



Экономический и Социальный Совет

Distr.: General
1 July 2019
Russian
Original: English

Европейская экономическая комиссия

Исполнительный орган по Конвенции
о трансграничном загрязнении воздуха
на большие расстояния

Руководящий орган Совместной программы
наблюдения и оценки распространения
загрязнителей воздуха на большие
расстояния в Европе

Рабочая группа по воздействию

Пятая совместная сессия

Женева, 9–13 сентября 2019 года

Пункт 13 предварительной повестки дня

**Обновленная информация о призыве
к представлению данных об инвентаризации
и оценке состояния материальных ценностей
на объектах культурного наследия**

**Организации Объединенных Наций
по вопросам образования, науки и культуры**

Наблюдающиеся в настоящее время воздействия загрязнения воздуха на материалы и объекты всемирного культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры в Европе

**Доклад Международной совместной программы по воздействию
загрязнения воздуха на материалы, включая памятники истории
и культуры**

Резюме

В настоящем докладе обобщается последняя информация о наблюдающихся в настоящее время воздействиях загрязнения воздуха на материалы в Европе. Загрязнители воздуха в сочетании с климатическими параметрами являются ключевыми факторами коррозии и разрушения ряда металлических и неметаллических материалов. Это ведет к сокращению жизненного срока технических материалов и ставит под угрозу объекты культурного наследия – важного компонента нашей индивидуальной и коллективной идентичности.



Результаты наблюдений за воздействием на образцы материалов, проведенных в сети испытательных участков Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая памятники истории и культуры (анализ трендов), и оценки состояния исторических и культурных памятников, в частности информация, собранная в результате недавнего призыва к представлению данных об инвентаризации и оценке состояния материалов на объектах культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры, используются для оценки нынешнего влияния загрязнителей воздуха на атмосферную коррозию и загрязнение различных материалов, включая материалы, используемые на объектах культурного наследия.

Скоординировано проводимые исследования свидетельствуют о том, что, хотя процесс деградации материалов в Европе сегодня значительно замедлился в основном в результате сокращения загрязнения диоксидом серы, нынешние темпы коррозии и загрязнения материалов до сих пор являются неприемлемо высокими. На это указывает увеличение потенциального риска коррозии и загрязнения строений, составляющих культурное наследие. Это ведет к громадным экономическим потерям, обусловленным принятием защитных мер, заменой деградировавших материалов, проведением работ по очистке, содержанию и реставрации зданий и исторических и культурных памятников, находящихся на открытом воздухе.

Содержание

	<i>Стр.</i>
I. Введение	4
II. Справочная информация и основные вопросы.....	4
III. Какие можно наблюдать улучшения в процессах коррозии и загрязнения материалов?	5
IV. Если говорить об улучшениях, то существуют ли все же какие-либо различия между коррозией и загрязнением материалов в загрязненных и незагрязненных районах?	6
V. Каковы основные загрязнители, вызывающие коррозию и загрязнение материалов, и можно ли с помощью самых последних функций «доза-реакция» прогнозировать коррозию и загрязнение в нынешней ситуации, для которой характерно наличие большого числа загрязняющих веществ?.....	7
VI. Каково нынешнее положение дел с прогнозируемыми коррозией и загрязнением материалов исторических и культурных памятников на объектах мирового культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?	8
VII. Каковы основные загрязнители, вызывающие прогнозируемые коррозию и загрязнение материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?	10
VIII. Какова роль антропогенной деятельности в определении уровней загрязняющих веществ, оказывающих воздействие на изучаемые объекты Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры, и соответственно ущерба, наносимого материалам, использовавшимся для постройки этих объектов?	11
IX. Как можно оценить улучшения в процессах прогнозируемых коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?	12
X. Какова стоимость ущерба, наносимого загрязнением воздуха материалам, использовавшимся при создании этих произведений искусства и строительстве исторических зданий?	13

XI.	Какие возможные ошибки вносятся при использовании данных Совместной программы мониторинга и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе в функциях «доза–реакция», предназначенных для оценки коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников?	16
XII.	Заключение	18

Диаграммы

I.	Предполагаемая скорость эрозии для известняка, первый год воздействия (А), и скорость коррозии меди, первый год воздействия (В), для отдельных объектов культурного наследия в Европе	9
II.	Факторы риска (загрязнители), вызывающие эрозию известняка, коррозию меди и бронзы и загрязнение стекла	10
III.	Карта коррозии известняка (мкм/год ⁻¹) для Афин в 2000 году (А) и 2010 году (В) и карта загрязнения известняка (уменьшение отражающей способности по истечении 5 лет в процентах) для Афин в 2000 году (С) и 2010 году (D)	13
IV.	Эволюция с течением времени эрозии поверхностей песчаника на объектах культурного наследия, изученных в рамках призыва к представлению данных	15
V.	Сравнение оценочных темпов деградации, полученных с использованием местных данных (голубой цвет), с данными, полученными по модели Совместной программы наблюдения и оценки за распространением загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (красный цвет), для скорости эрозии известняка (А), скорости коррозии меди (В)	17

I. Введение

1. Настоящий доклад был подготовлен Сопредседателями Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая исторические и культурные памятники (Международная совместная программа по материалам), для рассмотрения Рабочей группой по воздействию и Руководящим органом Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе на ее пятой совместной сессии, которая должна состояться в Женеве 9–13 сентября 2019 года. В настоящем докладе кратко излагаются выводы Международной совместной программы по материалам, полученные ею в последнее время в процессе анализа трендов и оценок, проведенных на объектах Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО).

II. Справочная информация и основные вопросы

2. Загрязнители воздуха в сочетании с климатическими параметрами являются ключевыми факторами коррозии и деградации ряда металлических и неметаллических материалов. Это ведет к сокращению жизненного цикла технических материалов и ставит под угрозу объекты культурного наследия, являющиеся важным компонентом нашей индивидуальной и коллективной идентичности. В настоящем докладе ставится цель рассмотреть следующие научные вопросы, имеющие значение для политики:

a) Какие можно наблюдать улучшения в процессах коррозии и загрязнения материалов?

b) Если говорить об улучшениях, то существуют ли все же какие-либо различия между коррозией и загрязнением материалов в загрязненных и незагрязненных районах?

c) Каковы основные загрязнители, вызывающие коррозию и загрязнение материалов, и можно ли с помощью самых последних функций «доза–реакция» прогнозировать коррозию и загрязнение в нынешней ситуации, для которой характерно наличие большого числа загрязняющих веществ?

d) Каково нынешнее положение дел с прогнозируемыми коррозией и загрязнением материалов исторических и культурных памятников на объектах мирового культурного наследия ЮНЕСКО?

e) Каковы основные загрязнители, вызывающие прогнозируемую коррозию и загрязнение материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО?

f) Какова роль антропогенной деятельности в определении уровней загрязняющих веществ, оказывающих воздействие на изучаемые объекты ЮНЕСКО, и соответственно ущерба, наносимого материалам, использовавшимся для постройки этих объектов?

g) Как можно оценить улучшения в процессах прогнозируемых коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО?

h) Какова стоимость ущерба, наносимого загрязнением воздуха материалам, использовавшимся при создании этих произведений искусства и строительстве исторических зданий?

i) Какие возможные ошибки вносятся при использовании данных Совместной программы мониторинга и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе в функциях «доза–реакция», предназначенных для оценки коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников?

