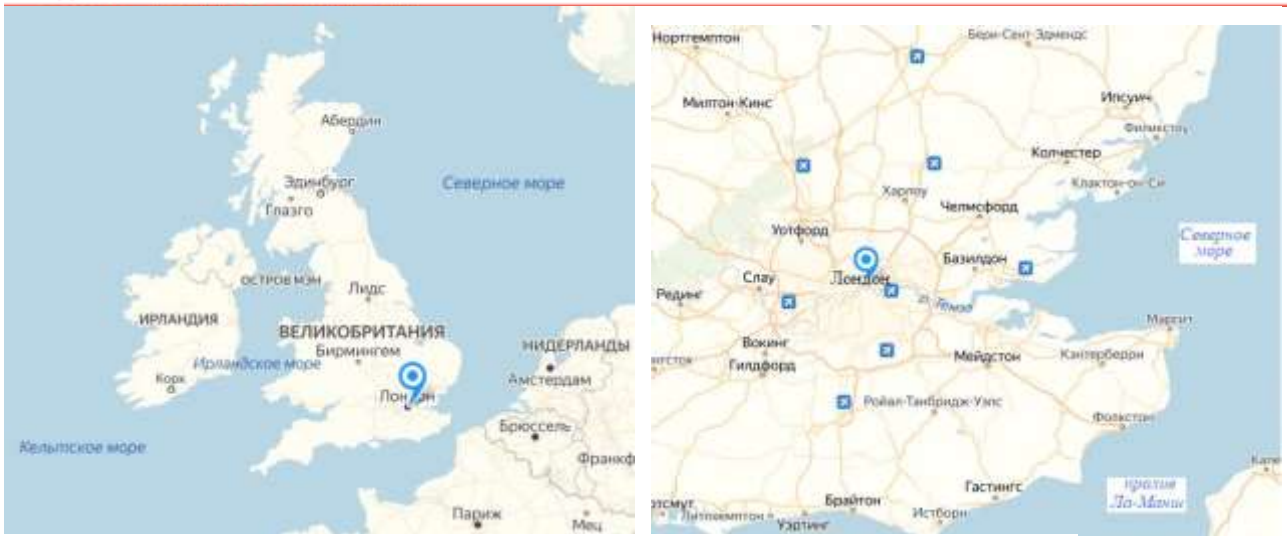
Защита Лондона от наводнений. Знаменитый Барьер Темзы

История катастрофических наводнений есть не только у голландского побережья, Венеции, Санкт-Петербурга и некоторых других приморских городов, но и у Лондона, поскольку он находится достаточно близко от устья Темзы, а расположенные рядом с рекой городские районы имеют низкие высотные отметки. Поэтому в конце XX века была построена новая система защиты британской столицы от затопления – прежде всего Барьер Темзы, ставший одной из самых известных достопримечательностей города. О создании и принципах работы этого грандиозного сооружения мы и расскажем в данной статье.

Аналитическая служба
info@geoinfo.ru

Необходимость инженерной защиты Лондона от наводнений

Не все знают, что история катастрофических наводнений есть не только, например, у Венеции, Санкт-Петербурга или голландских городов, но и у Лондона, поскольку он расположен вблизи устья достаточно крупной реки Темза, впадающей в Северное море (рис. 1). Наводнения, возникавшие при штормовых нагонах с моря вверх по этой реке (особенно если они совпадали с морскими приливами и/или половодьем) в течение многих веков были большой проблемой для столицы Великобритании (рис. 2). Опасность нарастала из-за постепенного повышения среднего уровня моря (примерно на 17 см за XX век), опускания уровня суши в стране в результате постледникового восстановления (примерно на 5 см за 100 лет) и антропогенного воздействия на территорию.



а б

Рис. 1. Географическое положение г. Лондона и р. Темзы [13]

Рис. 2. Площади вдоль русла Темзы (показанные голубым цветом), которые затапливались в Лондоне и его окрестностях при сильных наводнениях до строительства на реке барьера для защиты от наводнений. Север на рисунке – сверху, как на любой карте [16]

Самыми сильными в 20 веке были наводнения 1928 года (рис. 3) и 1953 года, когда уровень воды в Темзе поднимался по сравнению со средним на 4–5 м и более. Тогда погибло 14 и 307 человек соответственно, а без крова остались тысячи. Ущерб в 1953 году составил 50 млн фунтов стерлингов (примерно 5 млрд фунтов стерлингов в сегодняшних деньгах). Вода в реке угрожающе высоко поднималась также в 1947 и 1959 годах.

