

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

РОССИЙСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ РУССКИХ КРЕПОСТЕЙ XVI–XVII ВВ.

© 2009 г. К. С. Носов

Российская академия государственной службы при президенте РФ, Москва

Всестороннее изучение памятников зодчества невозможно без знания строительно-технических приемов, использовавшихся для их возведения. Непременным атрибутом каменных и кирпичных памятников средневековой Руси был строительный раствор. Исследование состава строительных растворов позволяет установить строительные методы, принадлежность памятника к той или иной строительной школе, воссоздать строительный раствор для реставрационных работ, определить место добычи материала, и наконец, может помочь в датировке памятников.

Несмотря на то, что научное исследование древнерусских строительных растворов началось еще в 1930 г. (Швецов, Суровцов, 1930), а в 1963 г. увидела свет монография по истории вяжущих веществ (Значко-Яворский, 1963), строительные растворы до сих пор остаются изученными крайне слабо. Причина этого заключается, с одной стороны, в явно недостаточном количестве изученных образцов, а с другой – в том, что анализы проводились по разным методикам. Последнее обстоятельство не позволяет сравнивать результаты между собой. Более того, разнятся даже методы: в одних случаях исследователи полагались исключительно на химический метод анализа (Швецов, Суровцов, 1930), в других – на петрографический (Селиванова, 1982), в третьих – на гранулометрический (Медникова, Раппопорт, 1991), в четвертых – на сочетание гранулометрического и химического методов (Медникова, 1982), в пятых – на сочетание петрографического и гранулометрического методов (Медникова и др., 1983), в шестых – на сочетание петрографического и химического методов (Юнг, 1949; 1951; Белик, Папкина, 1953), в седьмых – на сочетание механического, петрографического и химического методов анализа (Медникова и др., 1978). В большинстве случаев исследователи никак не обосновывали выбор того или иного метода. Не наблюдается и совершенствования методов анализа с течением времени. Казалось бы, наилучшие результаты должен дать комплексный подход с использованием трех методов анализа – механического (гранулометрического), петрографического и химического. Однако такой анализ проводился только в 1978 г. Исследователи более позднего времени изучали строительные растворы, как правило, только одним из этих методов. Несомненно, на-

стало время выработать оптимальный метод анализа строительных растворов и проводить анализ по одинаковым методикам.

Основное внимание исследователей строительных растворов древнерусских памятников привлекали культовые сооружения, причем в большинстве случаев домонгольского периода.

Б.С. Швецов и В.В. Суровцов изучили растворы семи памятников XII–XVII вв., в том числе каменно-кирпичного рва на месте Красной площади (на глубине 2 м, 1508 г.) и стены Китай-города между Варварскими и Никольскими воротами (1535 г.) в Москве. Растворы памятников XVI–XVII вв. оказались известково-песчаными на воздушной извести, что особенно удивительно для кладки кремлевского рва и объясняет малую прочность этого раствора, постоянно подверженную действию воды.

В 1949 г. В.Н. Юнг опубликовал результаты анализов семи образцов из памятников XI–XVII вв. Из военных сооружений им были изучены “части крепостного сооружения” Ивангорода (XV в.) и “крепости, пристройка начала семнадцатого века” (Ивангород, XVII в.). К сожалению, столь неинформативные указания не позволяют проверить или воспроизвести результаты. Остается лишь гадать, была ли взята проба из стены или фундамента, из облицовочной кладки или забутовки. Более того, “крепостное сооружение” XV в. может относиться как к первоначальной крепости 1492 г., так и к Большому Бояршему городу, построенному в 1496 г., а “крепость, пристройка начала семнадцатого века” – к Переднему городу или к облицованному камнем Боярскому валу. Данные по этим семи образцам позднее были систематизированы и вошли в монографию В.Н. Юнга, опубликованную в 1951 г. Никаких новых анализов она не включала.

В 50-х годах XX в. Я.Г. Белик и Л.П. Папкина (1953. С. 124–131) выполнили анализ строительного раствора (также примененного в качестве штукатурки) Золотых ворот в Киеве, а Б.С. Лысин и Ю.Е. Корнилович (1956. С. 89–94) изучили растворы двух киевских соборов XI в. и также Золотых ворот. Все растворы оказались известково-цемяночными с различным содержанием песка, без добавлений гипса и карбонатных заполнителей. Цемянка часто встречается в виде крупных

включений битого кирпича. Ю. Генцы и Т.В. Левина (1958. С. 14) провели простейший анализ раствора Софийского собора в Новгороде; раствор оказался известково-цемячным со следами льняной костры и соломы, пористость составляла 51%.

