

## Общее

Причины разрушения зданий и памятников можно разделить на две большие группы:

Первая — разрушение в результате целенаправленных, спланированных действий человека — вандализм, хозяйственная деятельность, научные исследования.

Вторая — разрушение в результате бездействия человека — разрушение под действием естественных причин — климата, воды, ветра (выветривание), солнца, подвижек почвы, вибрации, биологических объектов и так далее.

Причины первой группы предельно конкретны и понятны. Вопросы, которые связаны с ними, могут интересовать психологов, экономистов, культурологов, политиков и тому подобное.

Естественные причины, наоборот, представляют большой интерес, так как своевременный их учет позволяет продлить срок жизни здания и сократить затраты на уход за ним.

Биологические объекты — плесень, грибы, мхи, водоросли, бактерии.

## Основные факторы разрушения памятников архитектуры и скульптур на открытом воздухе

Факторы, которые приводят к полному разрушению постройки, разделяются на две существенно различающиеся группы.

1. Первая — антропогенные факторы, из которых наиболее мощным оказывается целенаправленная деятельность человека. Разрушение при этом происходит быстро и максимально полно, в большинстве случаев до полного исчезновения объекта. По принадлежности действующих в этом случае сил в нем выделяются в значительной степени независимые подгруппы: промышленно-техническая, бытовая (урбанистическую), грабительская и научно-исследовательская.
2. Вторая — природные факторы — осадки, паводки, землетрясения и др. Они действуют медленно и тоже могут привести к исчезновению памятника, но этот процесс, как правило, не заканчивается в течение периода времени, сопоставимого с продолжительностью жизни человека. Поэтому длительное время сохраняется возможность восстановления памятника.

Любому виду разрушения и деформации конструктивных элементов предшествует либо одна причина, либо, как правило, целая цепь взаимосвязанных причин, действующих в определенной последовательности и затрагивающих многие промежуточные связи.

Поэтому для правильной оценки технического состояния и назначения способа укрепления необходимо выявление и построение всей цепи разрушающих причин.

Все виды деформаций памятников можно разделить по причинам происхождения на две основные группы:

- деформации, связанные с внутренним, изначально заложенным пороком конструкции или системы «основание — памятник»;
- деформации, вызванные действием внешних, вторичных непредусмотренных факторов.

### **Причинами деформаций в первой группе могут быть:**

- неустойчивое естественное или искусственное основание фундаментов — лёсс, ил, просадочные и пучинистые грунты, бревенчатые распределительные подушки, деревянные сваи, различная органика;
- оползневый, карстовый, затапливаемый или сейсмический характер участка древнего строительства. Наличие родников, близкий уровень грунтовых вод;
- слабый (рыхлый, мелкозаложенный и т. п.) фундамент сооружения, непропорциональная нагрузкам площадь ленточных и столбчатых фундаментов в различного рода сооружениях, например храмах крестово-купольной системы;
- боковое давление грунта в подпорных стенках, засыпных цоколях, подвальных и ступенчатых конструкциях;
- недостаточная общая пространственная жесткость зданий (большепролетные и длинные сооружения, здания с высоко расположенным центром тяжести масс); большая деформативность сжатых элементов — колонн, стен, сводчатых перекрытий;
- слабый или незамкнутый связевой каркас;
- невоспринятый распор арочно-стоечных систем и сводчатых перекрытий;
- нерационально приложенная или чрезмерная нагрузка на перекрытия; внецентренная нагрузка вертикальных несущих конструкций;
- использование слабого — трещиноватого или нестойкого к атмосферным воздействиям строительного материала (например, недожженного кирпича, сырой древесины); нерациональная ориентация блоков анизотропного, например слоистого, материала; нерегулярный характер кладки;
- неблагоприятный разрушающий режим работы некоторых прочных строительных материалов, например новгородского железистого известняка, в фундаментных конструкциях, разрушающихся в агрессивной грунтовой среде, или элементов металлического связевого каркаса, корродирующих в гигроскопичном известковом растворе старой кладки;
- нерациональная для водостока или снегозадерживающая форма кровельных поверхностей; несовершенная гидроизоляция, способствующая намоканию и размораживанию кладки конструкций перекрытия (позакомарные покрытия, ступенчатые кровли с кокошниками, плоские кровли открытых галерей, лестничные площадки, балконы и др.);

- отсутствие деформационных и строительных швов в разнообъемных, вытянутых или разновременных сооружениях.