Рис. 3. Лондонское наводнение 1928 года [3]

В зоне риска в районах, располагающихся вблизи Темзы (в том числе в самом Лондоне), находились примерно 340 (116) кв. км суши, 0,5 (0,25) млн зданий и 1,25 (0,7) млн жителей, не говоря уже о железнодорожной системе, метро, инженерных коммуникациях, электростанциях, очистных сооружениях, больницах, пристанях, телекоммуникационных, административных и правительственных зданиях и т.д. Ущерб от возможного нового катастрофического наводнения оценивался в 30–50 млрд фунтов стерлингов. Поэтому британцы наконец пришли к осознанию того, что необходимо защитить центр их столицы от опасности затоплений.

Для начала порт для крупных судов был перенесен из Лондона в Тилбери ниже по течению Темзы. А в 1974–1982 годах (по некоторым данным, в 1975–1982 гг.) на юго-восточной окраине британской столицы было проведено строительство одного из крупнейших в мире защитных сооружений такого рода под названием «Барьер Темзы» (рис. 4). Поскольку после окончания основных строительных работ в 1982 году оставались незначительные доделки и испытания, его официальное открытие состоялось лишь в 1984 году.

а

б

Рис. 4. Барьер Темзы [4, 15]

Выбор участка для строительства Барьера Темзы. Результаты изысканий

Это чудо инженерии было решено создать в Вулидже – юго-восточном районе Лондона, располагающемся ниже по течению Темзы от центра города. Глубина реки в

этом месте в среднем составляет около 7 м во время отлива и примерно 15 м во время прилива со стороны Северного моря.

Упрощенный геологический разрез вдоль барьера, перекрывшего реку на участке, ширина которого составляет 522 м, представлен на рис. 5.

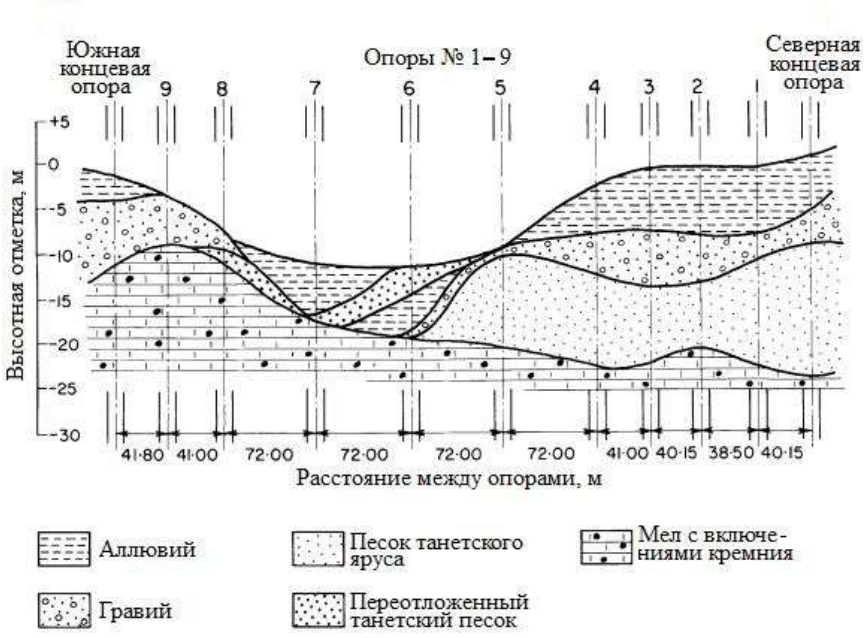


Рис. 5. Упрощенный геологический разрез на участке строительства Барьера Темзы с указанием мест расположения опор сооружения и их фундаментов [12]

Темза течет по большому синклинальному бассейну, состоящему из третичных грунтов, покрывающих коренные отложения мелового периода, представляющие собой мел с большим количеством включений кремния. Конкретный участок для строительства был выбран из-за относительной прямолинейности берегов Темзы в этом месте и из-за того, что мел, не слишком глубоко залегающий под аллювиальными, песчаными и гравийными отложениями (на глубине от 10 до 25 м от уровня моря), был достаточно прочным, чтобы выдержать фундаментные конструкции барьерного комплекса.