В капитальную монографию И.Л. Значко-Яворского вошло исследование более 220 проб строительных растворов памятников с территории бывшего СССР. Однако в отношении средневековой Руси автор ограничился только химическим анализом одного раствора “для методического сопоставления”, так как строительные растворы средневековой Руси не были “отнесены к первоочередным объектам исследования в связи с тем, что они в какой-то мере изучены другими исследователями” (Значко-Яворский, 1963. С. 252).

Е.Ю. Медникова, П.А. Раппопорт и Н.Б. Селиванова (1978) исследовали ряд культовых памятников древнего Смоленска. Н.Б. Селиванова (1982) изучила строительные растворы церкви и ее пристройки в Новогрудском детинце (XIV–XVII вв.). В тот же год вышла в свет статья Е.Ю. Медниковой, посвященная исследованию строительных растворов крепости Остров. Гранулометрический анализ позволил разделить образцы на две группы, предположительно соответствующие разным строительным периодам (первая группа – 1425–1450 гг., вторая группа – 1500 г.). На основании химического анализа были рассчитаны гидравлические модули.

Первая попытка выявить характерные особенности строительных растворов различных архитектурных школ домонгольского периода была предпринята Е.Ю. Медниковой, П.А. Раппопортом и Н.Б. Селивановой в 1983 г. С этой целью ими было изучено около 30 растворов церквей и соборов Киева, Переяславля, Полоцка, Владимира-Волынского, Новгорода, Галича, Чернигова, Суздаля, Боголюбова и Юрьева-Польского. Исследователи применили два метода анализа – петрографический и гранулометрический. Правда, не все растворы были проанализированы обоими методами. Так, петрографически было изучено 27 образцов, а гранулометрически только 23. Большой объем исследованного материала позволил авторам выделить основные закономерности производства строительных растворов в разных регионах.

В 1991 г. была опубликована работа Е.Ю. Медниковой и П.А. Раппопорта, в которой исследователи предприняли попытку проследить эволюцию строительных растворов внутри одной архитектурной школы – новгородской. Исследователям удалось проследить изменения в составе заполнителя в зависимости от времени постройки памятника. Соответственно все памятники были разде-

лены на четыре группы. Кроме того, выяснилось, что состав строительного раствора далеко не идентичен даже в пределах одного памятника. Это указывает на то, что компоненты раствора вводились без точной дозировки.

Всего на настоящий момент изучено около 110 строительных растворов для примерно 90 древнерусских памятников. Из них около 70 памятников 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 позднее.

В настоящей работе изучены строительные растворы ряда памятников оборонительного зодчества. Были исследованы 13 кладочных растворов русских крепостей XVI–XVII вв. **1. Нижний Новгород, кремль, 1500–1517 гг.**, археологическая яма рядом с Дмитриевской (Дмитровской) башней, фундамент стены. **2. Нижний Новгород, кремль, 1500–1517 гг.**, остатки Зачатьевской (Зачатской) башни, разрушенной в XVIII в., наземная часть постройки. **3. Коломна, 1525–1531 гг.**, разлом стены у Спасской башни, забутовка. **4. Коломна, 1525–1531 гг.**, разлом стены у Погорелой башни, забутовка. **5. Зарайск, 1528–1531 гг.**, стена между Тайницкой и Спасской воротной башнями, забутовка в месте обвалившейся белокаменной облицовки. **6. Зарайск, 1528–1531 гг.**, стена между Тайницкой и Спасской воротной башнями, фундамент. **7. Серпухов, конец 1550-х годов**, торец восточного фрагмента стены, забутовка. **8. Борисов городок, 1598 г.**, обнажившаяся из-под дерна каменно-кирпичная россыпь на кромке холма, где ранее стояла крепость. **9. Смоленск, 1596–1602 гг.**, башня Волкова, кирпичная кладка-забутовка под обвалившейся белокаменной облицовкой. **10. Смоленск, 1596–1602 гг.**, пролом в стене между башнями Орел и Позднякова, забутовка стены. **11. Смоленск, 1596–1602 гг.**, прясло у башни Веселуха, забутовка в месте обвалившейся белокаменной облицовки. **12. Смоленск, 1596–1602 гг.**, башня Орел, кирпичная кладка над разрушенной бойницей. **13. Вязьма, 1631–1634 гг.**, раствор снят с большего размера кирпича (поврежден, примерные размеры 29.5 × 13.5 × 7.5 см), обнаруженного рядом со Спасской башней.