**Причинами деформаций второй группы** обычно бывают результаты человеческой деятельности:

- ирригационные работы,
- перепланировка и застройка участка памятника,
- внутренние перестройки в целях приспособления и различные эксплуатационные мероприятия.

К внешним причинам деформаций относятся также преднамеренные разрушения отдельных конструкций, последствия войн и стихийных бедствий.

**Вторичными причинами деформаций, в частности, являются:**

- изменение гидрогеологических условий участка памятника при обводнении и осушении территории с уменьшением несущей способности основания (снижение сил сцепления водонасыщенного грунта, гниение деревянных свай и другой органики, образование карстовых пустот, засоление грунта);
- рытье котлованов, бомбоубежищ, прокладка различных коммуникаций или линий метрополитена вблизи памятников; устройство глубоких подвалов и колодцев внутри существующих зданий;
- несоблюдение технологии при подводке фундаментов;
- пристройка к памятнику дополнительных объемов с большим заглублением фундаментов или значительной нагрузкой на основание;
- строительство рядом с памятником сооружений, оказывающих на него боковое давление;
- перепланировка и перестройка зданий с изменением начальной рабочей схемы (растеска и закладка проемов; замена сводчатых перекрытий плоскими; разборка существующих перекрытий или устройство дополнительных; демонтаж воздушных связей, разборка контрфорсов и контрфорсирующих пристроек);
- изменение (увеличение, перенос) эксплуатационной нагрузки;
- вибрационное воздействие транспорта, забивка и погружение свай, работа двигателей, генераторов и вентиляторов внутри здания; использование механизмов ударно-вращательного бурения для устройства шпуров и скважин инъекционного укрепления кладки;
- дефекты кровель, водостоков, отмосток; протечки водопровода и канализации;
- нарушение оптимального температурно-влажностного режима памятника;
- усушка древесины, обмятие узлов стержневых деревянных и комбинированных систем;
- неорганизованный сброс отходов химических и перерабатывающих предприятий, загрязнение воздуха различными соединениями, активно разрушающими строительный материал памятников.

## **Факторы, вызывающие разрушение настенной живописи**

Разрушения настенной живописи возникают вследствие физико-химических процессов, протекающих как в красочном слое, так и в штукатурке, то есть в его основе. Эти процессы значительно различаются по причинам, их вызывающим, и по формам разрушения.

Разрушения настенных росписей происходят при переменных температурно-влажностных условиях, при этом колебания влажности и температуры бывают иногда весьма резкими, а действие их очень продолжительным.

Особенно сильно влияние указанных факторов на основу росписей — штукатурку. Поэтому одной из важнейших задач является исследование влияния влаги при различных температурных условиях на физико-химические свойства штукатурок. Главный агрессивный агент — вода. В штукатурке (в стене) постоянно происходит миграция влаги, при этом вода может находиться в любом из трех агрегатных состояний. М. И. Сумгин дает примерную схему миграции влаги в пористых строительных материалах.

1. Пар. Основная причина миграции: разность упругостей водяных паров под влиянием разности температур, формы поверхности, состояние вещества (переохлажденная вода—лед).
2. Жидкость. Причины миграции: закон тяготения, напряжение в материале при его замерзании, капиллярные силы и силы кристаллизации.
3. Твердое тело (лед). Причины миграции: внешнее давление и напряжение в материале при его замерзании. Наиболее часто встречаются передвижения влаги в виде пара вследствие разности температур, а также и в виде жидкости благодаря капиллярным силам.

Под действием конденсационной влаги, даже когда нет подсоса влаги по всей стене, возможно отставание и разрушение красочного слоя из-за нарушения связи между отдельными частицами штукатурки. Особенно это сказывается при переменном увлажнении и высыхании, замораживании и оттаивании. Колебания содержания влаги вызывают также объемные изменения штукатурки и красочного слоя, вследствие чего возникают напряжения, приводящие к появлению трещин в штукатурке, шелушению и отставанию красочного слоя, его распылению. Некоторые процессы, происходящие под действием влаги, следует рассмотреть подробнее.