Однако предполагаемое место строительства находилось лишь чуть южнее крупного глубинного разлома в коренных породах (Гринвичского, или Уикхемских епископов), который предположительно был причиной землетрясения в графстве Эссекс в 1884 году. Учитывая наличие этого и некоторых других разломов неподалеку, было необходимо получить как можно больше геологической информации о районе и выполнить необходимые сейсмические исследования.

Для уточнения разреза были выполнены геофизические и скважинные (всего в 73 точках бурения) исследования, в том числе зон с микроокаменелостями.

В итоге на исследуемом участке было выявлено 5 разломов. Предполагалось, что они имеют крутой наклон при горизонтальных смещениях до 50 м и вертикальных смещениях до 5 м. Был также сделан вывод, что там могут существовать и другие менее заметные разломы.

Расположение скважин, обнаруженных разломов и мест строительства опор барьера в плане показано на рис. 6.

Рис. 6. Расположение инженерно-геологических скважин и разломов на участке строительства Барьера Темзы [12]

Кроме того, результаты геофизических исследований, бурения и динамического зондирования (SPT) показали, что верхняя часть мела была достаточно прочной и невыветрелой только под танетским песком (см. рис. 5), а в южной части участка под аллювиальными отложениями верхние слои мела оказались менее прочными (из-за морозного растрескивания, расслаивания и выветривания во время ледникового периода, превратившего эти отложения в нестабильную «каменную кладку»). Все это было учтено в дальнейшем при расчетах глубины заложения фундаментов опор.

Было сочтено, что выявленные разломы (и возможные более мелкие нарушения) не будут опасными для фундаментов барьерных конструкций, так как не было обнаружено, чтобы прочностные свойства материала вокруг этих разломов заметно страдали от дифференциального выветривания.

Сейсмические исследования показали, что риски для барьерных конструкций от смешений по обнаруженным разломам или по другим более крупным нарушениям за пределами участка строительства (и соответствующих землетрясений) незначительны.

При этом не исключалась возможность наличия узких каналов в меле, но было решено, что в случае их обнаружения при строительстве котлованов под фундаменты опор будут предприняты необходимые корректирующие меры.

На основе результатов SPT предположили, что долговременные осадки мела и танетского песка будут ничтожно малы по сравнению с упругой деформацией под воздействием живой и мертвой нагрузок. Ожидалось, что осадки грунта из-за повторного уплотнения материала, нарушенного при экскавационных работах, будут происходить во время строительства, а на этапе эксплуатации неравномерные осадки возникать не будут.

Устройство, принципы работы и строительство Барьера Темзы

Концепцию барьера предложил инженер Чарльз Реджинальд Дрейпер еще в 1950 году, когда восемнадцатилетним юношей он построил его модель, действующую по принципу латунного газового крана.

Проектирование сооружения выполнялось на основе инженерных изысканий с использованием сложнейшего математического моделирования. Окончательный проект был принят лишь после всестороннего модельного тестирования его работы.

Создание Барьера Темзы обошлось британскому правительству и органам местного самоуправления в 534 млн фунтов стерлингов (около 1,6 млрд фунтов стерлингов, или 2 млрд долларов в современных ценах).

Строительство в основном выполнялось консорциумом из трех компаний – Costain Ltd, Tarmac Ltd и Hollandsche Beton Maatschappij BV. Кроме них в работе принимали участие примерно 20 вспомогательных подрядчиков и множество субподрядчиков.

Барьер Темзы длиной 522 м делит русло реки на 4 судоходных пролета шириной по 61,5 м (по ширине пролета Тауэрского моста), 2 судоходных пролета шириной по 31 м и 4 небольших несудоходных пролета.

