
**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 556.54(282.242.4:261.26)

**МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНЫХ И МОРСКИХ
ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ р. ТЕМЗЫ¹**

© 2011 г. М. В. Михайлова

Институт водных проблем Российской академии наук

119333 Москва, ул. Губкина, 3

Поступила в редакцию 01.09.2010 г.

Рассмотрены общегеографические характеристики р. Темзы, ее бассейна и устьевой области, состоящей из приливного устьевого участка реки, крупного эстуария и открытого устьевого взморья — прибрежной зоны Северного моря. Подробно описаны особенности речных и морских гидрологических факторов, влияющих на режим устьевой области Темзы. Уточнены характеристики стока воды реки, приведены данные о стоковых наводнениях в районе Лондона. Рассмотрены многолетние изменения среднего уровня моря в районе устья Темзы, характеристики приливов и штормовых нагонов на морском входе в эстуарий. Выявлены основные закономерности эволюции эстуария в голоцене и современных морфологических процессов в устьевой области Темзы.

Ключевые слова: река, море, эстуарий, сток воды, стоковые наводнения, засухи, приливы, штормовые нагоны, морфология эстуария.

Темза — главная река Великобритании, протекающая через густонаселенный и хорошо освоенный в промышленном и сельскохозяйственном отношении регион. Устьевая область (УО) Темзы представляет собой особый географический объект, экономический потенциал и экологические условия которого — предмет повышенного интереса не только политиков, финансистов, промышленников, лиц, занимающихся развитием инфраструктуры в сфере услуг, но и гидротехников, гидрологов и океанологов. Во-первых, здесь расположен один из крупнейших мегаполисов Европы — Лондон. Это — столица страны, важный речной и морской порт, требующий постоянных работ по поддержанию судоходного канала между Лондоном и Северным морем. Во-вторых, промышленность и население Лондона требуют не только устойчивого обеспечения речной водой, но и заботы об охране вод Темзы от загрязнения. В-третьих, вся УО Темзы находится в зоне сильного влияния морских приливов и, особенно, опасного воздействия штормовых нагонов, сила и повторяемость которых заметно возросла во второй половине XX в., что требует принятия серьезных защитных мер.

По этим причинам гидрологический режим УО Темзы и влияние на него речных и морских факторов давно находятся под пристальным вниманием английских ученых и инженеров и хорошо изучены.

Ознакомление с результатами этих исследований, почти не известных в России, может предоставить уникальную возможность оценить богатый опыт специалистов Англии в изучении сложных процессов взаимодействия речного стока, приливов и штормовых нагонов в устье реки. Анализ такого опыта будет полезен отечественным специалистам, имеющим дело с изучением и охраной природных ресурсов пока недостаточно изученных эстуариев на побережьях российской Арктики и Дальнего Востока. В предлагаемой читателю статье рассматриваются речные и морские факторы, воздействующие на режим УО Темзы, а также географические особенности устья реки и происходящие в нем морфологические процессы. Динамика вод и наносов в эстуарии Темзы при приливах и штормовых нагонах, а также меры по защите Лондона от нагонных наводнений будут освещены в другой статье.

ТЕМЗА И ЕЕ БАССЕЙН

Темза берет начало на возвышенности Котсуолд-Хилс. Исток Темзы — Тэмзхэд находится на высоте 108.5 м над уровнем моря (у.м.), в 4.8 км к юго-западу от г. Сайренсестер. Темза начинается в поле, называемом Трусбери-Мид. Исток Темзы с древних времен был отмечен камнем, который в XIX в. заменили мраморным параллелепипедом, на котором высечено: “Комитет по охране реки Темзы. 1857–1974. Этот камень отмечает исток Темзы” [1].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00061).