Кроме того, для сравнения были проанализированы: один современный раствор – **14. Смоленск**, творильная яма реставраторов у прясла рядом с башней Волкова и три раствора из средне-

вековых укреплений Англии и Уэльса – **15. Чепстоу (Chepstow)**, Южный Уэльс, D-образная башня на южной стороне замка (этот участок обороны построен при Уильяме Маршале в 1189–1219 гг.); **16. Конуи (Conwy)**, Северный Уэльс, трещина в башне городской стены, 1280-е годы; **17. Кембер (Camber)**, юго-восточная Англия, забутовка стены в месте обвалившейся облицовочной кладки, 1539 г.

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 кладкой конца XV в. не представлялось возможным, а доступные укрепления Китай-города были в значительной степени или даже полностью перестроены в XIX в. Для каждого исследуемого памятника перед отбором проб изучались материалы по истории его укреплений и их реставрации. 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 большегабаритный кирпич – характерный признак крепостного зодчества XVI–XVII вв. Большегабаритный кирпич довольно сильно варьировался по размерам. Наиболее типичный имел размеры $30 \times 14 \times 8$ и $30.5 \times 14.5 \times 7.5$ см (Трофимов, Кирьянов, 1953. С. 324). По распоряжению Бориса Годунова была введена стандартизация кирпича. Такой кирпич, именовавшийся государевым или казенным, имел размеры $7 \times 3 \times 2$ вершка ($31.5 \times 13.5 \times 9$ см) (Косточкин, 1964. С. 13). Общим для этого кирпича было некруглое соотношение размеров сторон. Позднее, при ремонтных работах XVIII – начала XIX в. также использовался большегабаритный кирпич, но уже с кратным соотношением сторон ($6 \times 3 \times 1.5$ вершка, или $27 \times 13.5 \times 6.8$ см). При более поздних реставрациях применялся обычный маломерный кирпич (Трофимов, Кирьянов, 1953. С. 324).

Для исследования отобранных проб применялись химический и петрографический методы анализа. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом был выполнен И.А. Рощиной (ГЕОХИ РАН) на спектрометре “AXIOS Advanced”. Пробы и стандартные образцы были приготовлены в виде тонких таблеток диаметром 20 мм из навесок в 300 мг со связующим веществом (C_6H_8). Петрографический анализ проведен Р.В. Лобзовой (ГосНИИР) на бинокулярном микроскопе МБС-10 и поляризационном микроскопе ПОЛАМ Р210 в шлифах. Небольшие размеры кусков проб, включения гальки, кирпича и

пр., а также отсутствие специального оборудования не позволили провести испытание образцов на прочность. Прочность определялась лишь субъективно вручную на излом и истирание.

С методологической точки зрения оптимальным представляется сочетание химического и петрографического методов анализа. Отдельно взятые ни петрографический, ни химический методы анализа не дают достаточных сведений о составе строительных растворов. Петрографический метод не позволяет рассчитать важные для определения характера строительного раствора модули, а химический анализ не дает возможности судить о корректном соотношении вяжущего и заполнителя, их составе и характере специфических добавок или примесей. Гранулометрический (или механический) метод анализа, на наш взгляд, является хотя и интересным, но необязательным методом анализа для древних строительных растворов. Его во многом перекрывает петрографический анализ.

Чтобы был понятен ход дальнейших рассуждений, необходимо кратко остановиться на основных понятиях. Это тем более важно, что порой исследователи путают некоторые понятия, что вносит дополнительную неразбериху в результаты анализов.