В комплекс входят:

- 2 концевых железобетонных опоры;
- 9 железобетонных опор с надводными конструкциями из нержавеющей стали;
- 10 поворотных затворов производства компании Cleveland Bridge UK Ltd, располагающихся между опорами.

Длина затворов вдоль пролетов сооружения составляет 31 и 61,5 м, высота в рабочем положении – до 20,1 м (как у здания высотой в 5–7 этажей). Они выполнены из листов стали толщиной около 4 см и в поперечном сечении представляют собой полые (ячеистые) круговые сегменты.

В открытом состоянии затворы заполнены водой и лежат круглой стороной на дне, не препятствуя течению реки и не мешая судоходству. Когда прогнозируется опасно высокий прилив со стороны моря, они поворачиваются на 90 град., полностью перекрывая русло за 1–1,5 ч и защищая его от приливных/нагонных волн высотой до 7 м (с учетом возможного дополнительного подъема уровня у барьера на 0,1–0,6 м из-за «эффекта отраженной волны») (рис. 7–10). Примерно через час после закрытия ворот их поворачивают более чем на 90 град. – так, чтобы под их нижним краем возник контролируемый зазор (обычно около 1 м), который позволит объему воды, эквивалентному нормальному приливу, проходить вверх по течению и устранит «эффект отраженной волны». Для технического обслуживания затвор может быть повернут на 180 град. (рис. 11).

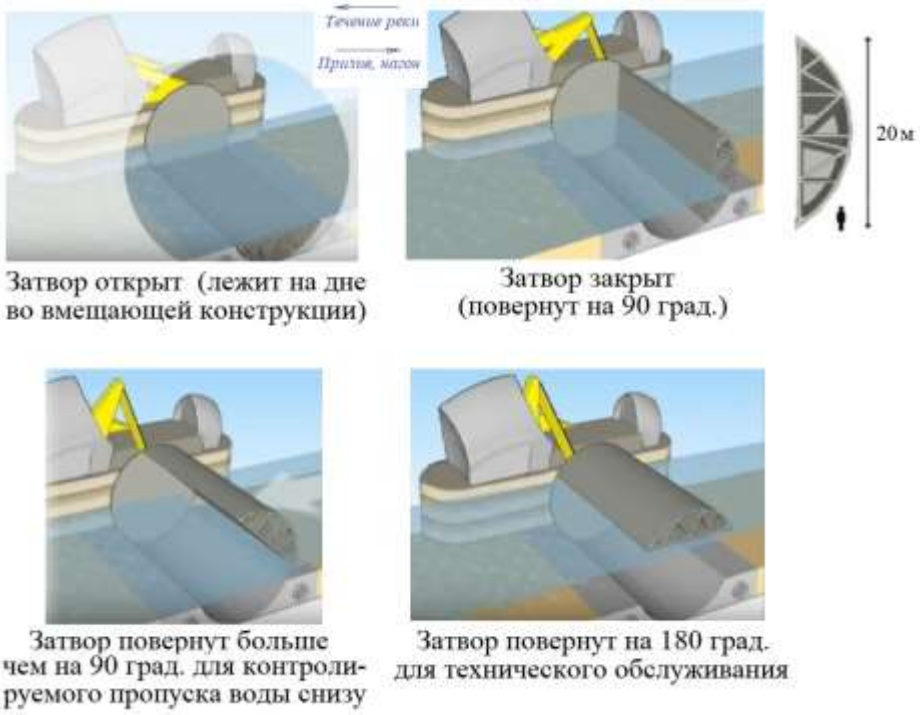
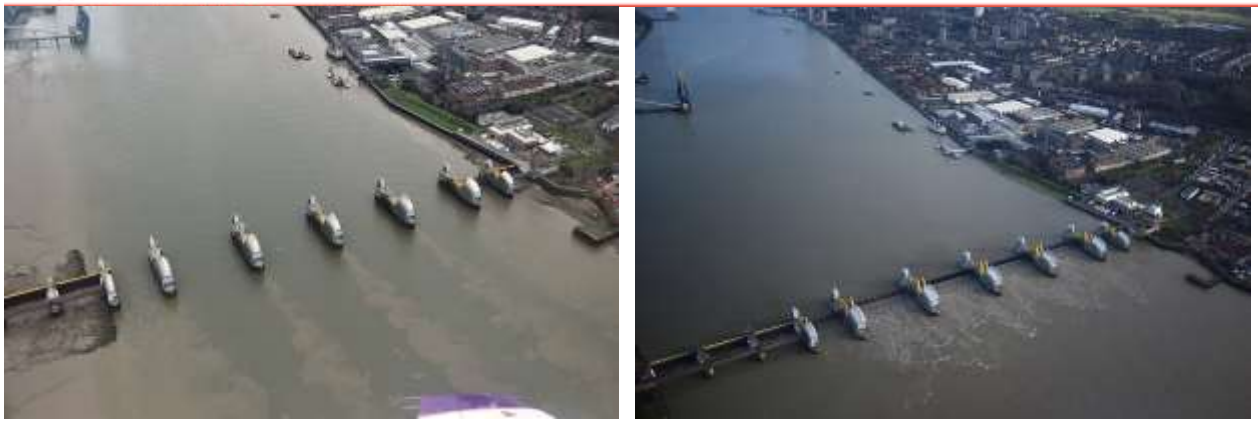