3. Ниже каждый из упомянутых выше вопросов рассматривается отдельно. Ответы на вопросы а)–с) взяты из доклада Международной совместной программы по материалам № 76¹, в котором резюмируются наиболее важные выводы. Ожидается, что в 2020 году выйдет обновленный доклад о трендах (1987–2018 годы). Ответы на вопросы d)–i) взяты в основном из доклада № 77², в котором содержатся выводы пилотного исследования по инвентаризации и оценке состояния различных материалов, которым угрожает опасность на объектах культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), и докладов № 80³, 83⁴ и 86⁵, в которых содержатся выводы, полученные на основе собранных данных об инвентаризации и оценке состояния материалов, подверженных риску, на объектах культурного наследия ЮНЕСКО, в результате призыва от октября 2015 года к сбору данных об инвентаризации и оценке состояния материалов, подверженных риску, на объектах культурного наследия, в частности данных, полученных от шести следующих Сторон Конвенции: Германии, Италии, Норвегии, Хорватии, Швейцарии и Швеции.

III. Какие можно наблюдать улучшения в процессах коррозии и загрязнения материалов?

4. Коррозия в значительной мере уменьшилась до приблизительно 50% от первоначальных показателей, замеренных в 1987 году. Однако в последние годы улучшения были незначительными. Что касается реальных объектов культурного наследия, выполненных из металлов, то замедление процесса коррозии и загрязнения было мгновенным, т. е. они быстро реагировали на снижение уровня загрязнения. Однако в случае материалов из камня отмечается значительное отставание по времени на 20 лет или более, и только по истечении этого периода улучшения становятся заметными. Были сделаны следующие подробные выводы:

а) в отношении измеренных концентраций загрязняющих веществ (диоксида серы (SO₂), диоксида азота (NO₂), озона (O₃), азотной кислоты (HNO₃) и отложений взвешенного вещества (PM)) тенденции на испытательных объектах не противоречат выводам относительно тенденций, представленных Международной совместной программой по материалам и Европейским агентством по окружающей среде;

б) данные указывают на четкие тенденции в отношении климатических переменных;

¹ Международная совместная программа по воздействию загрязнения воздуха на материалы, включая исторические и культурные памятники (Международная совместная программа по материалам), «Trends in pollution, corrosion and soiling 1987–2012», Report No. 76 (Stockholm, Swerea KIMAB AB, 2014).

² Международная совместная программа по материалам, «Pilot study on the inventory and condition of stock of materials at risk at United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) cultural heritage sites. Part IV: The relationship between the environment and the artefact», Report No. 77 (Rome, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2015).

³ Международная совместная программа по материалам, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part I – Status Report», Report No. 80 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2017).

⁴ Международная совместная программа по материалам, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part II – Risk assessment», Report No. 83 (Rome, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2018).

⁵ Международная совместная программа по материалам, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part III – Economic evaluation», Report No. 86 (Rome, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2019).

с) максимальная коррозия углеродистой стали (первый год воздействия) уменьшилась с 70 мкм в 1987 году до 20 мкм в 2000 году. Впоследствии каких-либо серьезных изменений не наблюдается. По нержавеющей стали после года воздействия были получены аналогичные результаты, поскольку полезные свойства этого материала проявляются только после более длительных периодов воздействия;

d) максимальная коррозия цинка в первый год воздействия уменьшилась с более чем 5 мкм в 1987 году до примерно 2,5 мкм в 1989 году и чуть более 1 мкм в 2000 году. Впоследствии каких-либо серьезных изменений не наблюдалось;

e) максимальная коррозия меди (первый год воздействия) уменьшилась с 3,4 мкм в 1987 году до показателя, несколько превышающего 1 мкм в 2000 году. Впоследствии никаких серьезных изменений не наблюдалось;

f) максимальная поверхностная эрозия известняка (первый год воздействия) уменьшилась с 20 мкм в 1987 году до 10 мкм в 2000 году. Впоследствии никаких серьезных изменений не наблюдалось;

g) исследования, проведенные в Соборе Святого Павла в Лондоне в 1980–1985 годах, показали, что скорость эрозии известняка составляла около 50 мкм/год¹, и скорость эрозии уменьшилась до 25 мкм/год¹ в период 1990–2000 годов. Эти результаты указывают на временной лаг в примерно 20 лет между сокращением выбросов SO₂ и наблюдаемой пользой для существующих каменных конструкций;

h) замеры загрязнения современного стекла (помутнения) начались в 2005 году и никаких улучшений с тех пор отмечено не было;

i) коррозия на незагрязненных объектах (в сельской местности) также уменьшилась с 1987 года, и в процентном отношении это уменьшение было таким же, как в случае городских и промышленных объектов.

IV. Если говорить об улучшениях, то существуют ли все же какие-либо различия между коррозией и загрязнением материалов в загрязненных и незагрязненных районах?

5. Различия между загрязненными и незагрязненными районами не настолько велики, как в 1980-х годах, но все же значительны. На наиболее загрязненных объектах целевые показатели 2020 года превышаются. Ниже приводятся основные подробные выводы:

a) в случае большинства металлических материалов (углеродистая сталь, нержавеющая сталь и цинк) существуют явные различия между загрязненными и незагрязненными районами. Уровни загрязнения ведут к повышению уровней коррозии, которые превышают целевые показатели 2020 года;

b) в случае меди существуют несколько «малозагрязненных» объектов (в сельских районах) с высокими уровнями коррозии после одного года воздействия, которые, по всей вероятности, связаны с повышенными уровнями O₃. Предполагается, что этот эффект наблюдается в первую очередь при более коротких периодах воздействия;

c) в случае известняка были отмечены высокие показатели на сильно загрязненных объектах, а также на некоторых объектах с высоким уровнем осадков. Очевидно, это объясняется воздействием чистого дождя (карстовый эффект), которое, как ожидается, не будет менее выраженным с уменьшением периодов воздействия. Напротив, на этих объектах с высокими уровнями осадков поверхностная эрозия известняка не может быть уменьшена до уровней ниже, чем настоящие уровни целевых показателей, только за счет сокращения загрязнения;

d) что касается загрязнения современного стекла, то, согласно расчетам, пороговый уровень превышает после 90 дней в случае объектов, расположенных вблизи дорог, 110 дней в случае промышленных объектов и 130 дней в случае объектов

в сельских районах, тогда как в случае городского объекта этот уровень достигается по истечении одного года.

V. Каковы основные загрязнители, вызывающие коррозию и загрязнение материалов, и можно ли с помощью самых последних функций «доза–реакция» прогнозировать коррозию и загрязнение в нынешней ситуации, для которой характерно наличие большого числа загрязняющих веществ?

