КОРОЛЕВ В.А.
Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, korolev@geol.msu.ru
КУЗНЕЦОВА Н.В.
Государственный эксперт-инженер ГАУ «Мосгосэкспертиза», г. Москва, ndemina2006@yandex.ru
KOROLEV V.A.
Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geology and Mineralogy); Moscow, korolev@geol.msu.ru
KUZNETSOVA N.V.
State expert-engineer of the «Moscow State Expertise» State Autonomous Institution of the Moscow city, Moscow, ndemina2006@yandex.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ И ПРОВЕДЕНИИ ИХ МОНИТОРИНГА

ASSESSMENT OF THE STATE OF LITHOTECHNICAL SYSTEMS OF HISTORICAL-CULTURAL STRUCTURES FOR SUBSTANTIATION AND REALIZATION OF THEIR MONITORING

Ключевые слова: мониторинг; литотехническая система (ЛТС); историко-культурная литотехническая система (ИЛТС); устойчивость функционирования; состояние.

Аннотация: в статье рассматривается оценка состояния литотехнических систем, относящихся к культурно-историческим зданиям (ИЛТС), с позиций анализа устойчивости их функционирования. Приводятся наиболее значимые аспекты последней — пространственный, временной, механический, геодинамический, микроклиматический, микробиологический, эколого-геологический, устойчивости исторического облика. Выделены категории состояния культурно-исторических зданий, позволяющие дать им комплексную характеристику, на основании которой могут быть обоснованы состав наблюдений и исследований, проводимых в рамках мониторинга ИЛТС, и их временной регламент.

Key words: monitoring; lithotechnical system (LTS); historical-cultural lithotechnical system (HLTS); sustainability of functioning; state.

Abstract: the article discusses assessment of the state of lithotehnical systems relating to historical-cultural buildings (HLTS) in the context of analysis of their functioning sustainability. The most significant aspects of the sustainability such as the spatial, temporal, mechanical, geodynamical, microclimatic, microbiological, ecological-geological, historical-look-stability ones are considered. The authors single out categories of the state of historical-cultural buildings. These categories allow to characterize HLTS comprehensively. On the basis of this characteristic the composition and time schedule of the observations and investigations in the HLTS monitoring framework can be substantiated.

Введение

Мониторинг является неотъемлемой частью мероприятий по обеспечению сохранности и устойчивости зданий и сооружений, относящихся к памятникам архитектуры, истории и культуры. Он должен выполняться как для статусных зданий-памятников, так и для так называемой рядовой исторической застройки.

В современной строительной практике мониторинг часто сводится лишь к режимным наблюдениям за деформациями зданий и за изменениями отдельных компонентов геологической среды, в первую очередь уровней подземных вод. Однако понятие «мониторинг» намного шире и помимо режимных наблюдений включает оценку, прогноз и управление объектом мониторинга [6].

Обоснование мониторинга исторических зданий требует особого комплексного подхода, основанного на рассмотрении здания и взаимодействующей с ним области геологического пространства как единой системы — историко-культурной литотехнической системы (ИЛТС) [7, 8], состоящей из двух подсистем — технической и геологической. Важными особенностями, выделяющими их среди прочих литотехнических систем города, являются длительное время существования и особый статус технической подсистемы, определяющий ориентацию управляющих воздействий на сохранение памятников истории и культуры.

Одной из основных задач мониторинга является контроль состояния ИЛТС, включающий наблюдения за системой в целом и за ее отдельными компонентами, оценку происходящих в ней изменений и принятие управляющих решений, направленных на сохранение исторического здания и оптимизацию функционирования относящейся к нему литотехнической системы.

На сегодняшний день оценка состояния литотехнических систем (ЛТС), как правило, ограничивается лишь оценкой технического состояния здания или его отдельных конструктивных элементов. Отсутствует сбалансированная система показателей, позволяющих оценить функционирование системы «здание — геологическая среда» в целом.

Поэтому целью настоящей статьи является обоснование похода к оценке состояния историко-культурных литотехнических систем в рамках мониторинга с позиций анализа устойчивости их функционирования. Основными задачами статьи являются выделение значимых аспектов устойчивости и категорий состояния ИЛТС, которые могут быть использованы в рамках обоснования их мониторинга.

Оценка устойчивости как новый подход к оценке состояния ИЛТС

Под *состоянием историко-культурной литотехнической системы* понимается совокупность геологических и технических параметров, определяющих ее функционирование в некоторый момент времени. В пространстве ее состояний выделяется *область допустимых значений*, границы которой соответствуют предельно допустимым значениям параметров-координат системы [2, 3].

Ключевым понятием, предлагаемым авторами для оценки состояния ИЛТС, является *устойчивость ее функционирования.* Существует большое количество подходов к определению устойчивости системы. Наиболее часто под такой устойчивостью понимают способность системы выполнять свои функции в тех или иных условиях [9]. Исходя из этого под *устойчивостью функционирования историко-культурной литотехнической системы предлагается понимать ее способность выполнять свои функции (культурные, просветительские, исторические, воспитательные, религиозные и т.п.) с заданными показателями качества в меняющихся со временем условиях окружающей среды*. При этом устойчивость функционирования ИЛТС не исключает динамичности этих систем.