Для скрепления каменной и кирпичной кладки применяют строительный раствор. Последний состоит из вяжущего и заполнителя и иногда специальных добавок. В средневековой Руси в качестве вяжущего использовалась известь. Ее получали обжигом известняка, мела и других карбонатных горных пород в специальных печах. При этом образуется негашеная известь, или известь-кипелка CaO . При обработке ее водой образуется гидроксид кальция, известный также как гашеная известь, или известь-пушонка $Ca(OH)_2$. При гашении извести избытком воды в специальных творильных ямах или ящиках образуется известковое тесто. Само по себе известковое тесто дает сильную усадку и способно растрескиваться. Поэтому к нему добавляют заполнители (обычно песок), одновременно значительно удешевляющие строительство. В зависимости от весового соотношения известкового теста и заполнителя различают очень жирные (1:0.1–1:1.5), жирные (1:2–1:4) и тощие (1:5–1:7) строительные растворы (Значко-Яворский, 1963. С. 88). В современной строительной практике растворы чаще делят на жирные, нормальные и тощие. Нормальные растворы, соответствующие жирным по вышеприведенной классификации (т.е. имеющие соотношение теста и заполнителя от 1:2 до 1:4, обычно 1:3), считаются оптимальными для кладки стен, жирные и тощие по современной классификации рассматриваются как нежелательные крайности. Современная классификация представляется лучше

Таблица 1. Химический анализ растворов

№	Памятник	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	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
Современный раствор реставраторов											
14	Смоленск	51.51	3.03	1.08	2.85	24.77	0.58	1.06	0.05	0.08	14.50
Средневековые укрепления Англии и Уэльса											
15	Чепстру (Chepstow)	61.34	3.05	2.27	0.75	18.01	0.45	0.86	0.05	0.15	12.65
16	Конуи (Conwy)	29.52	2.19	1.52	0.47	37.18	0.45	0.50	2.09	0.09	26.12
17	Кембер (Camber)	28.97	1.04	1.73	0.53	37.06	0.76	0.38	0.73	0.16	28.43

* Потери при прокаливании.

применявшейся ранее, так как понятие жирный раствор (соответствующий нормальному) приводило некоторых исследователей к неверному выводу, что эти растворы характеризуются избыточным количеством извести по отношению к заполнителю. Далее мы будем применять современное деление на жирные (от 1:0.1 до 1:2), нормальные (1:2–1:4) и тощие (от 1:4 до 1:7) растворы.

Для характеристики строительных растворов были введены гидравлический (основной) и известково-магнезиальный модули. Гидравлический модуль определяется как весовое отношение процентного содержания CaO к (SiO₂ + Fe₂O₃ + Al₂O₃). Высокий гидравлический модуль свидетельствует о воздушности извести (раствора), а низкий – о гидравлическости. Гидравлическая известь в отличие от воздушной способна схватываться и во влажной среде, поэтому ее можно использовать не только в наземных сооружениях, но и в фундаментах. Известково-магнезиальный модуль рассчитывается как отношение по массе процентного содержания CaO к процентному содержанию MgO. Если этот модуль выше 12, говорят о маломagneзиальной, от 4 до 12 – о магнезиальной, от 4 до 1.6 – о доломитизированной, меньше 1.6 – о доломитовой извести. Чем ниже

известково-магнезиальный модуль, тем выше содержание магнезии и соответственно выше прочность раствора, и наоборот.

Результаты анализов сведены в табл. 1 и 2. В табл. 3 представлены свойства растворов, которые вытекают из данных химического и петрографического анализов: известково-магнезиальный модуль, гидравлический (основной) модуль, частная глиноземистость, соотношение вяжущего и заполнителя и общий характер растворов.

Гидравлический (основной) модуль рассчитан для раствора, а не для исходной извести. Это обусловлено тем, что мы не знаем, какое содержание SiO₂ и полторных окислов было в исходной извести, а какое поступило из заполнителя. Многие исследователи пытались определить гидравлический модуль исходной извести. При этом они исходили из постулата, что при растворении в разбавленной соляной кислоте в раствор переходит только известь (и продукты ее карбонизации), а в нерастворимой части остается весь заполнитель. Однако этот постулат неверен. Еще В.Н. Юнг отмечал, что «определить точно величину “основного” модуля исходной извести не представляется возможным, поскольку в растворимую часть исследуемого вещества переходит некоторая часть наполнителя» (Юнг, 1949. С. 242). Сам В.Н. Юнг