6. С точки зрения коррозии одним из наиболее важных загрязняющихся веществ по-прежнему является SO_2 , тогда как влажные кислотные осадения сколь-либо серьезного влияния теперь не оказывают. К другим важным загрязнителям в условиях наличия большого числа загрязнителей относятся взвешенные вещества (PM) и HNO_3 . Нынешние функции «доза–реакция» по коррозии можно усовершенствовать, особенно для известняка, когда естественные процессы, такие как растворение в кислотной дождевой воде и циклы заморозание–оттаивание, стали относительно менее значимыми.

7. Что касается загрязнения основными загрязняющими веществами, включенными в недавно разработанные функции «доза–реакция», которыми являются SO_2 и NO_2 , какие-либо мотивы для усовершенствования этих функций в ближайшем будущем отсутствуют.

8. Ниже приводятся основные подробные выводы:

a) SO_2 включен в функции «доза–реакция» для всех материалов и, несмотря на его низкие уровни, является одним из основных загрязнителей;

b) статус кислотного дождя изменится: если когда-то он вносил очень большой вклад в скорость коррозии, то теперь он оценивается приблизительно в 20% и даже меньше на многих испытательных объектах;

c) HNO_3 является важным загрязнителем в случае ряда материалов, в частности цинка и в какой-то степени известняка;

d) взвешенное вещество является важным загрязнителем, поскольку оно притягивает воду и включено в функции «доза–реакция» для углеродистой стали, цинка и известняка;

e) функция «доза–реакция» для нержавеющей стали дает завышенные показатели нынешней скорости коррозии стали;

f) функция «доза–реакция» для меди дает заниженные показатели нынешней скорости коррозии меди;

g) функция «доза–реакция» для цинка не содержит в себе каких-либо систематических ошибок, но ее прогнозирующая способность невелика;

h) функция «доза–реакция» для известняка не позволяет прогнозировать высокие уровни коррозии, отмеченные на ряде объектов в сельской местности. Предлагается в случае любых разработок функции «доза–реакция» для известняка учитывать карстовую геологию и естественное выветривание карбонатных пород;

i) что касается загрязнения современного стекла, то недавно были разработаны функции «доза–реакция» с включением параметров SO_2 , NO_2 и мелкодисперсного вещества с диаметром 10 микрометров или менее (PM_{10}), и эти функции были сопоставлены с моделями, основанными на нейроновых сетях. Единственным недостатком этих функций является то, что они не учитывают влияние климата, однако на нынешнем этапе какие-либо планы учета этих воздействий отсутствуют.

VI. Каково нынешнее положение дел с прогнозируемыми коррозией и загрязнением материалов исторических и культурных памятников на объектах мирового культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?

9. В последние годы риск коррозии и загрязнения в результате загрязнения воздуха был оценен применительно к уникальным памятникам, относящимся к объектам всемирного культурного наследия ЮНЕСКО, в рамках пилотного исследования по инвентаризации и оценке состояния материалов, подверженных риску, на объектах культурного наследия ЮНЕСКО (5 культурных объектов), и на основе данных, собранных в ответ на призыв к предоставлению данных об инвентаризации и оценке состояния материалов на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО (2015–2017 годы) (21 культурный объект). Оценка основывалась на информации об экологических параметрах и предполагала использование функций «доза–реакция», разработанных Международной совместной программой по материалам. К числу основных выявленных рисков относятся коррозия известняка и меди и загрязнение известняка и современного стекла.

10. Предполагаемая скорость эрозии известняка и коррозии меди после одного года воздействия (диаграмма I) намного превышает фоновый уровень коррозии ($3,2 \text{ мкм/год}^{-1}$ для известняка и $0,32 \text{ мкм/год}^{-1}$ для меди) и, как правило, приближается к целевому показателю, установленному Международной совместной программой по материалам на 2050 год ($6,4 \text{ мкм/год}^{-1}$ и $0,64 \text{ мкм/год}^{-1}$) или даже превышает их. В некоторых случаях эти показатели приближаются к целевым показателям 2020 года ($8,0 \text{ мкм/год}^{-1}$ и $0,8 \text{ мкм/год}^{-1}$ соответственно). Среди культурных объектов, изученных в контексте призыва к предоставлению данных, коррозия известняка, возможно, представляет проблему в случае памятников в Италии (например, Пизанская башня, Дворец Мадама и Королевский дворец в Казерте) и Германии (Вюрцбургская резиденция и Надвратия Лоршского аббатства). Медь в основном присутствует в качестве кровельного материала (Шпейерский собор, Порта Нигра и Бременская ратуша, Германия, и башни собора в Санкт-Галленском аббатстве, Швейцария) или в качестве изделий из меди (памятник Геркулесу, Германия, и церковь в Неделрулеа, Швеция). Как представляется, коррозия меди, очевидно, является проблемой в случае многих памятников.

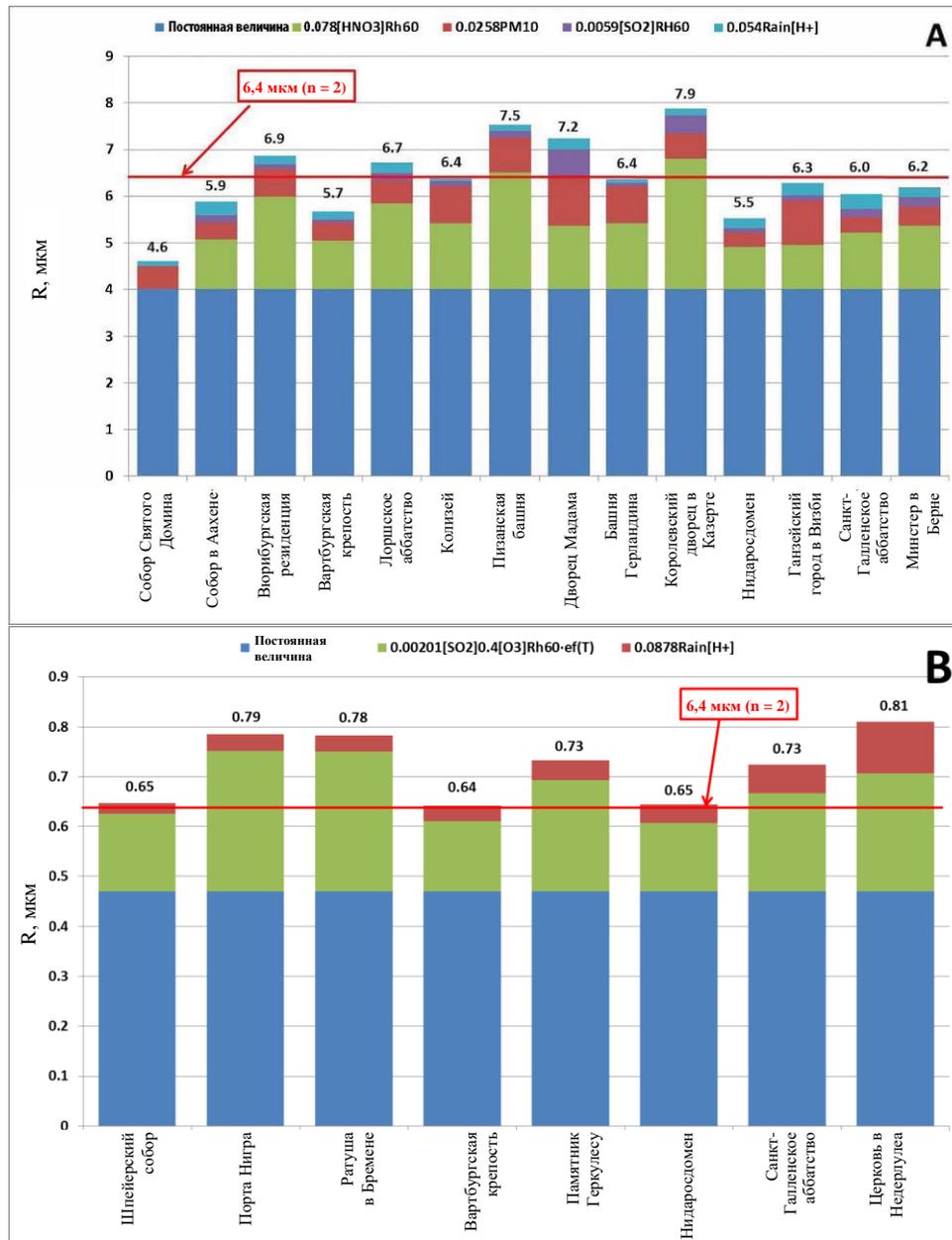
11. Никакого риска для песчаника и бронзы ни на одном из исследованных памятников выявлено не было. Бронза весьма чувствительна к SO_2 , и снижение уровней SO_2 в последние десятилетия привело к существенному уменьшению коррозии бронзы. Что касается песчаника, то воздействие двух основных факторов риска для известняка, HNO_3 и PM_{10} , оценить в количественном выражении не удалось, поскольку единственная имеющаяся функция «доза–реакция» для коррозии песчаника была разработана для ситуаций, в которых доминировал SO_2 . Однако поверхностная эрозия песчаника и известняка является весьма схожей, о чем свидетельствуют наблюдения за предыдущими параллельными воздействиями на два материала в рамках Международной совместной программы по материалам – исключить возможность риска для памятников из песчаника, исходящих от HNO_3 и PM_{10} , невозможно, даже если подсчитать их с помощью нынешней методологии невозможно.