Оценка состояния литотехнических систем с позиций устойчивости их функционирования основывается на исследованиях *устойчивости геологической среды*, подробно рассматриваемой в работах [1, 3, 14, 17].

При оценке устойчивости функционирования исторической литотехнической системы следует иметь в виду, что одно из основных возмущающих воздействий по отношению к ней производит ее техническая подсистема. Условия, обусловливающие изначальную устойчивость геологической подсистемы (рельеф, состав, состояние и свойства грунтов, подземные воды и др.), претерпевают существенные изменения в результате воздействия техногенных факторов городской среды даже за относительно короткие исторические промежутки времени. Кроме того, ИЛТС обладают определенной инерционностью, так как способны накапливать результаты возмущающих воздействий, не изменяя своей структуры и/или режима функционирования до некоторого момента времени. При этом следует отметить, что исторические литотехнические системы способны к восприятию меньших возмущающих воздействий по сравнению с современными ЛТС (это связано с тем, что возмущающие воздействия накапливались в течение длительного периода времени, существенно превышающего «нормативные сроки» службы строительных конструкций).

Устойчивость системы, в том числе литотехнической, может иметь множество различных аспектов, нарушение одного из которых может повлечь за собой нарушения других. Этим и определяется важность ее оценки в ходе мониторинга.

Оценка устойчивости может проводиться с точки зрения учета внешних воздействий и реакции системы на такие воздействия. В условиях городской среды часто сложно охватить все возможные техногенные воздействия и отделить их друг от друга, в связи с чем подход к наблюдениям за реакциями системы (процессами, происходящими в ней) представляется более рациональным.

Устойчивость как оценочный критерий состояния ИЛТС в инженерно-геологических целях должна рассматриваться в пространстве и в физическом времени.

Среди аспектов устойчивости, которые должны рассматриваться в рамках обоснования мониторинга ИЛТС, следует выделить типичные для всех литотехнических систем вне зависимости от длительности существования и видов технических подсистем (такие как пространственный, временной, механический, геодинамический аспекты), а также специфические, характерные лишь для исторических ЛТС (к числу которых относятся микроклиматический, микробиологический, эколого-геологический аспекты и аспект устойчивости исторического облика). Рассмотрим эти аспекты подробнее.

Пространственный аспект устойчивости ИЛТС выражается в способности историко-культурной литотехнической системы сохранять связи между отдельными подсистемами и отдельными элементами подсистем (для элементарных ИЛТС), а также между отдель-

ными ЛТС в пределах ИЛТС локального уровня.

Нарушение пространственной устойчивости выражается в потере общего пространственного облика ИЛТС, изменении его внешнего вида, в том числе при перестройке, ремонте, реконструкции и нарушениях пространственной жесткости здания.

Временной аспект устойчивости ИЛТС характеризуется способностью историко-культурной литотехнической системы сохранять во времени свою структуру и назначение. Он находит отражение в повторяемости (цикличности) процессов, происходящих в системе [2]. В связи с этим одним из основных параметров, на основании которых можно сделать заключение о нарушении временной устойчивости, является изменение во времени «траектории движения» системы, которое может выражаться в том числе в нарушении характера (режима, знака, скорости, цикличности, равномерности) горизонтальных и вертикальных перемещений системы и ее компонентов друг относительно друга во времени. Временной аспект устойчивости для ИЛТС, в отличие от других сооружений, может проявляться в течение нескольких сотен (а иногда и тысяч) лет. В ходе мониторинга этот аспект оценивается на базе ретроспективного анализа (в том числе на базе археологических и архивных материалов).

Механический аспект устойчивости ИЛТС проявляется в физико-механической стабильности отдельных компонентов системы при внешних воздействиях различной природы, в том числе техногенных, и способности этих компонентов воспринимать фактически действующие нагрузки.

В рамках оценки устойчивости ЛТС целесообразно не рассматривать показатели состояния геологической среды сами по себе, а сопоставлять их с передаваемыми на грунтовый массив основания нагрузками — механическими воздействиями, основным источником которых, как правило, выступает техническая подсистема ЛТС (здание или сооружение). С учетом режима эксплуатации зданий исторической застройки, основным видом механического воздействия является влияние веса здания или сооружения.

Нарушения механической устойчивости выражаются в формировании зон концентрации напряжений (перегруженных участков в системе «здание — основание»), деформациях конструкций, образовании трещин, развитии неравномерных осадок здания и разрушении его частей.

Ключевым элементом ИЛТС является фундамент, который выступает в качестве переходного элемента между надземной частью здания и геологической средой и располагается в зоне наиболее интенсивных взаимодействий техногенной и геологической подсистем.