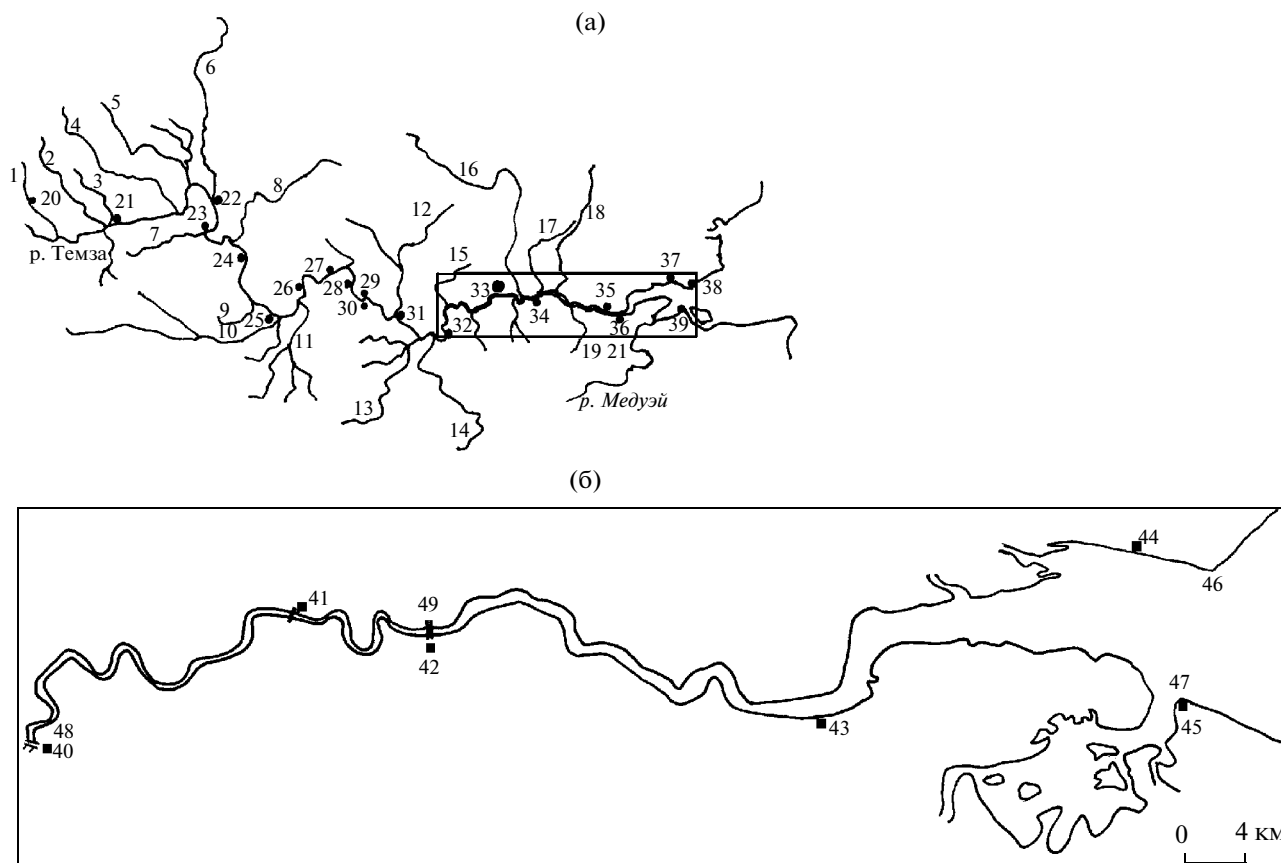


Рис. 1. Карта-схема бассейна р. Темзы (а) и ее устьевое участка и эстуария (б). Притоки: 1 – Черн, 2 – Колн, 3 – Лич, 4 – Уиндраш, 5 – Ивенлоуд, 6 – Черуэлл, 7 – Ок, 8 – Тейм, 9 – Пэнг, 10 – Кеннет, 11 – Лоддон, 12 – Колн, 13 – Уэй, 14 – Мол, 15 – Брент, 16 – Ли, 17 – Родинг, 18 – Ингреборн, 19 – Дарент; города: 20 – Сайренсестер, 21 – Личлейд, 22 – Оксфорд, 23 – Абингдон, 24 – Уолингфорд, 25 – Рединг, 26 – Хенли-он-Темс, 27 – Марлоу, 28 – Мейденхед, 29 – Итон, 30 – Виндзор, 31 – Стейнс, 32 – Тиддингтон, 33 – Лондон, 34 – Вулидж, 35 – Тилбури, 36 – Грейвзэнд, 37 – Саутенд-он-Си, 38 – Шуберинесс, 39 – Ширнесс; г/п: 40 – Тиддингтон, 41 – Лондонский мост, 42 – Вулидж, 43 – Грейвзэнд, 44 – Саутенд, 45 – Ширнесс; мысы: 46 – Шуберинесс, 47 – Гаррисон; 48 – плотина Тиддингтон, 49 – противонагонный Барьер Темза.

Право называться истоком Темзы оспаривает и другое место: Севен-Спрингс (Семь источников) на высоте 213 м, к северу от Сайренсестера. Здесь находится старинная каменная насыпь с семью маленькими отверстиями, из которых бьют семь источников. Табличка на латыни гласит: “*Nis Tuus O Tamesine Pater Septemgeminus Fons*” (“Здесь, о Отец Темз, твой семикратный исток”) [1]. Эти источники дают начало притоку Черн.

Темза протекает через графства Глостершир, Уилтшир, Оксфордшир, Беркшир, Бакингемшир, Суррей, Эссекс, Кент, а также через Большой Лондон.

Длина реки по разным данным составляет 330 [22], 346 [1], 400 [29], 405 км [4]. Площадь бассейна равна 12.94 [23, 25] или 14.25 тыс. км² [22]. Р. Медуэй, образующую вместе с Темзой эстуарий, в литературе часто считают притоком Темзы. Площадь их общего бассейна составляет 15.0 [29], 15.3 [4],

15.34 тыс. км² [18]. Ширина Темзы увеличивается вниз по течению: у г. Личлейд она равна 18 м, у г. Оксфорд – 76 м, у г. Тиддингтон – 100 м.

Бассейн Темзы (рис. 1) окружен небольшими возвышенностями. На западе – это холмы Котсуорлд-Хилс, на юге – возвышенности Марлборо-Даунс и Норт-Даунс. Почти на всем своем протяжении Темза течет по равнине, за исключением меловой гряды Чилтерн-Хилс, через которую река за тысячелетия проложила себе путь в виде так называемой Горингской бреши. Выше г. Горинг река течет в долине с мягкой глинистой почвой и через невысокие кряжи из песчаника и известняка, ниже – через Лондонский бассейн (Лондонскую низменность) – приморскую низменную равнину, меловое основание которой покрыто глиной, гравием и песком. Темза впадает в Северное море, образуя эстуарий.

Климат в бассейне р. Темзы морской умеренных широт с теплым летом и мягкой зимой. Средне-

довое количество осадков 700–800 мм [2]. На осеннее–зимний период (с сентября по февраль) приходится ~60% годовой суммы осадков, на весеннее–летний (с марта по август) ~40% [4]. Доля твердых осадков составляет ~10% их общего количества [4]. Согласно [2] среднегодовые величины испарения и испаряемости в бассейне Темзы равны ~500–550 и ~600 мм соответственно. Индекс сухости, равный по М.И. Будыко отношению испаряемости к осадкам, составляет ~0.8, что отвечает условиям достаточного увлажнения территории.

Темза принимает 38 основных притоков, наиболее крупные из которых — Черн, Колн, Лич, Уиндраш, Ивенлоуд, Черуэлл, Тейм, Колн, Brent, Ли, Родинг, Ингреборн (левые) и Ок, Пэнг, Кеннет, Лоддон, Уэй, Мол, Дарент (правые).

Водные ресурсы Темзы используются для нужд различных отраслей экономики: обеспечения водой промышленности и сельского хозяйства, водоснабжения городов и населенных пунктов. На долю Темзы приходится 70% водопотребления Лондона [15]. Небольшие водохранилища накапливают воду на случай засухи. В 1883 г. из Темзы в общей сложности забиралось 4, в настоящее время ~20 м³/с [15]. Для водозабора, регулирования паводков, обеспечения местного судоходства на реке построено множество небольших плотин (барражей), водосливов, водосбросов, насосных станций, шлюзов и других гидротехнических сооружений.

Темза судоходна почти на всем протяжении. Небольшие баржи доходят до г. Личлейд (рис. 1). Большие океанские суда поднимаются до Лондонского моста в 72 км от моря. Темза соединена каналами с Бристольским зал., Ирландским морем и промышленными районами центральной части страны. Через реку проложены 104 моста.

Первые поселения в бассейне Темзы относятся к временам неолита (более 400 тыс. лет назад). В первом столетии н.э. римляне основали Лондиниум — гавань с гарнизоном (на месте современного Лондона) и построили в этом месте первый деревянный мост через Темзу. Позже, в 800-х гг. эти земли захватили викинги; они на своих ладьях поднимались вверх по реке до современного Рединга (рис. 1), а в начале XI в. — англосаксы. В настоящее время в бассейне Темзы проживает 13 млн. чел., из них 7.5 млн. — в Лондоне. На реке находятся также города Личлейд, Оксфорд, Абингдон, Уолингфорд, Рединг, Хенли-он-Темс, Марлоу, Мейденхед, Итон, Виндзор, Стейнс.

ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ТЕМЗЫ

Устьевая область р. Темзы (рис. 1) включает устьевую часть реки длиной 30 км, эстуарий длиной 72 км и открытое устьевое взморье шириной

~60 км. Главная часть УО Темзы — это воронкообразный эстуарий. За верхнюю границу эстуария (его вершину) обычно принимают Лондонский мост, от которого отсчитываются расстояния вверх и вниз по течению [28] и откуда начинается эстуарное расширение русла. Нижняя граница эстуария (его устьевой створ) находится на линии между мысами Шуберинесс и Гаррисон. Условия на входе в эстуарий отражают данные гидрологических постов (г/п) Саутенд (на левом берегу) и Ширнесс (на правом). Выше эстуария в сторону суши находится приливный устьевой участок реки. Его верхняя граница определяется по предельной дальности распространения в реку сизигийных приливов в межень. Верхней границей УО Темзы (и ее устьевой участка) в настоящее время служит плотина у г. Тиддингтон (в 102 км от моря и 30 км от вершины эстуария). Некоторые английские исследователи полагают, что первоначально Тиддингтон назывался Tide-end Town (“Город, где кончаются приливы”) [1]. Мористее нижней границы эстуария находится открытое устьевое взморье Темзы. Нижняя граница УО (и устьевого взморья) определена Гидрологической службой Великобритании в 1882–1889 гг. [20] и представляет собой линию, соединяющую г. Харидж в графстве Эссекс, маяк на мели Кентиш-Нок и мыс Норт-Форленд в графстве Кент. Эта граница находится на расстоянии ~60 км от устьевой створа эстуария в сторону Северного моря. Протяженность устьевого взморья вдоль побережья в районе маяка Нор-Лайт — 10 км, между м. Фаулнесс и г. Уитстабл — 29 км [25]. Таким образом, длина всей УО Темзы ~162 км (30 + 72 + 60 км).

Открытое устьевое взморье Темзы английские ученые [16, 27, 31] часто называют внешним эстуарием, а сам эстуарий — внутренним эстуарием. Площадь открытого устьевого взморья составляет ~1000 км².

Эстуарий Темзы имеет классическую воронкообразную, расширяющуюся к морю форму. Ширина эстуария в районе Лондонского моста — 265 м, у Вулиджа — 448, у Грейвзенда — 732 м, между городами Шуберинесс и Ширнесс — 8 км.

По расчетам Дж. Н. Ханта в 1964 г., приведенным в [28, 30], ширина эстуария ниже Лондонского моста хорошо описывается уравнением экспоненты $V = V_0 \exp[2ax]$, где V_0 — ширина русла в начальном створе, x — расстояние от этого створа вдоль эстуария, м, $a = 2.06 \times 10^{-5}$ 1/м. По этим же данным на участке выше Лондонского моста до плотины Тиддингтон средняя глубина русла (при среднем приливном уровне воды) уменьшается с 7 до 2 м при средней величине 4.6 м, а ниже Лондонского моста вплоть до нижней границы эстуария — сначала возрастает с 7 до 10 м, а затем вновь уменьшается до 7 м, в среднем составляя 7.9 м.

По измерениям В.И. Кравцовой (МГУ) с помощью космических снимков площадь эстуария со-



Рис. 2. Рельеф устьевое взморья Темзы по [16]. Отмели: 1 – Маплин-Сэндс, 2 – Фаулнес-Сэнд, 3 – Бакси-Сэнд, 4 – Ганфлит-Сэнд, 5 – Мидл-Дип-Сэнд, 6 – Ист-Барроу-Сэнд, 7 – Уэст-Барроу-Сэнд, 8 – Санк-Сэнд, 9 – Лонг-Сэнд, 10 – Маргейт-Сэнд; 11 – приливная осушка Кентиш-Флэтс; ложбины и русла: 12 – Мидл-Дип, 13 – Барроу-Дип, 14 – Оаз-Дип, 15 – Блэк-Дип, 16 – Нок-Дип; каналы: 17 – Северный Эдинбургский, 18 – Южный Эдинбургский, 19 – Принсис, 20 – Куинс, города: 21 – Саутенд-он-Си, 22 – Ширнесс, 23 – Клактон-он-Си. Штриховая линия – изобата 1.8 м (6 футов). Стрелки – преобладающие приливные и отливные течения.

ставляет 117.4 км² без островов и 153.3 км² с островами.

Берега эстуария защищены волноломами и дамбами. В районе Вулиджа в 1983 г. принят в эксплуатацию знаменитый противонагонный Барьер Темза.

Через русло на устьевом участке реки и эстуарий, помимо Лондонского моста, построен ряд мостов, среди которых знаменитый Тауэрский мост в ~1 км ниже Лондонского моста.

В северной и центральной частях устьевое взморья Темзы наносы, выносимые из эстуария,

формируют отмели и песчаные гряды, ориентированные с юго-запада на северо-восток и параллельные побережью графства Эссекс: Маплин-Сэндс, Фаулнес-Сэнд, Бакси-Сэнд, Ганфлит-Сэнд, Мидл-Дип-Сэнд, Ист-Барроу-Сэнд, Уэст-Барроу-Сэнд, Санк-Сэнд, Лонг-Сэнд (рис. 2). Между этими отмелями проходят приливные и отливные русла Мидл-Дип, Барроу-Дип, Оаз-Дип, Блэк-Дип, Нок-Дип (рис. 2). Результирующие течения в приливных руслах направлены в сторону реки, в отливных – в сторону моря.