12. Загрязнение может являться проблемой как для прозрачных, так и для непрозрачных материалов, которые представлены соответственно песчаником и стеклом. Основным фактором риска для песчаника является PM_{10} . Риск наблюдается тогда, когда расчетный теоретический период обслуживания, начинающийся с момента уменьшения отражающей способности более чем на 35%, составляет менее 10 лет. В большинстве неблагоприятных случаев (Колизей, Пизанская башня, Дворец Мадама и Башня Герландина, Италия, и стены вокруг ганзейского города Визби, Швеция) интервал между обслуживанием, необходимым для устранения загрязнения известняка, который является максимально допустимым, составляет около 4–6 лет.

Для объектов культурного наследия надлежащий период, очевидно, составляет от 10 до 15 лет, и поэтому более короткие периоды не могут считаться допустимыми. Лишь в одном из перечисленных случаев – Нидаросдомен, Норвегия, – можно считать, что интервал между работами по очистке может превышать 15 лет.

Диаграмма I

Предполагаемая скорость эрозии для известняка, первый год воздействия (А), и скорость коррозии меди, первый год воздействия (В), для отдельных объектов культурного наследия в Европе



Источник: International Cooperative Programme Materials, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part II – Risk assessment», Report No. 83 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2018).

13. Стекло – это материал, который широко используется в строениях, имеющих историческое и культурное значение, и его загрязнение представляет потенциальную проблему почти во всех частях Европы в тех случаях, когда стекло присутствует в зданиях в значительных количествах. В случае стекла оптический ущерб (загрязнение) чаще всего выражается как помутнение, т. е. с помощью показателя, который учитывает уменьшение прозрачности в результате как поглощения, так и рассеивания

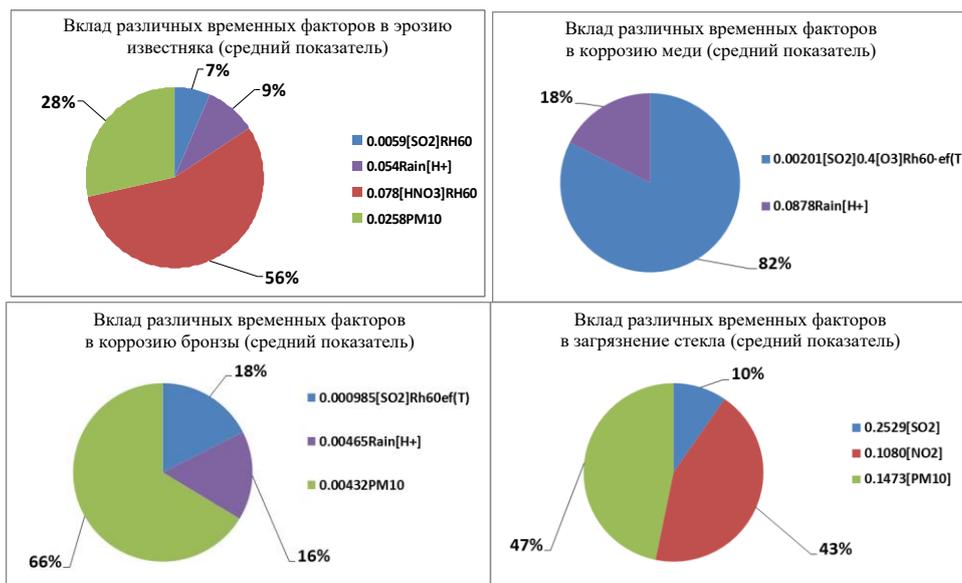
света. Помутнение более чем на 1% вызывает визуальный дискомфорт и нарушение эстетического восприятия объекта глазами человека, у которого создается впечатление, что он смотрит в «грязную» стеклянную тарелку. В случае большинства культурных объектов примерный интервал между чистками стекла, т. е. время, необходимое для того, чтобы помутнение достигло 1%, колеблется от 4 до 7 месяцев. В течение этого времени витражи объекта культурного наследия могут не подвергаться чистке и при этом не вызывать впечатления недопустимой деградации. В наиболее неудачном случае – Дворец Мадама, Италия – оценочная скорость загрязнения стекла настолько высока, что уровень недопустимого загрязнения наступает по истечении примерно 3 месяцев.

VII. Каковы основные загрязнители, вызывающие прогнозируемую коррозию и загрязнение материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?

14. Основные факторы рисков (загрязнители) применительно к различным видам рисков (коррозия/загрязнение) были широко изучены в связи с призывом к представлению данных об инвентаризации и оценке состояния материалов на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО и показаны на диаграмме II и таблице. Было установлено, что PM_{10} является фактором риска как для коррозии, так и для загрязнения известняка, тогда как HNO_3 , как было установлено, является фактором риска только для коррозии. Было установлено, что совокупный эффект SO_2 и O_3 является фактором риска для меди, а PM_{10} и NO_2 – факторами риска для загрязнения стекла. SO_2 по-прежнему является важным фактором деградации некоторых материалов, использовавшихся на объектах культурного наследия, но SO_2 больше доминирующим фактором не является. Кроме того, кислотные осадения, очевидно, оказывают лишь незначительное воздействие на деградацию материалов в настоящее время.