Таблица 2. Петрографический анализ растворов

№	Памятник	Датировка	Прочность	Вяжущее		Заполнитель			Прочее
				содержание, %	состав	содержание, %	тип зернистости основной массы	основной минеральный состав	
Русские крепости XVI–XVII вв.									
1	Нижний Новгород	1500–1517 гг.	Средняя	15	Известковое-глинистое	85	Среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, глауконита и обломков пород (алевролит, известняк)	Обломки кирпичика (до 1%)
2	Нижний Новгород	1500–1517 гг.	Средне-высокая	14	Известковое	85	Среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, глауконита и обломков пород (кремень, недожженный известняк, карбонат)	Единичные обломки кирпичика, шлак
3	Коломна	1525–1531 гг.	Низкая	85	Известковое	15	Мелкозернистый	Кварцевый песок с включениями недожженного известняка	Единичная кирпичная мука
4	Коломна	1525–1531 гг.	Высокая	49	Известковое	50	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата и карбоната	Обломки кирпичика (до 1%)
5	Зарайск	1525–1531 гг.	Высокая	30	Известковое	70	Тонко-мелкозернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата и известняка	Единичная кирпичная мука и обломки кирпичика
6	Зарайск	1528–1531 гг.	Средняя	55	Известковое	45	Тонко-мелкозернистый	Кварцевый песок, карбонат (до 15%), примесь биотита, магнетита, мусковита, глауконита, алевролита	Единичная кирпичная мука
7	Серпухов	Конец 1550-х годов	Средняя	29	Известковое с примесью гипса	70	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, мусковита, известняка	Единичные раковины
8	Борисов городок	1598 г.	Высокая	80	Известковое	18	Среднезернистый	Кварцевый песок с примесью алевролита, гранита и мрамора	Обломки раковин
9	Смоленск	1596–1602 гг.	Средняя	55	Известковое	45	Среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, глауконита, алевролита, бобовин окислов железа и карбонатной породы	Единичная кирпичная мука и обломки кирпичика, уголь
				12	Известковое	80	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, биотита, лимонита и недожженного известняка	Единичные обломки кирпичика и кирпичная мука, пластинки слюды, шлак, желтые рубашки лимонита

Таблица 2. Окончание

№	Памятник	Датировка	Прочность	Вязущее		Заполнитель			Прочее
				содержание, %	состав	содержание, %	тип зернистости основной массы	основной минеральный состав	
10	Смоленск	1596–1602 гг.	Средняя	85	Известковое	15	Мелкозернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата и обломков известняка	Шлак
11	Смоленск	1596–1602 гг.	Высокая	50 (участки от 30 до 70)	Известковое	50 (участки от 10 до 80)	Мелкозернистый	Кварцевый песок, карбонат (до 10%), примесь полевого шпата, глауконита, кварцита	Обломки кирпича (до 2%) и раковин, кирпичная мука
12	Смоленск	1596–1602 гг.	Высокая	75	Известковое	25	Мелко-, средне- и крупнозернистый	Кварцевый песок, карбонат (до 5% известняка), примесь полевого шпата, алевролита и кремня	–
13	Вязьма	1631–1634 гг.	Низкая	87	Известковое	10	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок, карбонат (5–7%), примесь слюды и бобовин окислов железа	Единичная кирпичная мука
Современный раствор реставраторов									
14	Смоленск	Современный	Высокая	30–90	Известковое	10–70	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок	Единичная кирпичная мука
Средневековые укрепления Англии и Уэльса									
15	Чепстоу (Cherston)	1189–1219 гг.	Низкая	10	Известковое	85	Неравномернозернистый; от мелкозернистого до крупнозернистого	Кварцевый песок с примесью глауконита, алевролита, кремня, известняка и оолитов окислов железа	Единичные обломки кирпича и кирпичная мука
16	Конун (Conwy)	1280-е годы	Низкая	65	Известковое	25 (участки от 10 до 50)	Мелко-среднезернистый	Кварцевый песок с примесью бобовин окислов железа, алевролита, песчаника и карбонатных пород	Единичный уголь, обломки раковин
17	Кембер (Camber)	1539 г.	Средняя	60	Известковое	40	Мелкозернистый	Кварцевый песок с примесью полевого шпата, глауконита, известняка и бобовин окислов железа	Единичные обломки кирпича