Рис. 7. Схема работы одного из затворов Барьера Темзы [11]

Рис. 8. Модель одной из главных опор Барьера Темзы. Вид сбоку. Внизу виден поперечный разрез железобетонной вмещающей конструкции и лежащего в ней стального затвора. Справа и слева внутри вмещающей конструкции видны технические тоннели с круглым сечением. В правом тоннеле видна фигура человека для сопоставления с размерами сооружения [11]



а б

Рис. 9. Барьер Темзы с опущенными (а) и поднятыми (б) затворами [14]

Рис. 10. Один из затворов Барьера Темзы в рабочем состоянии (повернутый на 90 град. или более). Вид со стороны, расположенной выше по течению [9]

а б

Рис. 11. Затвор Барьера Темзы, повернутый на 180 град. для технического обслуживания [14]

Сначала было выполнено строительство половины комплекса сооружений со стороны южного берега Темзы, а потом – его северной части, чтобы не нарушать судоходство.

Поначалу (с южной стороны) каждая опора строилась внутри периметральных стенок из стального шпунта Ларсена № 6. Забивка этих шпунтовых свай была очень трудной, приходилось даже прибегать к взрывным операциям в меле. Поэтому в конце концов (с северной стороны) пришлось перепроектировать опоры и строить их внутри стенок из тяжелых «немецких» свай, которые не только лучше забивались в мел, но и облегчали распорное укрепление котлованов (хотя и тут были проблемы из-за трудностей со срезкой голов этих свай после окончания строительства опор).

После необходимой выемки грунта заливалась бетонная плита фундамента опоры толщиной 5 м прямо под водой (для чего в каждом случае требовалась непрерывная заливка до 14 тыс. т бетона в течение 4 дней). Затем участок строительства опоры временно осушался.

При этом при строительстве опоры № 7 было зарегистрировано повышенное давление под бетонной плитой из-за подъема воды по трещинам в меле. Чтобы фундаментная плита не была вытолкнута чрезмерным давлением вверх, пришлось вновь затопить строящуюся опору и зацементировать трещины в меле. Это вызвало задержку строительства на несколько месяцев (а исходная причина, судя по всему, заключалась в недостаточности инженерных изысканий до начала строительства).

Значительная часть ширины реки у северного берега также была временно осушена и использовалась не только для строительства трех северных опор, но и в качестве временного дока для постройки вмещающих донных конструкций для затворов. Они выполнялись из железобетона и имели ячеистое строение с толщиной стенок 0,5 м. После их создания участок затапливался, заполненные воздухом вмещающие конструкции всплывали и доставлялись по воде на место их монтажа между опорами. Затем эти конструкции длиной от 31 до 61,5 м заполнялись водой, опускались на дно в заранее вырытые траншеи между опорами, засыпались балластом из песка и с двух торцов прочно закреплялись на фундаментах опор. Так было создано 6 вмещающих конструкций.
А остальные четыре для более мелких участков реки (прибрежных пролетов барьера) заливались на месте.