### **Процессы водопоглощения и водоотдачи**

Стойкость и долговечность пористых строительных материалов, в том числе известковых штукатурок, определяется их отношением к влаге. Водопоглощение штукатурки в сильной степени зависит от ее пористости и от гигроскопичности ее

составных частей. Немалое значение имеет состояние поверхности: гидрофильность (смачиваемость), загрязненность разной активности. Определенную роль играет степень распыления поверхности красочного слоя и штукатурки и размер их частиц, так как поглощение влаги начинается с поверхностной адсорбции, прямо зависящей от величины свободной поверхности, которая тем больше, чем меньше размер частиц.

Пористость штукатурки характеризуется количеством пор, их размерами, формой, их распределением и взаимосвязью. Структурные особенности пористости — длина и диаметр капиллярных каналов, а также отношение их объема к объему штукатурки — определяют ее способность не только к водопоглощению, но и к водоотдаче.

Способность материала насыщаться водой только под влиянием капиллярных сил называется капиллярным всасыванием. Опыты по определению капиллярного всасывания для различных строительных материалов, в том числе и известковых растворов (штукатурки), проведены Р. С. Бриллигом в 1948 г. в Лаборатории строительной физики ЦНИПЕ. Исследования показали, что скорость всасывания влаги пористыми материалами особенно велика в первые 5 минут. За следующие 15 минут она понижается примерно в 2—3 раза, а к концу первого часа еще в 2 раза. Большинство таких материалов при погружении в воду на 5 минут поглощает почти половину того количества воды, которое они могут поглотить при полном насыщении.

Процессы водоотдачи строительными материалами изучены сравнительно мало, и данные, имеющиеся в литературе, относятся в основном к керамическим и силикатным материалам. Водоотдача происходит обычно медленнее, чем водопоглощение. По данным С. С. Чарного, основное водопоглощение происходит за 16—28 часов, а время водоотдачи измеряется сутками.

На скорость водоотдачи влияет скорость испарения влаги с поверхности. При высыхании пористого материала влага в той или иной форме перемещается из внутренних слоев к поверхности. Перемещение влаги происходит как при отсутствии температурного градиента внутри материала (водопроводность), так и при наличии его (термовлагопроводность). По исследованиям А. В. Лыкова, в капиллярно-пористом материале возможны одновременно и диффузия пара и капиллярное движение жидкости.

## **Изменения механических свойств штукатурок**

Насыщение штукатурок водой увеличивает объем, объемный вес и теплопроводность и уменьшает воздухопроницаемость. Под влиянием перемещения и испарения влаги нарушается связь между составными частями штукатурки и происходит разрыхление ее структуры, а вследствие этого понижается ее механическая прочность. Основной причиной понижения прочности и твердости известковых штукатурок при их увлажнении А. П. Ребиндер и Б. В. Дерягин считают расклинивающее действие воды, впитывающейся в поверхностные поры и микротрещины под влиянием молекулярных сил. Многократное насыщение водой и высушивание штукатурки (что обычно

происходит во внутренних стенах памятника) влечет за собой усталость материала от повторяющихся внутренних напряжений и ослабление их прочности как в увлажненном, так и в сухом состоянии. К таким выводам приходит Философов, изучавший действие воды на керамические и силикатные строительные материалы. Прочность этих материалов при нахождении их в воде падает тем больше, чем продолжительнее увлажнение.

Один из наиболее сильных разрушающих факторов— действие воды, замерзающей в порах и трещинах штукатурки.

При переходе воды в лед, вследствие увеличения ее объема на 9% от первоначального, возникают высокие давления. Поэтому в неоттапливаемых памятниках, расположенных в районах с континентальным климатом, штукатурки ежегодно в течение продолжительного времени подвергаются действию чрезвычайно высоких механических напряжений, разрушительная сила которых особенно возрастает в весенне-осенние месяцы, когда часты переходы воды из одного агрегатного состояния в другое. В подобных памятниках наблюдается особенно значительное понижение механической прочности штукатурок.