Таблица 3. Свойства растворов

№	Памятник	Датировка	Известково-магнезиальный модуль	Гидравлический (основной) модуль раствора	Частная глинозёмистость, А	Соотношение известки-кипелки и заполнителя	Соотношение известки-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	Маломagneзиальный, нормальный
2	Нижний Новгород	1500–1517 гг.	43.2	0.42	7.93	1 : 10.8	1 : 8.2	1 : 4.1	Маломagneзиальный, 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	Маломagneзиальный, жирный
4	Коломна	1525–1531 гг.	18.2	0.81	8.76	1 : 4.2	1 : 3.2	1 : 1.6	Маломagneзиальный, жирный
5	Зарайск	1528–1531 гг.	9.4	1.29	13.17	1 : 1.5	1 : 1.1	1 : 0.6	Маломagneзиальный, жирный
6	Зарайск	1528–1531 гг.	33.6	0.26	12.04	1 : 4.3	1 : 3.3	1 : 1.6	Маломagneзиальный, жирный
7	Серпухов	Конец 1550-х годов	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	Маломagneзиальный, жирный
11	Смоленск	1596–1602 гг.	56.8	1.47	-3.58	1 : 0.6	1 : 0.5	1 : 0.2	Маломagneзиальный, жирный
12	Смоленск	1596–1602 гг.	55.4	4.68	-30.70	1 : 0.6	1 : 0.5	1 : 0.2	Маломagneзиальный, жирный
13	Вязьма	1631–1634 гг.	53.6	2.56	7.12	1 : 0.2	1 : 0.16	1 : 0.1	Маломagneзиальный, жирный
Современный раствор реставраторов									
14	Смоленск	1596–1602 гг.	8.7	0.45	9.10	1 : 2.1	1 : 1.6	1 : 0.8	Магнезиальный, жирный
Средневековые укрепления Англии и Уэльса									
15	Чепстоу (Cherston)	1189–1219 гг.	24.0	0.27	13.51	1 : 15.2	1 : 11.5	1 : 5.7	Маломagneзиальный, тощий
16	Конуй (Conwy)	1280-е годы	79.1	1.12	8.90	1 : 0.8	1 : 0.6	1 : 0.3	Маломagneзиальный, жирный
17	Кембер (Camber)	1539 г.	69.9	1.17	-6.10	1 : 0.8	1 : 0.6	1 : 0.3	Маломagneзиальный, жирный

определял гидравлический модуль в весьма широком диапазоне, принимая, что половина окислов кремния, алюминия и железа может относиться к известке, а половина – “к растворимой части наполнителя”. Однако И.Л. Значко-Яворский и последующие исследователи не учитывали это предупреждение и проводили расчет гидравлического модуля исходной известки, опираясь лишь на данные химического анализа для растворимой в

соляной кислоте части. Но в соляной кислоте может раствориться часть заполнителя (эта часть будет особенно значительной при карбонатном заполнителе), а часть исходной известки может оказаться нерастворимой в кислоте. Поэтому расчеты гидравлического модуля оказываются в лучшем случае неточными, а в худшем – просто неверными. Мы предлагаем ввести понятие гидравлического модуля для раствора (именно его

значения представлены в табл. 3). Значения этого модуля для раствора нельзя сравнивать со значениями для исходной извести. Лишь накопление данных со временем позволит вывести определенные закономерности и сравнивать значения между собой. Чем ниже значение этого модуля, тем выше содержание кварцевого песка и полоторных окислов, соответственно раствор более тощий и гидравлический, и наоборот.

Для определения количества глинозема нами была рассчитана принятая в геологии так называемая частная глиноземистость A . Этот параметр определяется по формуле

$$A = Al_2O_3 - (K_2O + Na_2O + CaO').$$

Так как в изучаемых растворах содержание CO_2 (находится, наряду с кристаллизационной водой, в потерях при прокаливании – ППП) превышает 10 мас. % или сопоставимо с содержанием CaO , параметр CaO' можно не учитывать. Тогда получаем формулу

$$A = Al_2O_3 - (K_2O + Na_2O).$$

Расчет производится в молекулярных количествах, которые рассчитываются как (мас. %/молекулярный вес) $\times 1000$.