В качестве параметров механической устойчивости ИЛТС авторами предлагается рассматривать *уровни нагружения грунтов основания и фундамента*, характеризующие соответственно способность основания и фундамента воспринимать фактически действующие нагрузки от конструкций здания.

Уровни нагружения определяются по результатам инженерно-геологического обследования (проходки шурфов, опробования грунтов основания, залегающих под подошвой фундамента, определения их физико-механических свойств, установления прочности материалов фундамента с приоритетным использованием методов неразрушающего контроля, детального обследования, выявления нагрузок).

Уровень нагружения грунтов основания ($K_{осн}$) равен отношению фактического напряжения (σ) под подошвой фундамента к величине расчетного сопротивления грунта основания (R):

$$K_{осн} = \sigma/R. \qquad (1)$$

Величина R определяется согласно формуле 5.7 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» (актуализированной редакции СНиП 2.02.01-83*).

Уровень нагружения фундамента ($K_{фунд}$) равен отношению фактического напряжения в кладке фундамента ($\sigma_{фунд}$) к расчетному сопротивлению материала (кладки) фундамента сжатию ($R_{фунд}$):

$$K_{фунд} = \sigma_{фунд}/R_{фунд}. \qquad (2)$$

Если коэффициенты уровней нагружения $K_{осн}$ и $K_{фунд}$ меньше единицы, то имеет место устойчивое состояние обследуемого участка (части ИЛТС). Значения этих коэффициентов, равные единице, принимаются в качестве границ области допустимых состояний (предельного равновесия). Разница между значением уровня нагружения и единицей характеризует запас механической устойчивости системы.

Если значение хотя бы одного из коэффициентов $K_{осн}$ и $K_{фунд}$ становится больше единицы, то это означает переход ИЛТС из устойчивого в неустойчивое состояние. При этом переход происходит через область предельного равновесия, соответствующую уровням нагружения 1,0–1,2 (когда фактически действующие нагрузки не более чем на 20% превышают расчетное сопротивление грунта основания или материала фундамента). При функционировании в области предельного равновесия не наблюдается видимых нарушений пространственной целостности системы, однако, если не принять оперативных мер, может произойти переход в неустойчивое состояние, сопровождающийся аварийными деформациями.

Перегруженные участки, на которых коэффициенты уровней нагружения больше единицы, являются зонами существующих или ожидаемых деформаций сооружения и неустойчивого состояния системы.

Предлагаемые количественные показатели учитывают параметры технической подсистемы и показатели физико-механических свойств грунтов основания здания, позволяют прогнозировать поведение системы. Также следует учесть, что показатели физико-механических свойств грунтов основания и прочностных характеристик материала фундамента меняются с течением времени, как правило, в сторону ухудшения (если не проводятся соответствующие мероприятия по их улучшению). Вследствие этого значения $K_{осн}$ и $K_{фунд}$ могут увеличиваться на протяжении времени существования ИЛТС.

Уровни нагружения определяются по результатам инженерно-геологического (геотехнического) обследования для конкретных участков здания. Их значения не всегда можно распространить на все здание или какую-то его часть, поэтому оценка общей механической устойчивости ИЛТС выполняется на основании экспертного анализа всего объема информации, полученной при инженерно-техническом обследовании. Проанализировав полученные сведения о значениях уровней нагружения и процентном содержании изношенных конструкций в общем объеме конструкций, можно сделать выводы о механической устойчивости ИЛТС в целом.

Геодинамический аспект устойчивости ИЛТС выражается в устойчивости системы по отношению к инже-

нерно-геологическим процессам (существующим и потенциально возможным). Нарушение геодинамической устойчивости проявляется в возникновении неблагоприятных инженерно-геологических процессов или активизации уже существующих в пространстве геологической среды, взаимодействующем с данной ИЛТС.

Следует отметить, что в существующей строительной практике роль инженерно-геологической составляющей в обеспечении функциональной устойчивости здания часто недооценивается. На момент возведения исторических зданий не проводились (в современном смысле) полноценные инженерные изыскания. Таким образом, неизвестны исходные инженерно-геологические условия площадки, в связи с чем нарушения устойчивого функционирования ИЛТС, в том числе аварийные деформации, связаны с особенностями геологической подсистемы и изменениями ее отдельных компонентов, которые, как правило, были недоучтены или не могли быть учтены на момент возведения исторических зданий.

При обосновании мониторинга должны быть выделены основные геодинамические процессы, влияющие на сохранность историко-культурной литотехнической системы и определяющие динамику ее развития, и оценена ее устойчивость по отношению к ним. При этом нужно учитывать не только существующую геодинамическую обстановку, но и потенциальную возможность активизации процессов с течением времени, в первую очередь в результате действия техногенных факторов, появление которых часто сложно спрогнозировать.