Таблица 1. Внутригодовое распределение стока воды Темзы по данным многолетних наблюдений на г/п Тиддингтон/Кингстон за 1883–2001 гг. по [21] (в скобках – год)

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний расход воды, м ³ /с	140	135	115	88.2	65.0	48.7	35.1	32.3	34.5	50.5	84.2	114
%	14.8	14.3	12.2	9.3	7.0	5.2	3.7	3.4	3.7	5.4	8.9	12.1
Максимальный средне- месячный расход, м ³ /с	333 (1915)	348 (1904)	370 (1947)	204 (2001)	181 (65.0)	179 (1903)	88.8 (1968)	88.8 (1931)	139 (1968)	185 (1903)	340 (1894)	344 (1929)
Минимальный средне- месячный расход, м ³ /с	30.7 (1997)	25.1 (1905)	27.3 (1944)	26.5 (1976)	18.2 (1944)	13.5 (1944)	10.8 (1921)	11.0 (1976)	11.2 (1898)	15.1 (1934)	17.8 (1921)	22.5 (1921)

В южной части устьевого взморья (южнее 51°30' с.ш.) находятся широкие отмели, ориентированные с запада на восток и параллельные побережью графства Кент. Отмели Маргейт-Сэнд, Кентиш-Флэтс имеют сходство с отмелями Маплин-Сэнд и Бакси-Сэнд. Севернее этих отмелей проходят судоходные каналы Северный Эдинбургский и Южный Эдинбургский, Принсис, Куинс (рис. 2).

Приливные русла на устьевом взморье имеют большую глубину в своих мористых концах и постепенно уменьшают ее к “речному” концу, где находится бар. Отливные русла, наоборот, глубже в речной и мельче в мористой частях.

На берегах эстуария, помимо Лондона и его предместий, находятся города Тилбури, Грейвзэнд, Канви, Саутенд-он-Си.

Климат УО Темзы мало отличается от климата всего бассейна реки. Средняя температура самого теплого месяца (июль) равна ~18°C, самых холодных (декабрь и январь) ~3°C. Годовая сумма осадков в Гринвиче 644 мм, большая их часть приходится на ноябрь, октябрь, август и июль [2]. Зимой преобладает неустойчивая погода с сильными ветрами. Погода летом спокойная. Туманы характерны для любых сезонов года.

РЕЧНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Сток воды Темзы и его характеристики

Средние составляющие годового водного баланса бассейна Темзы (при его площади 15.3 тыс. км²) следующие [4]: осадки 764 мм, слой стока 201 мм, испарение 563 мм; коэффициент стока 0.26. Слой стока в пределах бассейна изменяется от 200–300 в верхней части до 150 мм – в нижней; коэффициент стока также уменьшается в этом направлении от 0.3–0.4 до 0.2–0.3. Согласно литературным данным средний водный сток реки составляет от 2.4 [29] до 3.08 км³/год [4].

Река имеет в основном дождевое и грунтовое питание, гидрологический режим характеризуется зимними паводками и летней меженью.

Самый нижний речной г/п, на котором ведутся измерения уровней и расходов воды, находится у

плотины в районе Тиддингтона. Плотина построена в 1812 г. [15]. Уровни воды на этом посту измеряли с 1891 г. в начале и конце системы шлюзов, а расходы воды определяли выше плотины и через плотину для каждого ее ворот. Расчеты были осложнены воздействием приливов и поэтому для улучшения точности расчетов стока воды в 1974 г. в г. Кингстон (в 2 км выше плотины у Тиддингтона) был установлен новый ультразвуковой г/п. Сейчас г/п Кингстон считается основным, хотя измерения на г/п Тиддингтон по-прежнему проводят как дублирующие [15].

Среднегодовое количество стока воды Темзы, рассчитанное автором статьи по данным наблюдений на г/п Тиддингтон–Кингстон за 1883–2001 гг. [21], составил 78.5 м³/с (2.48 км³/год) (табл. 1). Максимальный среднегодовой расход воды (371 м³/с) отмечен в 1947 г., минимальный (10.8 м³/с) – в 1921 г. [21].

Многолетние колебания годового стока невелики (коэффициент вариации ~0.12). Приведенные в [15] интегрально-разностные кривые (ИРК) среднегодового стока Темзы на г/п Тиддингтон–Кингстон и годовых сумм осадков в бассейне реки за 1885–1985 гг. позволяют установить ряд важных закономерностей. Во-первых, характер ИРК для величин стока и осадков практически одинаков, что указывает на то, что атмосферные осадки и их многолетние изменения – главный фактор, определяющий многолетнюю изменчивость водного стока Темзы. Во-вторых, в изменении водного стока реки хорошо проявились три разнородных периода: маловодный (1885–1915 гг.), многоводный (1915–1945 гг.) и последний продолжительностью 40 лет, когда сток реки был близок к среднему за весь 100-летний период. В-третьих, заметного тренда в изменениях стока, связанного с забором воды из реки или с влиянием гидротехнических сооружений, не выявлено.

Интересно отметить, что многолетняя изменчивость стока воды Темзы схожа с аналогичной изменчивостью других рек Европы с длительным рядом наблюдений. Например, на Дунае маловодным был период с 1840 по 1930 г., а многоводным – с 1910 по 1930 г. (на Темзе – 1885–1915 и 1915–1945 гг.).

Внутригодовое распределение водного стока Темзы в целом соответствует сезонным изменениям осадков в бассейне реки. На зиму (декабрь–февраль) приходится 41.2%, на весну (март–май) – 18.0, лето (июнь–август) – 12.3, осень (сентябрь–ноябрь) – 28.5% годового водного стока. В целом в осенне-зимний период по реке проходит 69.7% годового стока, а в весенне–летний – 30.3% (табл. 1). Самые многоводные месяцы – январь (14.8%) и февраль (14.3% годового стока), самые маловодные – август (3.4%), июль и сентябрь (по 3.7% годового стока) (табл. 1). Водность самого многоводного месяца превышает водность самого маловодного в 4.4 раза, что свидетельствует о небольшой внутригодовой изменчивости водного стока реки.

Максимальные среднемесячные расходы воды обычно отмечаются в осенне–зимние месяцы (ноябрь–февраль), а иногда и в марте, и достигают 330–370 м³/с (табл. 1). Минимальные среднемесячные расходы воды обычно наблюдаются в июле–сентябре и составляют ~11 м³/с (табл. 1).

Стоковые наводнения

В бассейне Темзы нередки наводнения, вызванные дождевыми паводками. Первое документально зафиксированное наводнение произошло в 9 г. н.э., хотя, разумеется, множество других наводнений нигде не отражены. В 38 г. новое катастрофическое наводнение унесло около 10 тыс. жизней [1]. В 1332 г. был почти полностью разрушен городок Таплоу, в 1768 г. в г. Рединг вода за полчаса поднялась на 2.5 фута (0.76 м), в 1774 г. снесло мост в г. Хенли-он-Темс [1]. Есть свидетельства, что в XVIII в. наводнения произошли в 1742, 1764 и 1768 гг. [24].