### **Физико-химические изменения штукатурок**

Насыщение водой вызывает не только механическое разрушение штукатурок, но и более сложные физико-химические изменения, которые в конечном итоге приводят к тому же результату. В присутствии воды под действием содержащегося в воздухе углекислого газа в штукатурке могут протекать процессы гидролиза солей, в ходе которых практически нерастворимый средний (нормальный) карбонат кальция превращается в полностью растворимую кислую соль.

Вследствие этого процесса, с одной стороны, ухудшаются вяжущие свойства штукатурки, с другой — становится возможным растворение и вымывание части штукатурки постоянно мигрирующей в ней водой. В результате в материале, который первоначально был монолитным твердым кристаллическим телом, возникают пустоты, утрачивается связь между кристаллами, происходит разрушение структуры, а в итоге опять-таки понижается механическая прочность.

Под действием капиллярных сил и испарения в памятниках преобладают перемещения влаги вверх по стене и из глубины штукатурки к поверхности, что вызывает перенос и отложение солей. В зависимости от кладки, содержания влаги, условий вентиляции, температурных перепадов и ряда других причин эти процессы протекают по-разному на различных участках стены и в разных слоях штукатурки. Наряду с местами, где преобладает растворение, имеются места, где происходит кристаллизация солей.

В результате указанных процессов на стене появляется зона максимального выветривания штукатурки. Если отсутствует изоляция от почвенных вод, эта зона

располагается обычно на высоте 1,5—2,5 м от уровня пола, а также в местах, где затруднено или невозможно свободное испарение влаги. При изменении условий движение жидкой воды и пара возможно в обратном направлении. В этом случае максимальное выветривание возникает в местах встречи двух потоков.

Вследствие растворения, переноса и отложения солей в штукатурке образуется два слоя: глубинный, разрыхленный выщелачиванием, и наружный, уплотненный отложением солей. Вода, пропитывающая стены, не является химически чистой, а содержит те или иные анионы, попадающие в нее либо из воздуха (особенно в промышленных городах и приморских районах), либо из почвы. Сульфат- и хлорид-ионы обуславливают частичное превращение карбонатов кальция как солей слабой кислоты в сернокислые и хлористые соли. При этом сульфат кальция, отлагающийся в поверхностном слое штукатурки, придает ему особенную плотность, твердость и хрупкость, одновременно снижая растворимость. Вместе с тем внутренний слой постепенно утрачивает плотную структуру и превращается в сыпучее зернистое или пылевидно-мучнистое вещество. При этих превращениях и поступлении все новых порций влаги и растворимых солей увеличивается объем, что при пониженной проницаемости наружной корки приводит к сильному напряжению. Суммарное действие осмотического давления растворенных веществ, кристаллизационного давления солей, увеличения объема воды при изменении агрегатного состояния и т. п. часто приводит к растрескиванию, отслоению и отпадению корки, вследствие чего разрушение штукатурки быстро прогрессирует.

С грунтовыми водами в штукатурку попадают сульфаты и хлориды натрия и магния, одним из характерных свойств которых является склонность к образованию кристаллогидратов с различным содержанием кристаллизационной влаги. Переход одной модификации соли в другую происходит непосредственно в твердой фазе и сопровождается резким увеличением объема и, следовательно, возникновением значительного давления.

Вследствие того что переход ряда кристаллогидратов из одного в другой происходит при обычной температуре и влажности воздуха, пористая штукатурка, пропитанная сульфатами, постоянно испытывает внутренние напряжения, ведущие к ее ослаблению или разрушению. При определенных условиях сульфаты прорывают наружную известковую корку и образуют на ней многочисленные очаговые отложения в виде выцветов, именуемых ямчугой. Появление на поверхности настенных росписей ямчуги служит показателем высшей степени деструкции ее основы — штукатурки и необратимо разрушает красочный слой.

## **Разрушения красочного слоя темперно-клеевой живописи**

Главной причиной отрыва красочной пленки от штукатурки является нарушение адгезионных связей красочного слоя со штукатуркой вследствие действия влаги. Краски с избыточным количеством связующего дают паронепроницаемое плотное покрытие поверхности штукатурки, закрывая поры и микропоры. Влага, мигрирующая

из внутренних слоев, накапливается под пленкой красочного слоя и отрывает ее от основы.