Например, в пределах исторического центра г. Москвы основные геологические риски для ИЛТС связаны с развитием карстовых и суффозионных процессов, подтоплением, криогенным пучением грунтов слоя сезонного промерзания, наличием техногенных, слабых и плывунно-неустойчивых грунтов, а также с формированием различных техногенных физических полей. Основными инженерно-геологическими процессами, оказывающими влияние (в том числе потенциально возможное) на устойчивость ИЛТС исторического центра г. Москвы, являются карстовые, суффозионные процессы и подтопление. Видимые проявления этих процессов выражаются в оседаниях земной поверхности, изменениях уровней и химического состава подземных вод, сверхнормативных и неравномерных осадках зданий.

Потенциальная возможность проявления процессов обусловлена наличием предпосылок (основных условий) для их развития. Для карстовых и суффозионных процессов это наличие интенсивно закарстованных пород каменноугольного возраста, рыхлых и суффозионно-неустойчивых отложений, приуроченность участков к древним погребенным долинам доюрского и доледникового возраста и другим ослабленным зонам, незначительная мощность (менее 10 м) или полное отсутствие перекрывающего известняки глинистого водоупора [5, 10].

Оценка подтопляемости (потенциальной подтопляемости) выполняется путем сравнения глубины заложения фундаментов и расположения уровня подземных вод (зафиксированного в определенный момент времени, например при производстве инженерно-геологических изысканий, и прогнозного с учетом сезонных колебаний, тенденций к изменениям, например к снижению в результате водоотбора). Причем если планируется трансформация ИЛТС (например, освоение подземного пространства Театральной площади в г. Москве), то возможность подтопления оценивается как для существующих исторических фундаментов, так и для проектируемой подземной части.

Опасность для сохранности исторических фундаментов представляют воды типа верховодок, которые могут формироваться в отдельные многоводные периоды года или при утечках из водонесущих коммуникаций. Предпосылкой для формирования верховодок является наличие локальных глинистых водоупоров в техногенных грунтах и песчаной толще четвертичных отложений.

Предпосылкой для развития инженерно-геологических процессов, связанных с наличием слабых грунтов, является присутствие в сжимаемой толще основания рыхлых четвертичных отложений, водонасыщенных неустойчивых по отношению к различным фильтрационным деформациям (с развитием плывунов, суффозии, разжижения, выпора, выдавливания и др.) грунтов, техногенных грунтов.

Существует несколько методов оценки геодинамической устойчивости геологической среды — механико-математический, физического моделирования, картографический. Последний предполагает построение комплекта аналитических и синтетических геодинамических карт, на которых отражена устойчивость ИЛТС, в том числе к различным инженерно-геологическим процессам (для исторического центра г. Москвы — к карстовым и суффозионным процессам, подтоплению, а также к различным процессам, связанным с наличием слабых грунтов).

В рамках оценки устойчивости ИЛТС по отношению к карстовым и суффозионным процессам производится разделение территории системы на участки с различными категориями опасности, которое может выполняться согласно методике, разработанной ИГЭ РАН [10].

Совмещение полученных карт-схем дает возможность оценить наличие или потенциальную возможность развития опасных инженерно-геологических процессов и учесть их в процессе мониторинга.

Выполнение подобных исследований для ИЛТС имеет большое значение, так как перед строительством исторических зданий комплексного изучения инженерно-геологических условий территорий не проводилось, а выбор того или иного инженерного решения часто был интуитивным — на основе существовавшей на тот момент строительной практики, которая не могла должным образом учесть такие процессы, как карст, суффозия и техногенное подтопление. Еще одной важной особенностью, которая может быть оценена с помощью подобных карт-схем, является возможность анализа неоднородности геодинамической устойчивости в пределах площадки исследуемой ИЛТС, учет которой может помочь оптимизировать наблюдательную сеть мониторинга.

Таким образом, мониторинг геодинамической составляющей должен включать, с одной стороны, наблюдения за видимыми проявлениями инженерно-геологических процессов (осадками и оседанием земной поверхности, затоплением подвалов), а с другой стороны — контроль изменений компонентов инженерно-геологических условий (состояния грунтового основания — напряженно-деформированного состояния грунтового массива, формирования зон разуплотнения, послойных смещений слоев грунта, изменений уровней, температуры и химического состава подземных вод).

Микроклиматический аспект устойчивости ИЛТС находит отраже-

ние в стабильности и оптимальности температурно-влажностного режима исторического здания, обеспечивающего сохранность интерьеров, старинных материалов, ценных экспонатов и комфорт для находящихся в нем людей. Этот аспект может быть оценен по таким параметрам, как температура и влажность воздуха в помещениях различного назначения (и пределы их изменений для помещений разного типа и назначения — залов, фойе, служебных, складских, фондовых помещений и пр.), пределы сезонных колебаний температуры внутри и вне помещений, влажность стен подвальных помещений и уникальных фундаментных конструкций, вентилируемость воздуха в разных помещениях и др.