В 1821 г. были затоплены дороги около русла Темзы, в 1841 г. под водой оказалась главная улица г. Итон. Большие наводнения случились в 1852 и 1874 гг., причем оба раза 17 ноября. Наводнения в районе городов Мейденхед, Итон и Виндзор происходили регулярно: в январе 1869 и январе 1872 гг., зимой 1872–1873 и зимой 1876–1877 гг. Самое сильное наводнение в XIX в. случилось в ноябре 1894 г., когда менее чем за месяц выпала 1/3 годовой суммы осадков [1] и максимальный расход воды на пике паводка составил 600 м³/с [24].

В начале XX в. наводнения случались в 1900, 1904, 1915, 1925 гг. Катастрофическое наводнение в январе 1928 г. стало следствием обильных снегопадов в конце декабря 1927 г. Быстрое таяние снега совпало с приливом 6 января и вызвало наводнение в центральной части Лондона. Были разрушены некоторые набережные и здания, 14 чел. погибли, тысячи людей остались без крова. В середине марта 1947 г. произошло самое разрушительное наводнение в долине Темзы в XX в. Наводнение было вызвано осадками в виде дождя и снега, выпавшими на промерзшую за долгую зиму землю. Темза и ее при-

токи вышли из берегов. Река ниже г. Чертси разлилась почти на 5 км, а г. Мейденхед был затоплен на 1.8 м. Максимальный расход воды на пике паводка в марте 1947 г. достиг 714 м³/с [15]. Ущерб от наводнения составил 12 млн. фунтов стерлингов.

Наводнение в сентябре 1968 г. было вызвано обильными осадками, выпавшими за короткий период на очень ограниченной территории: в бассейнах притоков Моул и Уэй и в низовьях самой Темзы. Среднесуточный расход у Тиддингтона на пике паводка составил 600 м³/с [15].

Для защиты от наводнений обширных территорий вокруг городов Мейденхед, Итон и Виндзор в конце 1990-х гг. было начато строительство противопаводочного обводного канала длиной 11.5 км. Канал был открыт в 2002 г. и получил название в честь 50-летия правления королевы Елизаветы II – Джьюбили-Ривер. Несмотря на то что канал искусственный, выглядит он как настоящая река, меандрирующая среди берегов, заросших тростником.

Засухи и маловодья

В бассейне Темзы также нередки засухи. В [15] приведены сведения о засухах в начале XX в. (в 1921, 1934, 1944 и 1976 гг.). Засуха летом 1921 г. была самой продолжительной, а уровень воды в июле у Тиддингтона был самым низким за весь период наблюдений [15]. Экстремальная засуха 1921 г., по-видимому, охватила большую часть Европы. Например, на Дунае и Днестре последние месяцы в 1921 г. оказались самыми маловодными за весь период наблюдений. Во время засухи 1934 г. возникла угроза срыва системы водообеспечения Лондона, а в 1976 г. уровень воды в Темзе на г/п Тиддингтон опустился практически до порога плотины. Продолжительность периодов с расходом воды <10 м³/с в 1921, 1934, 1944 и 1976 гг. составила 15, 7, 9 и 11 дней соответственно, а с расходом воды <20 м³/с – 186, 183, 160 и 116 дней [15].

Согласно некоторым новым климатическим прогнозам [36] в XXI в. в бассейне Темзы могут произойти следующие изменения: зимы станут более мягкими и влажными, в результате чего максимальные паводочные расходы воды повысятся на 20%, летом более частыми станут сильные кратковременные ливни и вызванные ими дождевые паводки. Для предупреждения рисков стоковых наводнений разрабатывается специальный план по регулированию стоковых наводнений в бассейне реки – The Thames Catchment Flood Management Plan, включающий в себя систему мероприятий по регулированию паводков, поддержанию в должном состоянии русел рек и защитных сооружений и строительству новых дамб [36].

Другие речные факторы

Сток взвешенных наносов Темзы по разным данным составляет от 0.08 [29] до ~0.3 млн. т/год [25]. Сток растворенных веществ – 0.23 млн. т/год [29].

Ледяной покров на реке нерегулярный. Устанавливается он только в очень холодные зимы. Самые первые сведения о замерзшей Темзе относятся к 250 г. н.э., когда лед на реке стоял 9 недель [19]. Между 1408 и 1814 гг. Темза замерзала 24 раза. Одной из самых суровых была зима 1434/1435 гг., когда лед держался с 24 ноября по 10 февраля и люди пешком добирались по нему от Лондонского моста почти до Грейвзенда. Очевидцы писали, что в 1565 г. на льду реки “играли в футбол без всякой опаски, точно на суше” [1], а в 1608 г. король Генрих VIII проехал на санях по замерзшей реке от центра Лондона до Гринвича [19]. Самой суровой зимой, когда-либо зарегистрированной в Англии, была зима 1683/1684 гг., когда замерзла не только Темза (на два месяца), но и южная часть Северного моря. Лед на реке был толщиной до 18 дюймов (45 см) и на нем горожане устроили знаменитую Морозную ярмарку [1]. Морозная ярмарка 1814 г., когда по льду была проложена “Городская дорога”, оказалась последней. Вскрытие реки всегда происходило резко и внезапно. Лед крушил суда на своем пути и причинял немалый ущерб мостам [1].

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Изменения среднего уровня моря

В качестве основной характеристики режима морей служит средний (фоновый) уровень моря (ум.), рассчитываемый путем осреднения текущих величин уровня и исключения (фильтрации) их кратковременных (приливных и сгонно-нагонных) колебаний. Средний ум. (СУМ) – в англоязычной терминологии mean sea level – главный морской фактор, влияющий на режим и эволюцию устьев рек (дельты и эстуариев). Этот уровень служит фоном, на котором происходят приливные и сгонно-нагонные колебания уровня на морской границе УО; к этому уровню выклиниваются кривые свободной поверхности, обусловленные стоком реки; этот же уровень – общий базис эрозии для впадающих в моря рек. К СУМ и его изменениям “привязаны” береговые линии вблизи устьев рек: они смещаются в сторону суши при повышении СУМ и в сторону моря – при его понижении.

В Англии все высоты ум. фиксируют относительно “нуля” системы Ordnance Datum Newlyn (ODN). В качестве такого “нуля” избран средне-многолетний ум. в г. Ньюлин на п-ове Корнуолл за 1915–1921 гг. [17]. До 1921 г. за “нуль” принимался уровень у дока Виктория в Ливерпуле [17].

В системе ODN измеряют изменения СУМ, оценивают сезонные, приливные и сгонно-нагонные колебания уровней воды на г/п.