Собственно красочный слой настенных росписей разрушается как под действием факторов, действующих на основу — штукатурку, так и под действием некоторых специфических факторов, к числу которых относятся и биологические. При повышенной относительной влажности на поверхности росписей могут развиваться различные микроорганизмы: некоторые виды плесневых грибов, водорослей и бактерий.

Плесени, как правило, поражают росписи внутренних стен памятников. Водоросли чаще развиваются на наружных поверхностях стен, встречаясь иногда и на внутренних. Колонии микроорганизмов образуют пятна, окрашивают поверхность и т. д. Но еще более существенно другое.

В процессе жизнедеятельности микроорганизмы выделяют веществ а— органические кислоты и ферменты, которые, накапливаясь в красочном слое, вредно действуют на него. Например, разрастающийся мицелий, внедряясь между отдельными частицами и кристаллами поверхности, нарушает связь между ними и сцепление красочного слоя со штукатуркой. Но наибольшую опасность представляют бактерии, выделяющие серную кислоту, что ведет к быстрому разрушению материалов стеной живописи, а также самой штукатурки.

## **Влияние механических загрязнений**

Многие настенные росписи имеют сильные поверхностные загрязнения, которые не только искажают их, но подчас почти полностью скрывают целые фрагменты. Однако влияние поверхностных загрязнений на качество красочного слоя этим не ограничивается. Твердые частицы пыли в известной степени действуют как абразивы и способствуют возникновению на поверхности красочного слоя многочисленных микроскопических царапин и трещин, благодаря чему облегчается доступ паров воды и газов в более глубокие слои.

Некоторые из твердых частиц морских и почвенных солей, например хлориды и сульфаты, заносимые ветром, химически активны и гигроскопичны, поэтому оказывают непосредственное химическое воздействие на пигменты, а также являются центрами конденсации влаги на поверхности росписей. Другие частицы, как, например, сажа, уголь, химически нейтральны, однако обладают способностью сильно адсорбировать из окружающей среды агрессивные газы и пары, и их концентрация на поверхности красочного слоя оказывается значительно повышенной.

Жировые загрязнения способны изменять фактуру, светопреломление и отражающую способность красочного слоя. Кроме того, любые органические загрязнения являются дополнительной питательной средой для микроорганизмов. Таким образом, поверхностные загрязнения либо непосредственно разрушают красочный слой, либо



создают благоприятные условия для действия других агрессивных факторов.

## **Старение связующего красочного слоя**

Разрушение красочного слоя обуславливается также естественным старением органического связующего темперной и клеевой живописи. Минеральные пигменты представляют собой нерастворимые в воде окислы и соли металлов, их состав и свойства почти не изменяются даже при резких колебаниях температуры и влажности. При воздействии кислорода и других атмосферных газов, ультрафиолетовых лучей, влаги, колебаний температуры и влажности происходит изменение структуры связующего, что ухудшает его физико-химические свойства, приводит к появлению хрупкости и микротрещин. Обычно органические связующие красочного слоя темперно-клеевой живописи представляют собой продукты белковой природы (яйцо) или полисахариды (камеди). Под влиянием повышенной относительной влажности воздуха белки подвергаются физико-химическим и биологическим изменениям. Они набухают и при этом меняется их структура и как следствие этого механическая прочность. В то же время, являясь хорошей питательной средой для микроорганизмов, белки интенсивно разрушаются вследствие химического расщепления ферментами. Образующиеся при этом пептоны, полипептиды, дипептиды превращаются в аминокислоты, которые в свою очередь могут распадаться до аммиака. Все эти продукты разрушают красочный слой.

Желтковые эмульсии, кроме белков, содержат значительное количество жиров. Под действием ферментов жиры подвергаются гидролизу (расщеплению), образуя свободные жирные кислоты. Последние вступают в химическое взаимодействие с аммиаком, появившимся при распаде белка, в результате чего возникают аммонийные соли. При нормальной относительной влажности воздуха, когда развитие микроорганизмов значительно ослаблено, содержащиеся в желтковых эмульсиях жиры окисляются за счет кислорода воздуха. Образуются перекись водорода, альдегиды (высокоактивные химические вещества), низкомолекулярные кислоты (масляная) и другие органические соединения. При этом происходят химические изменения молекул белка с образованием аминов — высокоактивных химических соединений, оказывающих разрушительное действие на красочный слой.