Температурно-влажностный режим зданий характеризуется микроклиматом внутренних конструкций и температурно-влажностным режимом материалов конструкций. Этот режим является динамичной величиной и определяется как климатическими факторами (суточными и сезонными их изменениями), так и состоянием технической системы (ее способностью обеспечивать защищенность внутреннего объема от внешней среды (метеоусловий) и поддерживать заданный микроклиматический режим). Он может меняться на протяжении всего времени существования объекта (например, при появлении отопления, которого не было во время строительства, создании пристроек, которые меняют градиенты температуры и характер циркуляции воздуха в помещениях, изменении функционального назначения и, как следствие, режима эксплуатации здания, например если храм становится музеем, как это произошло с соборами Московского Кремля).

Как правило, нарушения микроклиматической устойчивости не ведут к аварийным деформациями зданий (за исключением гниения деревянных конструкций), однако они могут существенно повлиять на сохранность объектов материальной культуры и сформировать условия, неблагоприятные для пребывания в помещениях людей (в первую очередь это относится к грибковым поражениям и различным видам плесени).

Нарушения микроклиматической устойчивости проявляются в возникновении температурных и влажностных аномалий, высолов, протечек, промерзании стен, изменении циклов

Таблица 1

Аспекты устойчивости историко-культурных литотехнических систем

Аспект	Оцениваемые качества	Признаки нарушения устойчивости	Методы оценки (наблюдений)
Пространственный	Способность комплексных ЛТС сохранять связи между отдельными подсистемами в пространстве на всей территории ИЛТС	Нарушение общего пространственного облика ИЛТС	Контроль изменений пространственных характеристик зданий (в первую очередь геодезическими методами); визуальное и инструментальное обследование ИЛТС
Временной	Способность ИЛТС сохранять во времени свою структуру и назначение	Изменение во времени «траектории движения» системы	Наблюдения за эволюцией ИЛТС во времени
Механический	Физико-механическая стабильность отдельных компонентов системы, способность отдельных компонентов воспринимать фактически действующие нагрузки	Формирование зон концентрации напряжений (перегруженных участков в системе «здание — основание»); деформации конструкций; неравномерные осадки здания и др.	Инструментальное обследование строительных конструкций, фундаментов и грунтов основания; наблюдения за напряжениями и деформациями конструкций и основания
Геодинамический	Устойчивость по отношению к инженерно-геологическим процессам (существующим и потенциально возможным)	Оседание земной поверхности; изменения уровней и химического состава подземных вод; появление оползневых смещений; неравномерные осадки здания и др.	Контроль компонентов инженерно-геологических условий, состояния грунтового основания, напряженно-деформированного состояния массива; наблюдения за оседаниями земной поверхности, вертикальными и горизонтальными перемещениями в системе
Микроклиматический	Стабильность и оптимальность температурно-влажностного режима здания, обеспечивающие сохранность интерьеров, старинных материалов, ценных экспонатов и комфорт находящихся в нем людей	Изменение цикличности сезонных миграций влаги в конструкциях; появление протечек; увлажнение и промерзание стен	Контроль температуры и относительной влажности (влагосодержания) воздуха в помещениях и конструкциях здания, освещенности помещений; регулирование посещаемости зданий; мониторинг инженерных систем
Микробиологический	Отсутствие условий для активизации деятельности микробиоты в геологической среде	Изменение физических, механических и химических свойств грунтов основания; появление плесени и грибковых поражений	Контроль изменений химического состава грунта; выявление преобразованных и новообразованных минералов; газогеохимические исследования; микробиологический контроль
Эколого-геологический	Устойчивость экосистем, взаимосвязанных с сооружениями и комплексами культурно-исторического объекта, включая сохранность прилегающего ландшафта	Нарушение почвенного покрова; деградация растительности; загрязнение поверхностных вод, почв и грунтов; визуальное загрязнение среды (наличие мусора); нарушение эстетических достоинств ландшафта	Контроль состояния растительного и почвенного покровов, загрязнение атмосферного воздуха и поверхностных вод
Устойчивости исторического облика	Неизменность исторического архитектурного облика и интерьера объекта культурного наследия	Появление объектов нового строительства на территории ИЛТС; изменение исторического облика объекта культурного наследия в результате строительства или аварийного состояния его элементов	Государственная историко-культурная экспертиза; государственный надзор за объектами культурного наследия (Росохранкультурой, Москомнаследием) и их общественный контроль

увлажнения-высыхания конструкций, выпадении конденсата, превышении нормальной влажности материалов конструкций.

Микробиологический аспект устойчивости ИЛТС тесно связан с предыдущим и обусловлен деятельностью микробиоты в пределах геологической и технической подсистем.

В пределах геологической подсистемы активизация деятельности микроорганизмов может привести к изменениям свойств грунтов, их минерального состава, структуры, дисперсности [4], что, в свою очередь, может спровоцировать нарушения механической устойчивости ИЛТС.