Железобетонные опоры и располагающиеся на них стальные сооружения имеют обтекаемые формы, которые необходимы соответственно для снижения давления от потоков воды и уменьшения ветровой нагрузки при прохождении через барьер судов (рис. 12).

В железобетонных конструкциях, вмещающих затворы, имеется по два технических тоннеля для обслуживания сооружения (см. рис. 8, рис. 13).

В целом барьер спроектирован так, чтобы быть максимально защищенным от отказов. Конструкции могут выстоять при ударах очень большой силы и даже при бомбардировке. А в случае выхода из строя национальной энергосистемы три резервных генератора могут поддерживать работу сооружения в течение месяца.

а б

Рис. 12. Железобетонные опоры и располагающиеся на них стальные сооружения имеют обтекаемые формы [14, 17]

Рис. 13. Технический тоннель под Барьером Темзы [14]

Следует отметить, что помимо строительства Барьера Темзы была усилена защита прибрежных территорий от наводнений ниже по течению, для чего были подняты и укреплены оба берега реки и ее устья (эстуария) в общей сложности на протяжении 112 км. Также были созданы минибарьеры в устьях притоков Темзы и на входах в доки. Эта система укреплений рассчитана даже на самые сильные возможные наводнения.

Эксплуатация Барьера Темзы

Агентство по охране окружающей среды Великобритании, управляющее Барьером Темзы, получает информацию о возможных высоких приливах от метеорологических спутников, нефтяных вышек, метеорологических кораблей, береговых станций, национальной британской метеорологической службы Met Office, Национальной приливомерной сети Великобритании, а также с помощью ряда компьютерных математических моделей, учитывающих прежде всего прогнозируемый речной сток, ожидаемый прилив и текущий подъем уровня воды.

Гидрологические и метеорологические данные каждую минуту поступают в диспетчерскую сооружения. Они могут помочь спрогнозировать опасные условия примерно за 36 ч. Получив такой прогноз, барьер закрывают сразу после отлива или примерно за 4 ч до того, как его достигнет пик прилива. Окончательное решение о его закрытии принимает дежурный оператор. Барьер остается закрытым до тех пор, пока

уровень воды ниже по течению не снизится до того же уровня, что и выше по течению. Обычно это занимает около 5 ч, но случается и дольше.

Изначально предполагалось, что барьер будет использоваться 2–3 раза в год. За время эксплуатации ворота закрывались от 0 до 50 раз в год (чаще всего в сезон наводнений с сентября по апрель) – в среднем около 5–6 раз в год. При этом дополнительно выполняется профилактическое тестирование работоспособности ворот, для чего затворы частично поднимают ежемесячно и полностью – раз в год.

Интересно, что за время эксплуатации барьерные сооружения 15 раз задевали суда, не причинив им серьезных повреждений. В 1997 году в густом тумане на одну из опор налетело работавшее дноуглубительное судно. Этому судну пришлось сбросить вычерпанные речные отложения, но оно все равно затонуло. Через пару недель его достали, отремонтировали и вновь приспособили к работе. Ворота также пришлось подремонтировать: необходимо было освободить от гравия поворотный механизм, на который попал сброшенный груз землечерпалки, а также вновь покрыть антикоррозионной краской ободранную плоскую сторону стального затвора.

На обслуживание барьера без учета капитального ремонта ежегодно уходит 8 млн фунтов стерлингов (более 10 млн долларов).

Чтобы посмотреть на это грандиозное сооружение, похожее на ряд гигантских серебристых парусов или космических кораблей и ставшее одной из самых ярких достопримечательностей Лондона, съезжается огромное количество туристов. Поэтому при Барьере Темзы созданы информационный центр (выставка), конференц-центр и кафе на террасе на южном берегу, откуда открываются панорамные виды на сооружение и реку (рис. 14). На выставке проводятся интересные экскурсии, беседы и презентации о работе, прошлом, настоящем и будущем сооружения, об истории наводнений в Лондоне, об окружающей среде региона. Там можно увидеть действующую модель барьера. К тому же на сайте информационного центра заранее сообщается о профилактических подъемах барьера для проверки работы его систем, поэтому есть возможность увидеть и это.