Частная глиноземистость показывает уровень глиноземистых примесей (влияющих на гидравлическость раствора) и калиево-натриевых солей. Чем выше этот параметр, тем выше содержание глинозема (Al_2O_3) и ниже содержание солей. Например, для глин этот параметр варьируется от +100 до более +200, для разных типов песчаников – от +1.0 до +29.0, а для кварцевого песка равен –3.0 (Соболев, Фельдман, 1984. С. 110, 111).

Соотношение вяжущего и заполнителя в табл. 3 представлено в трех вариантах: для извести-кипелки (оксид кальция), извести-пушонки (гидроксид кальция) и известкового теста – смесь гидроксида кальция с водой в соотношении 1:1 по весу (Значко-Яворский, 1963. С. 88). 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 призвал представлять результаты именно в таком виде (1963. С. 93). 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 образовалась большая путаница. Нередки случаи, когда одни исследователи считают

данный раствор жирным, а другие называют его тощим.

Более того, разнятся и методы определения соотношения вяжущего и заполнителя. Одни исследователи определяют его, исходя из данных химического анализа, другие – петрографического. На наш взгляд, предпочтительным является последний метод, так как химический анализ не позволяет точно отделить вяжущее от заполнителя. Петрографический анализ в этом отношении более надежен. Соотношение вяжущего и заполнителя в табл. 3 рассчитано для большинства образцов именно на основании данных петрографического анализа. Исключение составляют лишь несколько плохо перемешанных растворов (№ 11, 14, 16 и 17), где петрографический анализ, показывающий соотношение в каком-то одном срезе, может дать неверные результаты. В таких случаях более обоснованным представляется использование результатов химического анализа, которые, несмотря на возможность определенной погрешности, должны оказаться более точными, так как показывают валовое соотношение составляющих.

При использовании данных как петрографического, так и химического анализов необходимо вводить специальные поправочные коэффициенты (позволяющие пересчитать вяжущее на CaO , $Ca(OH)_2$ и тесто), так как петрографический анализ представляет известковое вяжущее в виде карбоната кальция ($CaCO_3$; известь для растворов старше 200–300 лет в значительной степени, иногда полностью, карбонизована), а химический анализ – в виде CaO . Об этом многие исследователи забывали, что привело к ошибкам в определении степени жирности растворов и невозможности сравнивать разные исследования между собой.

Исследование показало, что все 13 строительных растворов русских крепостей XVI–XVII вв. являются известково-песчаными, т.е. резко отличаются от в целом известково-цемяночных растворов XI–XIII вв. Вяжущая масса в исследованных растворах известковая, редко известково-глинистая. Заполнителем в основном является кварцевый песок (SiO_2), часто с примесью обломков пород (известняка и др.). Иногда явно присутствует недожженный известняк. Количество карбонатов не превышает 10% всего заполнителя (для № 12, Смоленск) и как правило находится в пределах до 5%. Как известно, карбонатный заполнитель повышает прочность и удобообрабатываемость раствора, а также ускоряет его твердение (Значко-Яворский, 1963. С. 256). 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. В некоторых пробах (например № 3 и 4 из Смоленска) петрографически установлено наличие вкраплений повторно использовавшейся извести (вероятно, к тому моменту карбонизированной, а значит, карбонатной добавки). Как известно, Смоленская крепость строилась “городовым мастером” Федором Конем. За несколько лет до этого Федор Конь принимал участие в строительстве Астраханского кремля. При возведении последнего ему прислали известь, которая была “обивана с кирпичю” при разборке построек бывшей Золотой Орды города Сарая. Известно, что “Федор Конь тое известь смотрив, сказал: толко тое известь мешати вполы с новою известью, и она в городовое дело пригодится” (Акты исторические..., 1841. С. 438; Косточкин, 1964. С. 38–40). Прием использования бывшей в употреблении извести (фактически карбонатной добавки) был хорошо известен русским зодчим.

Процентное соотношение вяжущего и заполнителя в исследованных растворах колеблется значительно: 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 (Медникова и др., 1978. С. 55). 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 (Значко-Яворский, 1963. С. 262).

Состав изученных растворов порой значительно колеблется даже в пределах одного памятника. Особенно наглядно это видно на примере Смоленска, где четыре образца растворов сильно различаются по прочности, соотношению вяжущего и заполнителя, количеству карбонатной составляющей в заполнителе, степени магнезиальности 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. (Медникова и др., 1978. С. 56).