Деятельность микроорганизмов может вызывать различные биопоражения конструкций (при возникновении плесени, налетов и пр.). В региональных строительных нормах г. Санкт-Петербурга РВСН 20-01-2006 (ТСН 20-303-2006) выделены 4 степени биопоражения в зависимости от площадного распространения, глубины и характера биопоражения:

- I — повреждения отделочного слоя, отсутствие видимых разрушений;
- II — глубокое повреждение отделочных слоев, глубина поверхностного разрушения — не более 2 см, наличие локальных участков гнили, глубина повреждения деревянных конструкций — не более 20% сечения;
- III — повреждение поверхности камня на глубину более 5 мм, глубина повреждения деревянных конструкций — более 20%;
- IV — повреждения II и III степени более чем 50–60% строительных конструкций объекта, аварийное состояние здания.

При анализе биопоражений имеют значение численность микроорганизмов и их видовой состав. Если, например, количество колониеобразующих единиц (КОЕ) грибов составляет более 10^4 на 1 г пробы, отобранной в интерьере памятника, это позволяет предполагать наличие очагов их развития в зонах деструкции строительных материалов, в которых КОЕ обычно составляет порядка 10^4 на 1 г материала [13].

Таким образом, микробиологический аспект устойчивости анализируется для оценки подверженности влиянию микробиоты как грунтов основания, так и конструкций технической подсистемы, в том числе фундаментов.

Устойчивость исторического облика ИЛТС — это неизменность исторического архитектурного облика и интерьера объекта культурного наследия. Этот аспект оценивается в ходе ретроспективного анализа ИЛТС.

Таблица 2

Предельные дополнительные деформации конструкций памятников истории, культуры и архитектуры с несущими стенами из кирпичной кладки без армирования (по [12, 13])

Категория состояния конструкций	Макс. осадка S_{max}, см	Относит. разность осадок $\Delta S/L$	Крен i	Кривизна подошвы фундамента p, м$^{-1}$
II	1,0	6×10^{-4}	6×10^{-4}	2×10^{-4}
III	0,7	4×10^{-4}	4×10^{-4}	4×10^{-5}
IV	0,5	3×10^{-4}	3×10^{-4}	6×10^{-6}
IV*	0,3	2×10^{-4}	2×10^{-4}	3×10^{-6}

Примечание: ΔS — разность абсолютных осадок двух соседних фундаментов, см; L — расстояние между осями рассматриваемых фундаментов, см

Эколого-геологический аспект устойчивости ИЛТС обусловлен устойчивостью экосистем, взаимосвязанных с сооружениями и комплексами культурно-исторического объекта, включая сохранность прилегающего ландшафта. Вокруг ИЛТС, как правило, формируется специфический искусственный ландшафт, отличающийся от ландшафта прилегающей территории. Он может включать парки, скверы, расположенные на искусственно созданном рельефе, и др. и чаще всего существует длительное время вместе с самой ИЛТС с формированием специфических искусственных экосистем. Особую роль это играет в ИЛТС крупных архитектурных ансамблей — монастырей, дворцовых комплексов, усадеб и т.д. Важными факторами, определяющими эколого-геологический аспект, являются состояние воздуха, поверхностных вод, почвенного и растительного покровов, а также визуальное сохранение (или, наоборот, искажение) исторической среды памятника и эстетических достоинств ландшафта [11, 13]. Не меньшее значение для экосистем ИЛТС имеет учет влияния большого скопления людей (посетителей, туристов, паломников и др.).

В таблице 1 представлены основные аспекты устойчивостей ИЛТС, их характеристика и методы оценки. Комплекс параметров, характеризующих нарушения различных аспектов устойчивости, должен составлять основу блока «наблюдение» мониторинга ИЛТС.

Категории состояния ИЛТС

Рассматривая историко-культурную литотехническую систему с позиций ее устойчивости, нецелесообразно выполнять обобщенную оценку ее состояния на основании величины только какого-то одного интегрального показателя, так как не все аспекты устойчивости могут быть оценены количественно. Информативность интегрального показателя также снижается за счет значительной неоднородности и разнообразия характеристик системы.

Применение интегральных показателей устойчивости геологической среды в данном случае также неоправданно, т.к. при обосновании мониторинга ИЛТС определяющую роль играет здание (техническая подсистема), состояние которого предлагаемыми показателями не учитывается. Поэтому оптимальным вариантом оценки является экспертное отнесение исследуемой ИЛТС к одной из трех категорий состояния:

- I — устойчивого,
- II — предельного равновесия,
- III — неустойчивого.

Категория состояния устанавливается по совокупности факторов, среди которых выделяются характеристики пространственной, временной, механической, геодинамической и микроклиматической устойчивости ИЛТС. Предлагаемая схема экспертной оценки формируется на основании обработки результатов визуальных и инструментальных обследований здания, инженерно-геологических изысканий, режимных наблюдений и историко-архивных исследований. Если какой-либо из показателей является определяющим в поведении системы, в том числе для ее сохранности, то категория состояния устанавливается по этому показателю.