## **Причины разрушения настенной живописи**

Разрушения красочного слоя настенных росписей, выполненных в технике фресковой росписи, обусловлены теми же факторами, которые приводят к разрушению штукатурки, а также действием поверхностных загрязнений и значительно реже — биологических факторов. В основном происходит разрушение нерастворимого  $\text{CaCO}_3$  и превращение его в растворимый  $\text{Ca}$ . Происходит вымывание минерального вяжущего вещества, снижение и даже утрата вяжущих, цементирующих свойств. Механическая прочность штукатурки и красочного слоя понижается, нарушается их сцепление. Сам живописный слой теряет связность, становится порошковатым, пигмент распыляется.

## Виды разрушений настенной живописи

Разрушение фресковой и темперно-клеевой живописи чаще всего наблюдается в виде распыления пигмента и отставания от штукатурки деформированных чешуек красочного слоя (темпера). Часто встречается комбинация разных видов разрушений: например, верхний слой имеет шелушение, а нижний — распыление пигмента и наоборот.

Подобные разрушения живописи могут быть обусловлены не только процессами старения, но и неправильной рецептурой и технологией исполнения живописи. Например, темперно-клеевая живопись быстро разрушается при неправильном соотношении связующего и пигментов в красках. Если связующего мало, красочный слой распыляется или очень мелко шелушится. При избытке связующего (особенно белкового) в пленке возникают большие внутренние напряжения, приводящие к растрескиванию, отрыванию и шелушению красочного слоя, шелушение при этом жесткое, деформированное.

Разрушения настенных росписей можно разделить на две группы. К первой относятся разрушения, обусловленные деструкцией и вымыванием минерального вяжущего CaCO<sub>3</sub> (фрески) и органического связующего — камеди (клеевая живопись), что приводит к разрыхлению штукатурки, утрате ее связи с красочным слоем и распылению пигментов. Ко второй группе относятся разрушения, происходящие в результате раскливающего действия влаги. Оно понижает адгезионную прочность красочного слоя, при этом происходит жесткое, деформированное шелушение и отставание крупных фрагментов красочного слоя (темперная живопись).

Необходимо различать эти два основных типа разрушения, так как характер разрушения определяет выбор материалов, средств и методов укрепления. В первом случае в красочный слой требуется ввести новое связующее, чтобы на основе старого (авторского) пигмента придать живописи прочность. Во втором случае необходимо приклеивание красочного слоя к основе без введения в него связующего. При комбинированных разрушениях желательно одновременное укрепление распыленного пигмента и приклеивание шелушащегося красочного слоя.

## Причины разрушения интерьерной скульптуры

Самыми распространенными причинами этого можно назвать следующие:

- старение материала;
- технологические просчеты в процессе изготовления скульптуры;
- неквалифицированное хранение, уход и реставрация.

Разрушение памятника ускоряют технологические ошибки при его изготовлении:

- нарушение устойчивости из-за смещения оси равновесия;

- применение корродирующих штырей и пионов (штырь ребристого сечения);
- несоблюдение конструктивных требований, таких, как недостаточные монолитность и компактность несущих элементов скульптуры или слишком тонкая детализация вынесенных частей, не согласованных с прочностью примененной породы камня и т. д.

## **Причины разрушения деревянных конструкций**

- Гниение
- Деформация
- Животные паразиты — грибы и бактерии
- Вредители
- Пожары и прочие человеческие факторы, включая несвоевременную или отсутствующую реставрацию\консервацию.

- 
1. Иванова А.В. Причины разрушения настенной живописи / А.В. Иванова // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация. - 1975. - № 1(31). - С. 110-120.
  2. Реставрация памятников архитектуры: Учеб. пособие для вузов/С. С. Подъяпольский, Г. Б. Бессонов, Л. А. Беляев, Т. М. Постникова; Под общ. ред. С. С. Подъяпольского.— М.: Стройиздат, 1988.— 264. с.: ил.
  3. Чистяков А.Н., Крогиус М.Э. Типология разрушений памятников культуры / СПб: СПбКО, 2014. — 153 с.