Более того, есть свидетельства специального введения карбонатных заполнителей в раствор. Процентное соотношение вяжущего и заполнителя в исследованных растворах значительно колеблется: от 12% вяжущего на 80% заполнителя (№ 9, Смоленск) до 87% вяжущего на 10% заполнителя (№ 13, Вязьма). По современным строительным нормативам большинство растворов (10 из 13) относятся к жирным, два к тощим и только один — к нормальным. При этом подавляющее большинство жирных растворов являются чрезвычайно жирными с соотношением компонентов от 1 : 0,1 до 1 : 0,7. Это отражает уже отмечавшуюся исследователями памятников XI—XIII вв. тенденцию применения древнерусскими строителями именно жирных растворов с высоким содержанием вяжущего. Недавние исследования показывают, что повышенное содержание извести является основным фактором долговечности и воздухоустойчивости древних строительных растворов. Современные цементы с 10—30% извести оказываются куда менее воздухоустойчивы.

Состав изученных растворов порой значительно колеблется даже в пределах одного памятника. Особенно наглядно это видно на примере Смоленска, где четыре образца растворов сильно разнятся по прочности, соотношению вяжущего и заполнителя, количеству карбонатной составляющей в заполнителе, степени магнизальности и по качеству перемешанности раствора. Разнообразие состава раствора в пределах одного памятника говорит о крайней неустойчивости рецептуры изготовления растворов — черта, отмечавшаяся еще для смоленских памятников XII—XIII вв.

Большинство растворов известковистые маломagneзиальные, хотя встречаются также магнизальный (№ 7, Серпухов), доломитизированный (№ 8, Борисов городок) и даже доломитовый (№ 9, Смоленск) растворы. Почти во всех растворах отмечены обломки кирпича и кирпичная мука. Однако их количество очень незначительно (не превышает 2%, а обычно составляет лишь доли процента) и не сравнимо с количеством цемянки в памятниках зодчества XI—XIII вв. Колеблющаяся, порой ничтожное количество кирпичной добавки и часто наблюдающаяся грубозернистость ее, по мнению И.Л. Значко-Яворского, свидетельствует об использовании таким образом периодически накапливавшегося на строительстве кирпичного боя.

Известно, что введение гипса в известковый строительный раствор ускоряет его твердение и нарастание прочности. Смешанные известково-гипсовые растворы использовали в древнем мире, в средневековой Европе, применяют их и в на-

ши дни. К современным цементам обычно добавляют 3—5% гипса в виде полуводной модификации. В большинстве исследованных нами растворов содержание серного ангидрида ничтожно. Однако в растворах, отобранных из фундамента его количество весьма значительно и в пересчете на полуводный гипс по отношению к исходному вяжущему (СаО) составляет 10% для № 6 (Зарайск) и 15% для № 1 (Нижний Новгород). В данном случае вряд ли можно говорить о преднамеренном введении гипса, скорее это связано с новообразованием за время бытования памятника. В пробах, отобранных на других участках его тех же памятников, его количество незначительно или вовсе отсутствует. Не сказалось повышенное содержание серы и на прочности растворов.

Сравнение строительных растворов оборонительных сооружений XVI—XVII вв. с культовыми памятниками того же времени позволяет выделить следующие общие черты: известковое вяжущее, песчаный заполнитель с карбонатной составляющей (обычно до 10%, редко больше), очень незначительное содержание цемянки. Вместе с тем, соотношение вяжущего и заполнителя в культовых сооружениях обычно различается не столь сильно, как в памятниках военного зодчества. Кроме того, в первых не встречается и столь жирных растворов. Возможно, это лишь случайность, но, возможно, и нет. Вследствие недостаточности накопленного материала пока нельзя говорить определенно, различались ли по составу строительные растворы культового и оборонного зодчества. С одной стороны, можно предположить, что в силу традиции в каждом регионе строительная школа применяла один и тот же строительный раствор во всех памятниках. С другой стороны, каменные и кирпичные крепостные сооружения, обычно состоявшие из лицевых стенок и забутовки посередине, требовали высокой прочности раствора для кладки лицевых стенок и огромного количества раствора (к которому, возможно, предъявляли меньше требований) для заливки бута. Совершенно очевидно, что накопленного материала пока недостаточно, чтобы делать общие выводы о закономерностях эволюции строительных растворов в позднесредневековой Руси и их характеристиках в памятниках разного назначения. Дальнейшее накопление материала по анализам строительных растворов позволит раскрыть эволюцию строительной техники, выявить архитектурные школы и характерный хронологический состав растворов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Швецов Б.С., Суровцов В.В. Древние строительные растворы // Труды Института строительных материалов. Вып. 32. — М., 1930. — С. 3—32.
- [2] Белик Я.Г., Папкова Л.П. Некоторые исследования строительных материалов киевских Золотых ворот // Известия АН СССР. Сер. геологическая. — 1953. — № 5. — С. 124—131.
- [2] Белик Я.Г., Папкова Л.П. Некоторые исследования строительных материалов киевских Золотых ворот // Известия АН СССР. Сер. геологическая. — 1953. — № 5. — С. 124—131.
- [3] Юнг В.Н. О древнерусских строительных растворах // Сборник научных работ по вяжущим материалам. — М., 1949. — С. 226—257.
- [4] Юнг В.Н. Основы технологии вяжущих веществ. — М., 1951. — С. 16—37.

- [5] *Значко-Яворский И.Л., Белик Я.Г., Иллиминская В.Т.* Экспериментальное исследование древних строительных растворов и вяжущих веществ // СА. — 1959. — № 4. — С. 140—152.
- [6] *Значко-Яворский И.Л.* Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX в. — М.-Л., 1963.
- [7] *Медникова Е.Ю., Раппопорт П.А., Селиванова Н.Б.* Древнерусские строительные растворы // СА. — 1983. — № 2. — С. 152—161.
- [8] *Медникова Е.Ю., Раппопорт П.А.* Строительные растворы древнего Новгорода // СА. — 1991. — № 4. — С. 102—107.
- [9] *Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г.* Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. — М.: Высшая школа, 1981.
- [10] *Соболев Р.Н., Фельдман В.И.* Методы петрохимических пересчетов горных пород. — М.: Недра, 1984.

## **PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE MASONRY MARTARS OF RUSSIAN FORTRESSES XVI—XVII C.C.**

**R.V. Lobzova**

Peoples Friendship University of Russia  
*Miklucho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

**K.S. Nosov**

State research institute for restoration  
*Gastallo str., 44, Moscow, Russia, 107014*

In this work the results of investigation concerning the masonry martars of Russian fortresses XVI—XVII c.c. are presented. The exploration indicates that all 13 masonry martars are presented by lime-sand and strongly differ of lime-brick masonry martars used earlier.