Состояние ИЛТС может быть охарактеризовано как *устойчивое*, если система устойчива в пространстве и во времени (не зафиксировано нарушений рассматриваемых видов устойчивости). При этом ввиду длительности времени существования возможны незначительные ухудшения показателей

Таблица 3

Категории состояния историко-культурных литотехнических систем

Состояние (номер и наименование категории)	Описание	Аспект устойчивости					Состояние технической системы	
		Пространственный	Временной	Механический		Геодинамический	Микроклимататический и микробиологический	по ГОСТ Р 53778-2010	по СРП 2007, «Пособие к МГСН 2.07-01» и др.
				Уровни нагружения основания и/или фундамента	Износ конструкций (по результатам визуального обследования)				
I. Устойчивое	Система устойчива в пространстве и во времени. Возможны незначительные ухудшения показателей состояния системы, не влияющие на ее функционирование	Отсутствуют неравномерные деформации конструкций. Осадки и крены не превышают предельно допустимые величины	Система сохраняет во времени режим функционирования (смены состояний). Изменения системы обратимы	<1	до 20%	Отсутствуют проявления и предпосылки для развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов	Микроклимат стабилен и оптимален для сохранности интерьеров, предметов материальной культуры и конструкций и нахождения в помещениях людей. Температурно-влажностный режим конструкций сбалансирован	Работоспособное	Нормальное (I)
									Удовлетворительное (II)
II. Предельного равновесия	Незначительное увеличение внешней нагрузки приведет систему в неустойчивое состояние. Возможно появление локальных нарушений различных видов ее устойчивости	Появление признаков нарушений пространственной целостности системы и ее отдельных частей, формирование новых и активизация существующих трещин. Возможны единичные сверхнормативные осадки и крены	Появление признаков отклонений «движения» системы от сложившейся «траектории» и приближение к границе области допустимых состояний. Изменения системы обратимы	1,0÷1,2	до 20÷40%	Имеются предпосылки для активизации неблагоприятных инженерно-геологических процессов. Современных проявлений инженерно-геологических процессов не зафиксировано, но имеются сведения об их проявлениях на протяжении времени существования системы	Имеются признаки нарушения температурно-влажностного режима. Возможно наличие локальных очагов биопоражения конструкций	Ограниченно работоспособное	Неудовлетворительное (III)
									Предаварийное (IV)
III. Неустойчивое	Существует угроза сохранности ИЛТС и возможности ее ликвидации (отдельных ее подсистем, прежде всего технической), запас устойчивости системы исчерпан	Сверхнормативные осадки и крены, развитие неравномерных осадок, раскрытие трещин сверх предельно допустимого, неудовлетворительное состояние контакта «фундамент — грунт»	Необратимые изменения системы, зафиксирована динамика перманентного ухудшения ее состояния	>1.2	>40%	Зафиксированы проявления неблагоприятных инженерно-геологических процессов, есть предпосылки для увеличения их интенсивности и площадного распространения	Неустановившийся температурно-влажностный режим. Фиксируются температурно-усадочно-деформативные нарушения и микробиологические повреждения конструкций. Биоповреждению II и III степени подвержено более 50÷60% конструкций	Аварийное	Предаварийное (IV)
									Аварийное (IV*)

состояния системы, не влияющие на ее функционирование.

В случае состояния *предельного равновесия* незначительное увеличение внешней нагрузки приведет систему в неустойчивое состояние. При этом допускается появление локальных нарушений различных видов ее устойчивости.

При *неустойчивом* состоянии существуют угроза сохранности и/или возможность ликвидации ИЛТС (отдельных ее подсистем, прежде всего технической), запас устойчивости системы исчерпан.

Нормативные документы однозначно определяют аварийное состояние технической подсистемы (или ее части) по таким параметрам, как максимальная осадка, относительная разность осадок, крен, кривизна подошвы фундамента, ширина раскрытия трещин (пример приведен в табл. 2).

Переход системы из устойчивого состояния в состояние предельного равновесия часто достаточно сложно идентифицировать, так как процессы, которые могут нарушить ее функционирование, часто протекают в скрытой форме, без внешних проявлений. Однако именно своевременное выявление подобных нарушений функционирования системы позволяет корректировать регламент наблюдений и принимать опережающие управляющие решения, реализация которых может предотвратить переход системы в аварийное состояние. Следует отметить, что на протяжении времени своего существования ИЛТС могла неоднократно находиться в состоянии предельного равновесия и в аварийном состоянии, для выхода из которых подвергалась различным управляющим воздействиям (противоаварийным мероприятиям, часто приводящим к трансформации ИЛТС).

Категории состояния ИЛТС и их характеристики представлены в таблице 3.

Предлагаемые здесь категории состояния максимально согласованы с категориями технического состояния, используемыми в нормативных документах, однако помимо состояния конструкций исторического здания они учитывают и другие аспекты функционирования ИЛТС, что позволяет дать системе комплексную характеристику, в том числе более полно учесть ее инженерно-геологическую составляющую.