Существенные изменения СУМ во всех связанных с океаном морях за последние 15–20 тыс. лет определяются постледниковой (фландрской) трансгрессией Мирового океана. В конце последнего оледенения, т.е. 18–20 тыс. лет назад, СУМ находился не менее чем на 100 м ниже современного [34]. Потепление климата и таяние покровных ледников привело к повышению СУМ. 15 тыс. лет назад он приобрел отметку ~ –70 м. Наиболее быстро СУМ повышался в период 15–7 тыс. лет назад (почти на 70 м).

В эпоху голоцена средний уровень в Северном море 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 и 0 тыс. лет назад составлял –50, –34, –17, –11, –7, –4, –2, –1, ~0, ~0 и 0 м ODN соответственно [12, 13, 34], т.е. ~3–4 тыс. лет назад приобрел отметки, близкие к современным.

Медленное повышение среднего уровня Мирового океана отмечалось и в последние 150 лет. Согласно [11] за 1870–2003 гг. (133 года) средний уровень в Мировом океане повысился на 20 см (средняя интенсивность подъема ум. составила 1.5 мм/год). В последние десятилетия проявилась явная тенденция к ускорению повышения ум.: если в 1961–2003 гг. уровень океана поднимался со средней скоростью 1.8 ± 0.5 мм/год, то в 1993–2003 гг. – уже со скоростью 3.1 ± 0.7 мм/год [11]. Большинство специалистов полагает, что прогрессирующее эвстатическое повышение ум. объясняется современным глобальным потеплением климата, усилением таяния покровных ледников и тепловым расширением морских вод.

Оценки происходившего в XX в. повышения среднего уровня в Северном море противоречивы [6, 8, 12, 13, 33, 34]. На разных г/п этот рост уровня оказался разным. Например, на г/п Ширнесс, Саутенд, Феликстоу и на голландском берегу наблюдениями установлен рост СУМ, равный 3.3, 3.4, 1.6 и 2.0 мм/год соответственно [33]. Согласно [8] тренды в изменении СУМ на г/п вблизи входа в эстуарий Темзы оказались следующими: в Ширнесс за 1901–1996 гг. – 2.14, в Саутенд за 1933–1983 гг. – 1.22, в Тилбури за 1961–1983 гг. – 1.58 мм/год. Отмеченные противоречия в данных могут быть объяснены лишь воздействием дополнительных факторов.

На изменения СУМ на отдельных г/п, помимо общего эвстатического повышения ум., оказывают влияние местные геологические факторы. Их вклад в изменения СУМ тем относительно больше, чем медленнее происходит эвстатическое повышение ум. В современной науке недавно был введен термин «относительное повышение уровня моря» (ОПУМ) (аналог в англоязычной литературе – relative sea level rise (RSLR)). ОПУМ – это фактический рост СУМ, являющийся алгебраической суммой абсолютного (эвстатического) повышения уровня моря и изменения уровня поверхности земли в результате тектонического опускания или, наоборот,

Таблица 2. Ожидаемое повышение СУМ в районе устья Темзы по данным DEFRA по [32]

Годы (число лет)	ΔH , мм/год	ΔH , см
1991–2025 (35)	4.0	14.0
2026–2055 (30)	8.5	25.5
2056–2985 (30)	12	36
2085–2115 (30)	15	45
1991–2115 (125)	9.6	120.5

вздымания, а также просадки грунта, вызванной уплотнением и обезвоживанием отложений.

Учитывая, что влияние геологического фактора обладает пространственной неоднородностью, фиксируемый на разных морских г/п рост уровня может иметь разную интенсивность, зависящую от тектонической структуры района, направленности и величины вертикальных движений земной коры и интенсивности просадки грунта. Этими различиями объясняются разные оценки роста СУМ у берегов Англии. Данные о величинах современной просадки грунта в устье Темзы также противоречивы. Согласно [13] эта величина за последние 9 тыс. лет составила в среднем 12.7 см/100 лет, т.е. <1.3 мм/год. По [9] просадка грунта в эстуарии в районе Лондона составляет ~10 см/100 лет (1.0 мм/год), а ОПУМ в этом же месте 25–35 см/100 лет (2.5–3.5 мм/год).

Прогнозы возможного изменения СУМ в прибрежной зоне в восточной части Англии и на входе в эстуарий Темзы имеют большое значение не только при оценке изменений гидрологического режима устья реки, но и при разработке проектов защиты эстуария и Лондона от наводнений.

В [10] прогнозировалось, что повышение уровня океана по сравнению с уровнем в 1990 г. составит к концу XXI в. в среднем 48.5 см при максимальной и минимальной оценках 88 и 9 см соответственно. Отчет [11] не содержит определенных выводов относительно ожидаемого роста СУМ, в нем, наоборот, отмечена большая неопределенность в оценках возможного изменения СУМ в XXI в. Эта неопределенность связана с тремя обстоятельствами: не ясно, как в условиях потепления климата поведет себя покровный ледник Антарктиды (возможны как ускорение его таяния, так и накопление в нем льда в связи с прогнозируемым увеличением атмосферных осадков); прогнозы изменения СУМ оказываются разными в зависимости от сценариев ожидаемых выбросов в атмосферу CO_2 и роста температуры воздуха (по какому сценарию пойдет процесс, пока неизвестно); есть противоречия в оценках теплового расширения воды в будущем, вклад которого в рост СУМ составляет по разным данным 20–30%.

Согласно [11] тепловое расширение воды в XXI в. может привести к росту у.м. (по сравнению с его величиной в доиндустриальный период) не менее

чем на 1 м. По [11], без учета возможного усиления таяния покровных ледников, с 1980–1999 по 2090–2099 гг. СУМ поднимется на величину 0.2–0.6 м.

В многочисленных работах, где затрагиваются вопросы изменения среднего уровня в Северном море и на взморье Темзы в XXI в., даются противоречивые оценки. Используются упомянутые прогнозы [11] или оценки, близкие к ним. По сравнению с у.м. в начале XX в. к концу XXI в. СУМ повысится на 20–50 см. Помимо таких прогнозов, рассматривается большой диапазон оценок повышения СУМ в XXI в. от минимальных, когда рост у.м. принимается в будущем таким же, как в среднем за XX в., т.е. ~2 мм/год [32], до экстремальных, когда у.м. должен повыситься на 5–6 м [26].