Диаграмма II

Факторы риска (загрязнители), вызывающие эрозию известняка, коррозию меди и бронзы и загрязнение стекла



Источник: Elaboration of data from International Cooperative Programme Materials, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part II – Risk assessment», Report No. 83 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2018).

Факторы риска (загрязнители) применительно к различным рискам для материалов, входящих в состав памятников (+ незначительное воздействие; ++ среднее воздействие; +++ сильное воздействие). Пробел означает, что комбинации конкретных рисков/загрязнителей не были включены в использовавшуюся функцию «доза–реакция». Таким образом уровень воздействия оценить было невозможно.

<i>Риск</i>	<i>SO₂</i>	<i>NO₂</i>	<i>HNO₃</i>	<i>SO₂*O₃</i>	<i>PM₁₀</i>	<i>pH</i>
Эрозия известняка	+/++		++/+++		++	+
Эрозия песчаника	+/++					+
Коррозия меди				++/+++		+
Коррозия бронзы	+				++	+
Загрязнение известняка					+++	
Загрязнение стекла	+/++	++/+++			++/+++	

Источник: International Cooperative Programme Materials, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at UNESCO world cultural heritage sites". Part II – Risk assessment», Report No. 83 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2018).

15. При анализе индивидуальных уровней загрязнения HNO₃ и PM₁₀ на отобранных для исследования объектах между ними была установлена значительная корреляция за тем исключением, что на ряде объектов высокие уровни PM₁₀ не коррелировались со столь же высокими уровнями HNO₃. С другой стороны, в этой же выборке не было обнаружено объектов с низкими уровнями PM₁₀ и высокими уровнями HNO₃. PM₁₀ является важным фактором для коррозии и загрязнения известняка, тогда как HNO₃ является важным фактором только в случае коррозии. В тех случаях, когда существуют риски для известняка, проблемы могут вызывать как эрозию, так и загрязнение (высокие уровни PM₁₀ и HNO₃). В ряде случаев было также установлено, что проблемой может являться только загрязнение (высокие уровни PM₁₀ и низкие уровни HNO₃), но проблемы риска эрозии известняка без одновременного риска загрязнения (низкие уровни PM₁₀ и высокие уровни HNO₃) выявлено не было.

16. Основным фактором риска для меди является совокупное воздействие SO₂ и O₃. Однако процесс образования продуктов коррозии в районах с высоким уровнем SO₂ и низким уровнем O₃ весьма отличается от районов с высоким уровнем SO₂ и высоким уровнем O₃. Таким образом для оценки того, является ли краткосрочный риск коррозии, как это было установлено в ходе нашего исследования, риском даже после длительного воздействия на соответствующие памятники высоких уровней O₃ в сочетании с низкими уровнями SO₂, или того, приведет ли формирование, например толстых слоев куприта, к значительному снижению темпов коррозии с течением времени, важно исследовать защитные свойства патины.

VIII. Какова роль антропогенной деятельности в определении уровней загрязняющих веществ, оказывающих воздействие на изучаемые объекты Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры, и соответственно ущерба, наносимого материалам, использовавшимся для постройки этих объектов?

17. Большинство изученных объектов ЮНЕСКО расположены в самом центре европейских городов. В этих городских районах наблюдаются несколько проблем, связанных с качеством воздуха, которые в основном определяются воздействием NO₂ и PM₁₀, двух загрязнителей, которые в настоящее время, как представляется, играют главную роль в причинении ущерба песчанику (коррозия в результате воздействия

PM₁₀ и HNO₃, появление продуктов окисления под воздействием оксидов азота (NO_x) и загрязнение в результате воздействия PM₁₀) и загрязнение стекла (в основном в результате воздействия NO₂ и PM₁₀).

18. Важным источником обоих загрязнителей является дорожное движение. Автомобильный транспорт являлся наиболее крупным источником выбросов NO_x в трех городах, обследованных в ходе пилотного исследования по вопросам учета и состояния материалов, подверженных риску, на объектах культурного наследия ЮНЕСКО при оценке их воздействия на три выдающихся исторических здания (Парфенон, Афины, Клементинум, Прага, и Новый музей, Берлин). Дорожный транспорт являлся также одним из главных секторов – источников выбросов PM₁₀ в этих столичных районах. Крупными источниками являются также производство и распределение энергии, неполное сжигание биомассы для получения тепла, например в бытовых бойлерах, древесных печах и каминах, и в ряде случаев промышленное производство и портовая деятельность.

19. NO_x вместе с атмосферным кислородом, гидроуглеродами и летучими органическими соединениями участвует в цикле, который ведет к генерированию озона. O₃ как вторичный загрязнитель является сильным окислителем, который оказывает непосредственное коррозионное воздействие на различные материалы, особенно на медь. Двигатели автомобилей, энергетические установки, работающие на ископаемом топливе, нефтеочистительные заводы, сельскохозяйственный сектор и ряд других отраслей промышленности являются источниками выбросов большого количества прекурсоров озона.

IX. Как можно оценить улучшения в процессах прогнозируемых коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры?

20. В рамках пилотного исследования по вопросам инвентаризации и оценки состояния материалов, подвергающихся риску, на объектах культурного наследия ЮНЕСКО за период 2000–2010 годов были изучены положительные тенденции в оценочных темпах коррозии и загрязнения материалов, из которых были построены исторические и культурные памятники. Качество воздуха улучшилось в период 2000–2010 годов в трех городах, в которых расположены изученные объекты ЮНЕСКО (Парфенон, Афины, Клементинум, Прага, и Новый музей, Берлин), что привело к небольшому, но поддающемуся количественному измерению уменьшению прогнозируемых темпов деградации известняка – в течение первого года воздействия, – которое было отмечено практически во всех столичных районах. Уменьшение скорости эрозии известняка на обследованных объектах ЮНЕСКО составило около 5–8%. По общему мнению, это относительное изменение темпов деградации является более показательным, чем абсолютные цифры.