Оценка устойчивости функционирования историко-культурной литотехни-

ческой системы в пространстве и во времени частично выполняет и прогнозную функцию, позволяющую оценить ее потенциально возможные изменения. На основании комплексной оценки различных аспектов устойчивости ИЛТС также формируется состав наблюдений и исследований, проводимых в рамках мониторинга, и их временной регламент с последующим учетом этих данных для выработки рекомендаций и управляющих решений по изменению состояния системы в благоприятном направлении.

Выводы

1. Оценка состояния историко-культурной литотехнической системы в рамках обоснования ее мониторинга должна производиться на основании сбалансированной системы показателей. В качестве критерия оценки состояния предлагается рассматривать *устойчивость функционирования* ИЛТС.

2. Выделены наиболее значимые аспекты устойчивости функционирования ИЛТС: пространственный, временной, механический, геодинамический, микроклиматический, микробиологический, эколого-геологический, устойчивости исторического облика.

3. По совокупности показателей значимых аспектов устойчивости функционирования историко-культурной литотехнической системы на основании результатов инженерно-геологических изысканий, инженерно-технического обследования, режимных наблюдений, анализа изменений, происходивших с системой на протяжении времени ее существования, ее состояние может быть отнесено к одной из трех категорий — устойчивому, предельного равновесия, неустойчивому.

4. Категория состояния ИЛТС позволяет оценить и спрогнозировать «траекторию» ее дальнейшего «движения» (функционирования), возможность выхода за границы области допустимых состояний. На основании выявленной категории состояния историко-культурной литотехнической системы определяются состав режимных наблюдений и временной регламент ее мониторинга.

Список литературы

1. *Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б.* Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989. 221 с.
2. *Бондарик Г.К.* Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
3. *Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А.* Объективная оценка устойчивости геологической среды к техногенным взаимодействиям и приемы ее корректного картографирования // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 4–14.
4. *Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Шидловская А.В.* Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 6. М.: ГЕОС, 2004. С. 48–52.
5. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. М.: Мосгорисполком, ГлавАПУ, Моспроект-1, Мосгоргеотрест, 1984.
6. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во КДУ, 2007. 416 с.
7. *Королев В.А., Кузнецова Н.В.* Инженерно-геологические особенности литотехнических систем культурно-исторических сооружений как объектов мониторинга // Инженерная геология. 2012. № 2. С. 44–55.
8. *Королев В.А., Кузнецова Н.В.* Особенности мониторинга историко-культурных литотехнических систем / Труды 5-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». Сергиев Посад: Патриарший издательско-полиграфический центр, 2012. С. 93–95.
9. *Куприянова Т.П.* Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем. Устойчивость геосистем. М.: Недра, 1983. С. 7–13.
10. *Кутепов В.М., Кожевникова В.Н.* Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 150 с.
11. Методические рекомендации по экологическому мониторингу недвижимых объектов культурного наследия. М.: Изд-во Российского НИИ культурного и природного наследия, 2001. 159 с.
12. Пособие к МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений. М.: Москомархитектура, Правительство Москвы, 2004. 59 с.
13. СРП-2007. Часть 6. Рекомендации по комплексным инженерно-техническим исследованиям объектов культурного наследия (памятников истории и культуры). Здания и сооружения. М.: Министерство культуры и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2007. 41 с.
14. *Трофимов В.Т., Герасимова А.С., Красилова Н.С.* Устойчивость геологической среды и факторы, ее определяющие // Геоэкология. 1994. № 2. С. 18–28.
15. ТСН 20-303-2006. Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. СПб: Правительство Санкт-Петербурга, 2006. 55 с.
16. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. СПб: Правительство Санкт-Петербурга, 2004. 63 с.
17. *Хоситашвили Г.Р.* Значение понятия «устойчивости» в инженерной геологии // Геоэкология. 1996. № 6. С. 62–70.
18. *Del Grosso A., Torre A., Rosa M., Lattuada B.* Application of SHM techniques in the restoration of historical buildings: the Royal Villa of Monza / Proceedings of the 2-d European Conference on Health Monitoring. Munich, Germany, 2004.
19. *Inaudi D., Casanova N., Glisic B.* Long-term deformation monitoring of historical constructions with fiber optic sensors / Proceedings of the 3-d International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions. Guimaraes, Portugal, 2001. P. 421–430.
20. Monitoring of historic structures — European Commission Research Project: SMooHS (Smart Monitoring of Historic Structures). Guidelines. URL: https://www.heritagescience.pl.
21. *Musat C.C., Herban I.S.* The use of 3D laser point technologies for monitoring historical and architectural structures // RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre. 2010. V. 10. P. 145–152.
22. *Park K.C., Reich G.W.* Model-based health monitoring of structural systems: progress, potential and challenges / Proceedings of the 2-d International Workshop on Structural Health Monitoring. CRC Press, 2000. P. 82–95.
23. *Yu M., Ding C., Liu C.Z., Guo J.J.* research on surveying engineering in maintenance of forbidden city // Bulletin of Surveying and Mapping. 2004. P. 411–413.