Очевидно, что распространять среднюю интенсивность роста СУМ в XX в. на будущее нельзя, так как уже в конце XX в. проявилось упомянутое ускорение в росте уровня до 3 мм/год [11].

Согласно проекту “Атлантис” (по [26]) в 2030 г. может начаться разрушение ледяного щита в Западной Антарктиде и его таяние приведет к резкому росту СУМ. До 2030 г. рост СУМ будет небольшим, но с 2030 по 2130 г. (в течение 100 лет) СУМ повысится почти на 5 м (скорость роста у.м. составит ~5 см/год). В [26] такой процесс рассматривается как маловероятный “климатический сюрприз”, возможность которого, однако, исключить нельзя.

Наиболее правдоподобными выглядят результаты прогноза роста СУМ в районе устья Темзы в XXI в., разработанные в 2006 г. английским Департаментом по делам окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)) и цитируемые в [32] (табл. 2). Согласно прогнозу DEFRA рост СУМ в XXI в. будет ускоряться с 4 до 15 мм/год, к 2115 г. СУМ возрастет на 1.2 м по сравнению с уровнем в 1990 г., а за весь XXI в. – приблизительно на 1 м.

Повышение СУМ в устье Темзы в XXI в. на 1–1.2 м учитывается в разрабатываемых в настоящее время мерах по дальнейшей защите эстуария и Лондона от нагонных наводнений.

Заметим, что большинство прогнозов изменения гидрологического режима в восточной части Северного моря, включая Гельголандскую бух. и устье Эльбы, базируется на предположении, что СУМ к концу XXI в. возрастет на 1 м [5, 35].

Приливы

У берегов восточного побережья Англии наблюдаются довольно большие полусуточные приливы (рис. 3). Приливная волна движется с севера на юг; в этом же направлении заметно изменяется величина приливов $\Delta H_{\text{пр}}$, вычисляемая как разность максимального уровня в приливную фазу – полной воды (ПВ) и минимального уровня в отливную фазу –

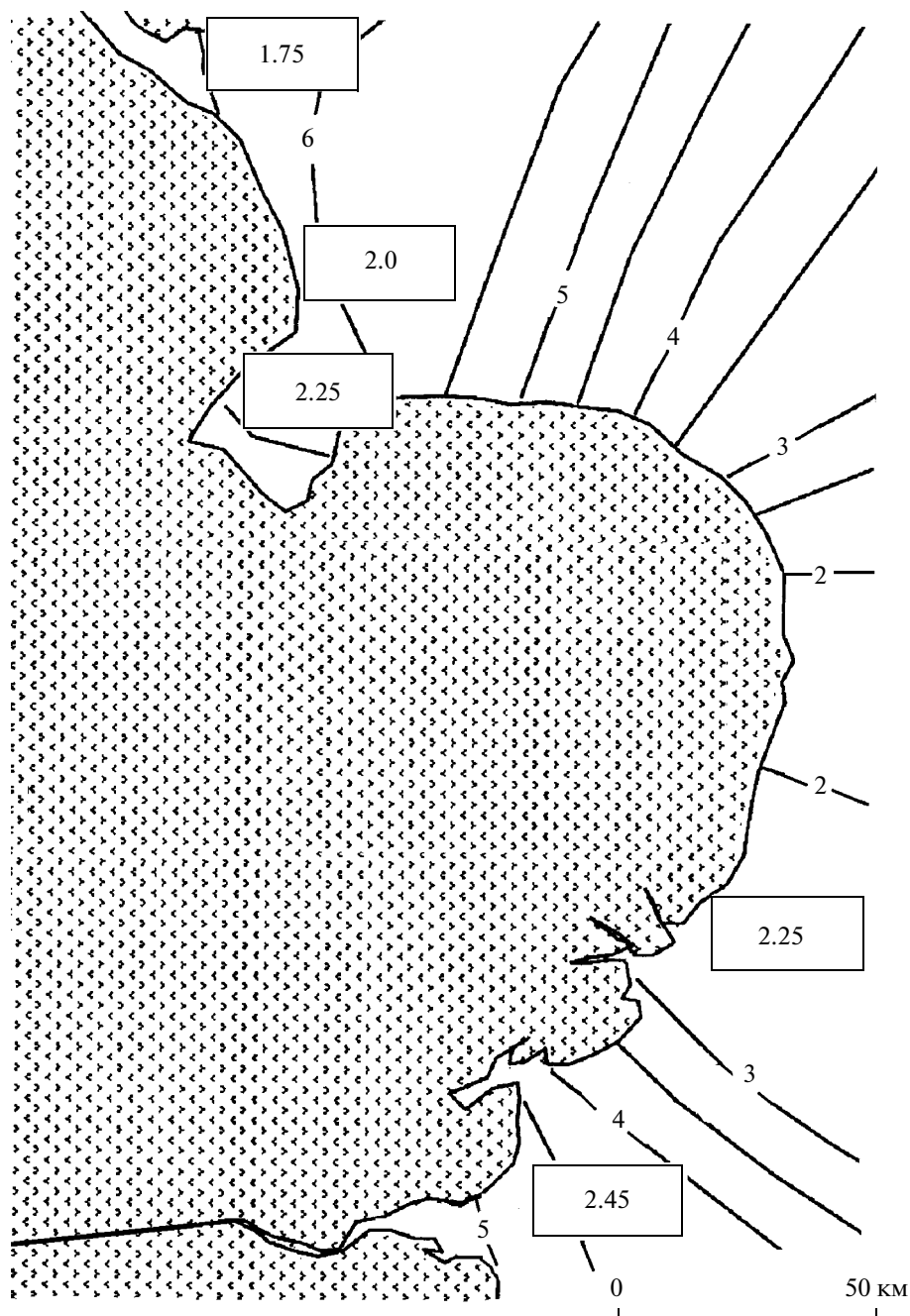


Рис. 3. Изменения вдоль восточных берегов Англии средних величин приливов (изолинии, м) и величин штормовых нагонов повторяемостью 1 раз в 50 лет (цифры в прямоугольниках, м), вычисленных как разность максимальных уровней во время нагона и высот ПВ прилива по [14, 39].

малой воды (МВ). $\Delta H_{пр}$ сначала уменьшается с 5–6 до 2 м вблизи амфидромической точки [9], а затем вплоть до устья Темзы вновь возрастает с 2–3 до ~5 м. На входе в эстуарий Темзы, на г/п Саутенд по [28] средние величины сизигийных и квадратурных приливов равны 5.3 и 3.3 м соответственно.