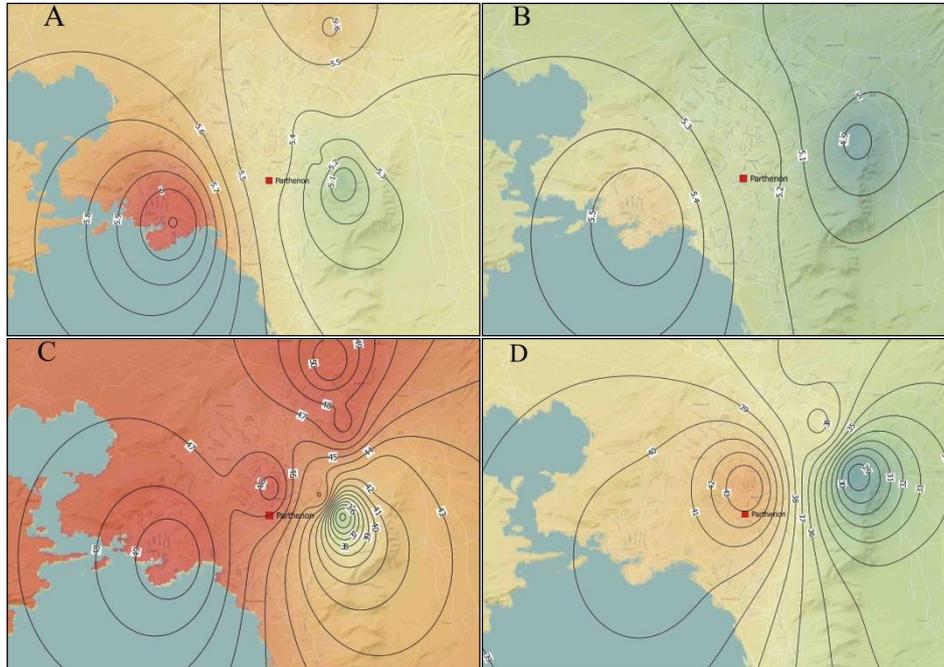
21. Оценочное снижение темпов эрозии известняка в основном объясняется значительным уменьшением концентрации в воздухе SO₂, которая за период исследования уменьшилась почти в два раза. В отличие от этого концентрации в воздухе NO₂, HNO₃ и O₃ практически не менялись и были чуть меньше или чуть больше в зависимости от конкретного объекта, что соответственно не оказало большого влияния на общие темпы деградации.

22. Некоторое уменьшение атмосферных концентраций PM₁₀ в период 2000–2010 годов привело к некоторому улучшению состояния окружающей среды и снижению скорости загрязнения известняка на несколько процентных пунктов. В качестве иллюстрации на диаграмме III показаны карты коррозии песчаника (первый год воздействия) и карты загрязнения, выраженного в виде уменьшения

отражающей способности по истечении 5 лет для столичного района Афин, рассчитанного на 2000 и 2010 годы соответственно.

Диаграмма III

Карта коррозии известняка (мкм/год⁻¹) для Афин в 2000 году (А) и 2010 году (В) и карта загрязнения известняка (уменьшение отражающей способности по истечении 5 лет в процентах) для Афин в 2000 году (С) и 2010 году (D)



Источник: International Cooperative Programme Materials, «Pilot study on the inventory and condition of stock of materials at risk at United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) cultural heritage sites. Part IV: The relationship between the environment and the artefact», Report No. 77. (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2015).

Х. Какова стоимость ущерба, наносимого загрязнением воздуха материалам, использовавшимся при создании этих произведений искусства и строительстве исторических зданий?

23. Стоимость ущерба, наносимого загрязнением воздуха различным материалам, использовавшимся для строительства объектов на участках всемирного культурного наследия ЮНЕСКО, была тщательно оценена в рамках призыва по представлению данных по вопросам инвентаризации и учета состояния материалов на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. В рамках этого мероприятия был изучен 21 культурный объект, имеющий чрезвычайно высокую всемирную ценность. В совокупности эти объекты культурного наследия располагаются на общей площади около 430 000 м². К числу основных материалов, присутствующих на этих культурных объектах, относятся природные камни (60%), искусственные камни (17%), стекло (6,5%), медь (3%), водонепроницаемые материалы (2,5%), окрашенные поверхности (2%), бронза и другие. Подробное описание этих материалов, использовавшихся для создания исторических и культурных памятников на объектах всемирного культурного наследия ЮНЕСКО, можно найти в докладе Международной совместной программы по материалам № 80³.

24. Работы по обслуживанию, ремонту и реставрации ведутся на внешней поверхности зданий и памятников, подверженных воздействию окружающей среды, поскольку использовавшиеся при их возведении материалы постоянно деградируют по естественным причинам, что усугубляется атмосферными явлениями. Эти работы

расцениваются как принятие непосредственных мер на объектах культурного наследия с целью сохранения их с течением времени и восстановления их материальной ценности. Цель заключается в сохранении функциональной идентичности и эффективности этого культурного достояния так, чтобы его можно было предлагать для коллективного изучения и эстетического наслаждения и передавать будущим поколениям в наилучшем состоянии, которого только можно достичь с помощью современных технологий.

25. Исходя из той предпосылки, что полная стоимость обслуживания, ремонта и реставрационных работ формируется в результате деградации под воздействием атмосферных факторов (загрязнение и метеорологические условия), и используя методологию, разработанную в рамках проекта Европейского союза по рационализированной экономической оценке культурного достояния⁶, мы можем подсчитать стоимость ущерба, наносимого загрязнением помимо «фоновое воздействие».

26. Оценочная стоимость ущерба, наносимого деградацией материалов на объектах ЮНЕСКО, показывает, что ежегодная стоимость ущерба, вызываемого загрязнением воздуха, при нынешних условиях, которые зависят от уровня загрязнения и метеоклиматических условий, составляет от 3,1 евро до 20 евро на квадратный метр поверхности в год (евро на м²/год⁻¹) в случае деградации известняка, от 5,1 евро до 9,8 евро на м²/год⁻¹ в случае коррозии меди, от 0 евро до 52,1 евро на м²/год⁻¹ в случае загрязнения поверхности известняка и от 0 евро до 11,7 евро на м²/год⁻¹ в случае загрязнения витражей. Эта стоимость добавляется к стоимости ущерба на скрытых площадях, которая оценивается в 4,4 евро на м²/год⁻¹, 3,5 евро на м²/год⁻¹, 25 евро на м²/год⁻¹ и 6,8 евро на м²/год⁻¹ соответственно в случаях деградации известняка, коррозии меди, загрязнения известняка и стекла.

27. Дополнительная стоимость ущерба, наносимого загрязнителями воздуха, помимо стоимости ущерба, который имел бы место в «фоновом» сценарии, объясняется тем фактом, что в присутствии загрязнения темпы деградации выше и соответственно срок между двумя обслуживаниями (или срок службы материала), определяемый на основе предварительно установленного допустимого ущерба, сокращается. Это проиллюстрировано на диаграмме IV, где в качестве примера эволюция эрозии песчаника с течением времени по «фоновому» сценарию сопоставляется с деградацией выполненных из песчаника поверхностей объектов культурного наследия (которые были изучены в рамках призыва к представлению данных), подверженных влиянию местных условий окружающей среды. Согласно зависящей от времени функции «доза-реакция» для известняка в ситуации, когда фоновое воздействие на него оказывают многочисленные загрязнители при фоновой скорости коррозии в 3,2 мкм/год⁻¹ – в течение первого года воздействия, – допустимая степень деградации, равная в случае известняка 100 мкм, когда должны предприниматься определенные меры, достигается по истечении почти 114 лет. При нынешних концентрациях загрязнителей такая же допустимая степень коррозии в 100 мкм, после чего должны предприниматься меры, достигается в случае различных культурных объектов за период от 20,5 до 67 лет.