Рис. 14. Кафе и информационный центр Барьера Темзы [17]

К северному берегу в районе барьера примыкает большой зеленый парк, разбитый на месте бывшей промышленной зоны в 2000 году и представляющий собой пример рекультивации загрязненной производством территории.

А между опорами барьера при опущенных затворах помимо прочих проплывают прогулочные и экскурсионные суда (рис. 15).

Рис. 15. Прогулочный катер проплывает через один из пролетов Барьера Темзы [14]

По проекту срок эксплуатации Барьера Темзы должен был составлять 46–48 лет (до 2030 года), но недавний анализ показал, что он будет служить достаточно хорошей защитой по крайней мере до 2070 года (считается, что уровень этой защиты будет постепенно ослабевать после 2030 года, но очень медленно). Ведь барьер был спроектирован с учетом повышения среднего уровня моря на 8 мм в год до 2030 года, но в действительности море поднималось медленнее (примерно на 3,2 мм в год).

Следует отметить, что периодически разрабатываются конкретные проекты новых более совершенных барьеров, которые предлагается создать ниже по течению вместо Барьера Темзы, однако британские и лондонские власти пока не принимают эти предложения, надеясь, что существующая защита успешно прослужит еще лет пятьдесят. Тем более что сооружение уже доказало свою надежность и экономичность.

Список литературы и других источников

1. *Литвиненко Ю.М., Литвиненко М.Ю.* Оптимизация экологической ситуации в Венецианской лагуне // Экология и жизнь. 19.07.2013. URL: http://www.ecolife.ru/zhurnal/articles/16469/.
2. Как работает Барьер Темзы // Fresher. Дата последнего обращения: 27.05.2019. URL: https://www.fresher.ru/2016/11/12/kak-rabotaet-barer-temzy/.
3. Барьер Темзы в Лондоне // WonderVision.ru. Дата последнего обращения: 29.05.2019. URL: https://wondervision.ru/velikobritaniya/barer-temzy-v-londone/.
4. Барьер Темзы // Ru.wikipedia. 09.04.2019. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Барьер_Темзы.
5. Наводнение в Лондоне (1928) // Ru.wikipedia. 25.04.2019. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Наводнение_в_Лондоне_(1928).
6. Барьер Темзы // Великобритания. Дата последнего обращения: 29.05.2019. URL: http://about-britain.ru/london/dostoprimechatelnosti/barer-temzy/.
7. Вулидж // Ru.wikipedia. 19.18.2018. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Вулидж.
8. Барьер Темзы. Защита Лондона от наводнений // LifeGlobe. 12.05.2014. URL: https://lifeglobe.net/entry/6040.
9. Барьер Темзы. Защита Лондона от наводнений // LifeGlobe. 12.05.2014. URL: https://lifeglobe.net/entry/6040.

10. Барьер Темзы // Ru.wikipedia. Дата последнего обращения: 27.05.2019. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Барьер_Темзы.
11. *Bruton E.* The Thames Barrier: a guardian of the river and a product of mathematics // The Science Museum site. 08.05.2017. URL: https://blog.sciencemuseum.org.uk/thames-barrier-guardian-river-product-mathematics/.
12. *Homer R.W.* The Thames tidal flood risk – the need for the barrier: a review of its design and construction // Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology. London, 1984. Vol. 17. P. 199–206. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.925.570&rep=rep1&type=pdf.
13. https://wikiway.com/velikobritaniya/london/map/.
14. Thames Barrier // En.wikipedia. The last accessed date: 27.05.2019. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Thames_Barrier.
15. Thames Barrier // The Geological Society site. The last accessed date: 28.05.2019. URL: https://www.geolsoc.org.uk/GeositesThamesBarrier.
16. Thames Barrier project pack. London: The Environment Agency, 2012. С. 12–14. URL: http://web.archive.org/web/20120825053943/http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Leisure/Thames_Barrier_Project_pack_2012.pdf.
17. The Thames Barrier // GOV.UK. 25.04.2014. URL: https://www.gov.uk/guidance/the-thames-barrier.