Большинство растворов маломagneзиальны, хотя встречаются также магнезиальный (№ 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. Колеблущееся, порой ничтожное количество кирпичной добавки и часто наблюдающаяся ее грубозернистость, по мнению И.Л. Значко-Яворского (1963. С. 65), свидетельствует об использовании таким образом периодически накапливавшегося на строительстве кирпичного боя.

Современный раствор реставраторов (№ 14, Смоленск) – магнезиальный, жирный, близкий по составу древнерусским растворам, но отличается крайне плохой перемешанностью.

Исследованные растворы средневековых укреплений Англии и Уэльса очень близки по составу растворам русских крепостей XVI–XVII вв. Они маломagneзиальны, два из них чрезвычайно жирные, один тощий. Все растворы известково-песчаные, с примесью карбонатов и очень низким содержанием цемянки (доли процента). Схожий состав растворов характерен и для других объектов средневекового военного зодчества, например для растворов крепостей Германии и Нидерландов (Значко-Яворский, 1963. С. 164–166) или крепостного ансамбля Фуны (XV в., Крым) (Кирилло, 2005. С. 250–261).

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. Не встречается в первых 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 накоплен-

ного 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акты исторические, собранные и изданные Археологической комиссией. Т. I. СПб., 1841.
- Белик Я.Г., Папкова Л.П. Некоторые исследования строительных материалов киевских Золотых ворот // Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1953. № 5.
- Генцы Ю., Левина Т.В. Строительные материалы, примененные в некоторых памятниках архитектуры древнего Новгорода // Науч. работы студентов Ленинградского инженерно-строительного ин-та. 3. Л.; М., 1958.
- Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX в. М.; Л., 1963.
- Кирилко В.П. Крепостной ансамбль Фуны 1423–1475 гг. Киев, 2005.
- Косточкин В.В. Государев мастер Федор Конь. М., 1964.
- Лысин Б.С., Корнилович Ю.Е. Исследование древних киевских строительных растворов // Сб. науч. работ по химии и технологии силикатов. М., 1956.
- Медникова Е.Ю. К вопросу о качестве извести в древнерусских строительных растворах // КСИА. 1982. Вып. 172.
- Медникова Е.Ю., Раппопорт П.А. Строительные растворы древнего Новгорода // СА. 1991. № 4.
- Медникова Е.Ю., Раппопорт П.А., Селиванова Н.Б. Изучение древнесмоленских строительных растворов // КСИА. 1978. Вып. 155.
- Медникова Е.Ю., Раппопорт П.А., Селиванова Н.Б. Древнерусские строительные растворы // СА. 1983. № 2.
- Селиванова Н.Б. Опыт петрографического изучения строительных растворов построек Новогрудского детинца // КСИА. 1982. Вып. 172.
- Соболев Р.Н., Фельдман В.И. Методы петрохимических пересчетов горных пород и минералов. М., 1984.
- Трофимов И.В., Кирьянов И.А. Материалы к исследованию Нижегородского кремля // МИА. 1953. № 31.
- Швецов Б.С., Суровцов В.В. Древние строительные растворы // Тр. Ин-та строительных материалов. Вып. 32. М., 1930.
- Юнг В.Н. О древнерусских строительных растворах // Сб. науч. работ по вяжущим материалам. М., 1949.
- Юнг В.Н. Основы технологии вяжущих веществ. М., 1951.

Mortars of Russian fortresses of the 16th – 17th cc.

K. S. Nossov

Summary

Mortar from seven 16th – 17th cc. Russian fortresses (Nizhny Novgorod, Kolomna, Zariaisk, Serpukhov, Borisov Gorodok, Smolensk and Vyazma) was studied with the help of chemical and petrographic analysis. The following mortars were analyzed for comparison: contemporary mortar used by restorers in Smolensk and three mortars from Medieval fortifications in England and Wales: Chepstow, Conwy and Camber. For all the investigated mortars, lime-magnesian module, hydraulic (main) module, specific alumina and cohesive to filler ratio were calculated. The study showed that all the mortars from the 16th – 17th cc. Russian fortresses were sand-lime, which is in sharp contrast with the mainly crushed brick-lime mortars used in the 11th – 13th cc. Most of the mortars are low-magnesian and rich, with components ratio from 1:0.1 to 1:0.7.