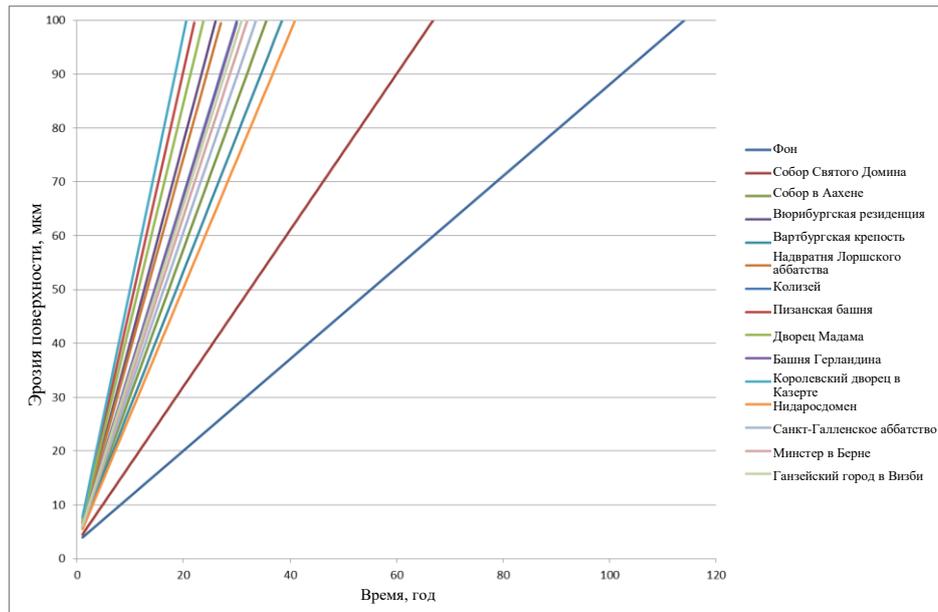
28. В случае известняка имеются два фактора риска – коррозия и загрязнение, – и поэтому были определены две различные стоимости ущерба. Их не следует складывать. Работы по обслуживанию и реставрации исторических зданий представляют собой весьма сложную операцию, и маловероятно, что они будут проводиться только для устранения эффектов загрязнения без одновременного проведения работ по устранению любого ущерба, нанесенного коррозией, и наоборот. Загрязнение представляет собой более быстрый процесс, чем коррозия известняка. В фоновом сценарии теоретический срок проведения работ по устранению загрязнения известняка, который наступает в случае уменьшения отражающей способности более чем на 35%, составляет, согласно оценкам, 14 лет, тогда как

⁶ John Watt, Ståle Navrud, Zuzana Slížková and Tim Yates, «Economic Evaluation», in *The effects of air pollution on cultural heritage*, John Watt, Johan Tidblad, Vladimir Kucera and Ron Hamilton, eds. (Springer, New York, USA, 2009).

теоретический срок проведения работ по устранению коррозии песчаника, который начинается при достижении допустимой степени эрозии перед принятием мер в 100 мкм, согласно оценкам, составляет 14 лет. В условиях загрязненной городской атмосферы эти сроки становятся короче и будут еще даже более короткими в случаях загрязнения по причине высокой концентрации взвешенных частиц PM₁₀, которые вносят основной вклад в загрязнение известняка. Таким образом сроки обслуживания и связанные с обслуживанием расходы будут зависеть в первую очередь от темпов загрязнения.

Диаграмма IV

Эволюция с течением времени эрозии поверхностей песчаника на объектах культурного наследия, изученных в рамках призыва к представлению данных



Источник: International Cooperative Programme Materials, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at ЮНЕСКО world cultural heritage sites". Part III – Economic evaluation», Report No. 86 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2019).

29. Годовая стоимость ущерба, наносимого загрязнением воздуха, за исключением фонового влияния атмосферы при текущих условиях, может показаться малой, если ее рассчитывать в евро на м²/год⁻¹. Однако общая годовая стоимость работ по реставрации в случае нанесения ущерба загрязнением воздуха для определенного типа материала и конкретного объекта культурного наследия зависит от объема материала, подверженного рискам, на квадратном метре. Эта общая стоимость может быть значительной. Например, общая годовая стоимость работ по обслуживанию для устранения ущерба, наносимого загрязнением поверхностей известняка, в Колизее, Рим (19,450 м²), согласно оценкам, составляет около 680 000 евро в год⁻¹, годовая стоимость ущерба в результате коррозии медной крыши Шпейерского собора (7 800 м²) в Германии, согласно оценкам, составляет 39 900 евро в год⁻¹, а стоимость очистки витражей Королевского дворца в Казерте, Италия (17 400 м²), согласно оценкам, составляет около 94 000 евро в год⁻¹.

30. Однако оценкам стоимости присуща некоторая неопределенность в силу допущений в отношении оценок жизненных циклов материалов и стоимости обслуживания. Кроме того, эти оценки стоимости включают только расходы на восстановление пострадавших поверхностей объектов культурного наследия. Эти действия имеют рыночную цену и предполагают рыночные транзакции. Дополнительным компонентом стоимости ущерба, вызываемого деградацией объектов культурного наследия, является так называемая утрата культурно-рекреационного значения, например уменьшение эстетической привлекательности и соответствующее сокращение количества посетителей объекта, что оказывает

потенциальное воздействие на местную экономику. Кроме того, очевидно, что вид грязных и деградировавших зданий уменьшает их привлекательность для посетителей. Такие утраты не имеют четко определенной денежной стоимости, поскольку они не торгуются на рынках. Согласно простому подходу стоимость потери привлекательности приблизительно равняется стоимости очистки и ремонта⁷.

XI. Какие возможные ошибки вносятся при использовании данных Совместной программы мониторинга и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе в функциях «доза–реакция», предназначенных для оценки коррозии и загрязнения материалов исторических и культурных памятников?

31. Главным недостатком подхода, применяемого при оценке ущерба, наносимого загрязнением воздуха материалам, использовавшимся при возведении культурных и исторических зданий, и соответствующей стоимости является то, что темпы деградации оцениваются с помощью функций «доза–реакция», когда оценка может существенно отличаться от измеренной скорости деградации в случае размещения материалов на стеллажах на один период от одного до нескольких лет.

32. Другим недостатком является репрезентативность измерительных станций, определяющих качество воздуха в непосредственной близости от культурных объектов, что влияет на материалы, с использованием которых они были построены. Многие культурные и исторические памятники расположены в городах, и на микроуровне концентрации загрязняющих веществ могут варьироваться в зависимости от расстояния от основных источников загрязнителей (т. е. расстояния от бордюра) и топографии города (т. е. конфигурации улиц).

33. Часто показатели, используемые в качестве входных данных для функций «доза–реакция», получают от станций наблюдения, расположенных на некотором расстоянии от культурного объекта, которое в целом может составлять от несколько сотен метров до нескольких километров. Для непрерывных измерений в непосредственной близости от культурных объектов, которые могут точно показывать качество воздуха, требуются значительные ресурсы, которые зачастую отсутствуют. Это ограничивает точность оценок воздействия загрязнителей на материалы исторических и культурных памятников.

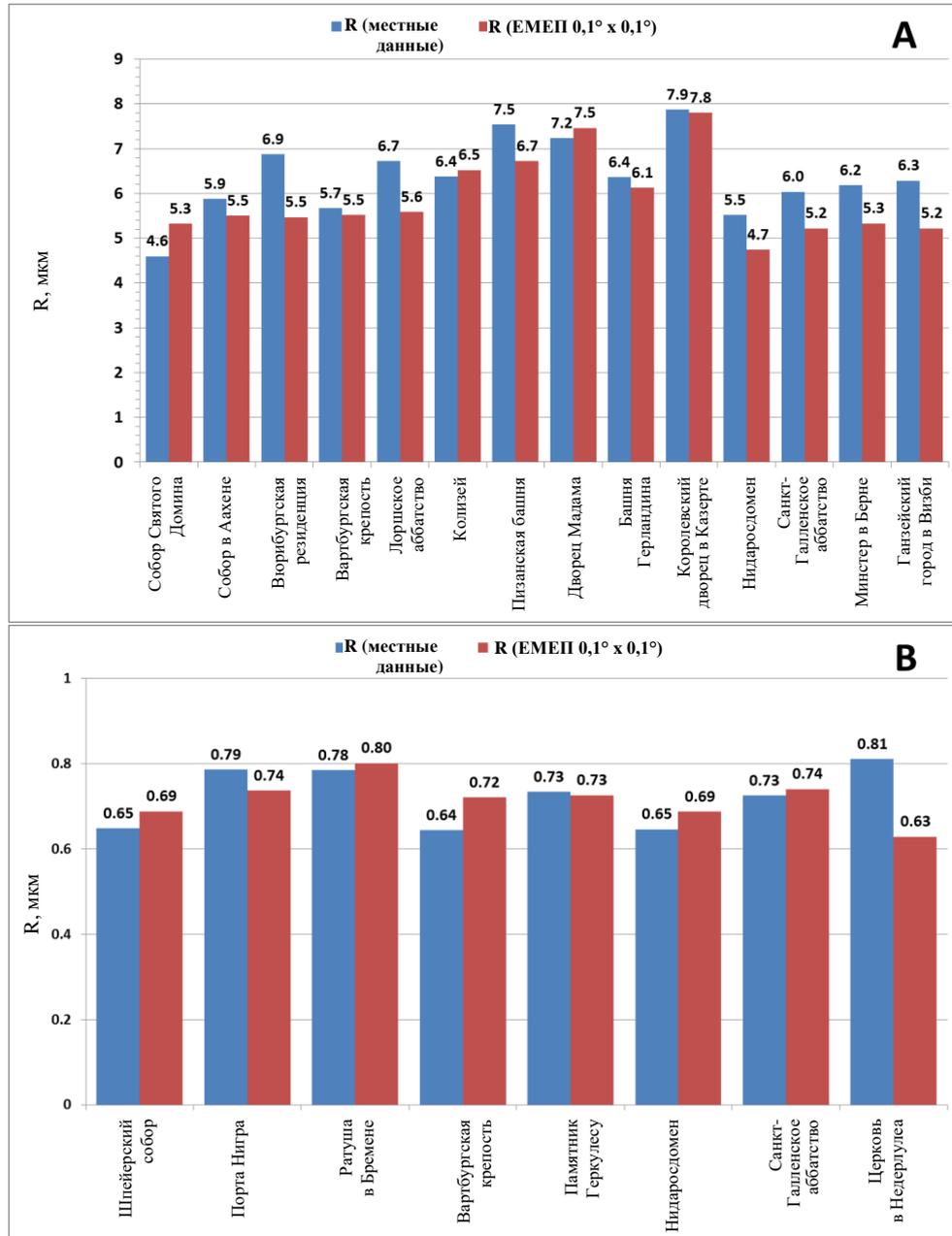
34. Коррозия и загрязнение материалов отдельных культурных объектов, рассчитанные с использованием местных экологических параметров, которые были получены в рамках призыва к представлению данных об инвентаризации и оценке состояния подверженных риску материалов на объектах культурного наследия ЮНЕСКО, были сопоставлены с аналогичными коррозией и загрязнением материалов, рассчитанными с использованием выходных данных Совместной программы наблюдения и оценки за распространением загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (данными, рассчитанными по модели Метеорологического синтезирующего центра – Запад за 2015 год при новой разрешающей способности 0,1° x 0,1° (долгота–широта)). Цель такого сравнения заключалась в определении того, можно ли использовать выходные данные модели Совместной программы с такой разрешающей способностью для оценок скорости деградации материалов, сопоставимых с теми, которые получают на основе местных данных. В целом было установлено, что эти два набора данных относительно хорошо согласуются друг с другом и находятся в рамках неопределенностей, связанных с использованием функций «доза–реакция» (диаграмма V), а это означает, что данные модели Совместной программы с такой разрешающей способностью можно было бы вполне использовать в будущем для аналогичных оценок рисков. Аналогичный уровень

⁷ Ari Rabl, «Air pollution and buildings: an estimation of damage costs in France», *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 19, No. 4 (1999), pp. 361–385.

согласованности данных при использовании старой модели Совместной программы с разрешающей способностью 50 км x 50 км достичь было бы невозможно в силу меньшей разрешающей способности этой модели.

Диаграмма V

Сравнение оценочных темпов деградации, полученных с использованием местных данных (голубой цвет), с данными, полученными по модели Совместной программы наблюдения и оценки за распространением загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (красный цвет), для скорости эрозии известняка (А), скорости коррозии меди (В)



Источник: International Cooperative Programme Materials, «Call for Data "Inventory and condition of stock of materials at ЮНЕСКО world cultural heritage sites". Part II – Risk assessment», Report No. 83 (Rome, National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2018).

ХII. Заключение

35. Нынешнее положение дел с воздействием загрязнения воздуха на материалы в Европе, в том числе материалы, использовавшиеся при строительстве объектов культурного наследия, было оценено с использованием информации, полученной в результате изучения воздействия на образцы материалов в сети испытательных площадок Международной совместной программы по материалам (анализ трендов) и на основе оценок состояния исторических и культурных памятников, в частности на основе информации, собранной в рамках недавнего призыва к предоставлению информации об инвентаризации и оценке состояния подверженных риску материалов на объектах культурного наследия ЮНЕСКО.

36. Несмотря на тот факт, что скорость деградации материалов в Европе в настоящее время существенно уменьшилась по причине сокращения концентраций атмосферных загрязнителей, в основном SO₂, текущие темпы коррозии и загрязнения материалов по-прежнему являются недопустимо высокими. Это особенно касается строений на объектах культурного наследия, которые являются важным компонентом нашей индивидуальной и коллективной идентичности. Это ведет к большим экономическим потерям в силу необходимости принятия защитных мер, замены деградировавших материалов, очистки, проведения работ по обслуживанию и реставрации зданий и исторических и культурных памятников, находящихся под открытым небом.

37. Хотя количество объектов культурного наследия, подвергшихся изучению (5 в рамках пилотного исследования и 21 в рамках призыва к представлению данных), является небольшим по сравнению с количеством объектов всемирного культурного достояния ЮНЕСКО, расположенных в странах, являющихся Сторонами Конвенции, они дают хорошее общее представление о выявленных рисках ущерба, наносимого загрязнением воздуха находящимся на открытом воздухе материалам культурного наследия, и показывают наиболее важные факторы риска, обусловленного загрязнением, на сегодняшний день в Европе. Эти риски варьируются по степени и серьезности в зависимости от материала, уровней концентрации загрязнителей воздуха и климатических параметров.