Повышение среднего уровня в XX в. в Северном море, причем как абсолютное, так и относительное,

привело к увеличению характеристик приливов: отметок ПВ и МВ, амплитуды и величины приливов [35]. Оказалось, что отметки ПВ повысились больше, а отметки МВ — меньше. В результате, немного возросли амплитуда и величина приливов. Данные по устью Темзы подтвердили эту закономерность. По [32] на г/п Саутенд за 1934–1966 гг. средний приливный уровень (СПУ), который можно идентифи-

цировать и как СУМ, повышался со средней интенсивностью 3.1 мм/год, а отметки ПВ и МВ — увеличивались со скоростью 3.6 и 2.5 мм/год соответственно. В итоге, величина и амплитуда приливов возрастали со скоростью всего 1.1 и ~0.5 мм/год.

Более детальные оценки изменения характеристик приливов на входе в эстуарий Темзы (г/п Саутенд) сделаны в [9]. Установлено, что за 1933–1968 гг. при росте СУМ на г/п Саутенд со скоростью ~3 мм/год отметки ПВ и МВ росли с интенсивностью 3.5 и 2.5 мм/год соответственно. Из этих данных следует, что величина приливов на входе в эстуарий Темзы увеличивалась в этот период с интенсивностью ~1 мм/год. Оценки изменения характеристик приливов на этом же г/п за более длительный период сделаны в [6]. По этим данным в 1833–1843, 1873–1876 и 1956–1974 гг. средняя величина приливов $\Delta H_{пр}$ была равна 4.29, 4.31 и 4.42 м соответственно. Таким образом, за 127 лет $\Delta H_{пр}$ выросла на 13 см, увеличиваясь с интенсивностью ~1.0 мм/год. Основная причина заметного изменения параметров приливов на входе в эстуарий Темзы — ОПУМ в этом районе. Причем, главный вклад в ОПУМ внес эвстатический рост у.м., а на долю просадки грунта пришлось ≤ 1 мм/год. Отметим, что в XX в. рост величин приливов в восточной части Северного моря составлял ~1.3 мм/год [5].

Штормовые нагоны

Гидрологический режим эстуария Темзы и всего восточного побережья Англии подвержены сильному воздействию штормовых нагонов. В настоящее время проблемы исследования штормовых нагонов, разработки их прогнозов и мер защиты приобретают особую важность по следующим причинам: во-первых, со второй половины XX в. в Северной Атлантике и Северном море заметно возросла повторяемость и сила внетропических циклонов и вызываемых ими штормовых нагонов; во-вторых, в будущем максимальные уровни во время нагонов могут еще больше возрасти на фоне значительного повышения СУМ; в-третьих, уже возросли и могут еще больше увеличиться ущербы, наносимые штормовыми нагонами хозяйству и населению (это связано как с возрастанием высот нагонов, так и с ростом экономики и численности населения в прибрежных и устьевых районах).

Сильные штормовые нагоны у восточного побережья Англии обычно вызваны перемещением глубоких атмосферных депрессий с Северной Атлантики вдоль берегов Шотландии на юго-восток к южной части Дании. Низкое давление в центре циклона вызывает «выпячивание» водной поверхности. Если такие циклоны сопровождаются сильными северо-восточными или северными ветрами,

связанными с большим градиентом атмосферного давления, то возникают условия для формирования сильных нагонов [37].

Установлено [39], что наиболее сильные штормовые нагоны у восточных берегов Англии, включая устье Темзы, происходят во время циклонов трех типов в соответствии с траекториями их перемещения над Северным морем.

Первый тип — это циклоны, перемещающиеся на юго-восток, представляющие собой глубокие усиливающиеся атмосферные депрессии, пересекающие Гринвичский меридиан и быстро движущиеся на юго-восток вокруг антициклона, расположенного к западу от Исландии. Вращение по часовой стрелке глубокого циклона вокруг антициклона усиливает градиенты давления в правой части депрессии, создавая штормовые ветры над западной частью Северного моря. Именно такой глубокий циклон вызвал катастрофический штормовой нагон 31 января—1 февраля 1953 г.

Циклоны второго типа движутся на восток. Пересекая Северное море, они усиливаются и вызывают сильные нагоны в восточной части моря, в частности, в Гельголандской бух. Эти же циклоны создают сильные нагоны у восточных берегов Англии. Такой нагон случился, например, 2—3 января 1976 г.

Циклоны третьего типа перемещаются на юг Северного моря. Циклон усиливается, когда изобары сгущаются вследствие возникновения антициклона на северо-западе Шотландии. Большие градиенты давления создают нагонный ветер у побережья восточной части Англии. Циклон такого типа вызвал сильный нагон 12 января 1978 г.

Циклоны первого и второго типов, движущиеся соответственно на юго-восток и восток, создают штормовые нагоны, имеющие фазовую скорость большую, чем у приливных волн, перемещающихся на юг вдоль восточных берегов Англии. Медленно перемещающиеся на юг циклоны третьего типа поддерживают сильные ветры и создают нагоны с периодом >24 ч.

При исследовании нагонов у германских берегов Северного моря, в частности в Гельголандской бух., немецкие специалисты выделяют циклоны над акваторией Северного моря немного по-иному, подразделяя циклоны на ютладнский, скандинавский и скагеракский типы [35].

При исследовании штормовых нагонов и их воздействия на режим берегов, прибрежной зоны и устьев рек необходимо заранее определить, что следует понимать под высотой и величиной нагона. Главная характеристика любого нагона — это отметка максимального уровня воды (на пике нагона) в принятой для данного региона системе высот. Именно эти максимальные уровни H_{max} учитываются прежде всего при статистическом анализе нагонов и оценке их воздействия на водные объекты и берега, а также при проектировании защитных ме-

роприятий. Но величина H_{\max} не может характеризовать величину самого нагона. На непривливых морях относительную величину самого нагона $\Delta H_{\text{нп}}$ вычисляют как разность H_{\max} и уровня, предшествующего нагону H_0 . На приливных морях, где уровень воды постоянно изменяется под воздействием приливов, так рассчитывать величину нагона нельзя. В таких случаях применяют два способа [39].

В первом из них рассчитывают максимальную разницу между измеренными уровнями воды во время нагона $H_{\text{изм}}$ и предвычисленными приливными уровнями $H_{\text{пр}}$ в одни и те же моменты времени. График изменения величины $H_{\text{изм}} - H_{\text{пр}}$ даст кривую изменения нагонного повышения уровня за период явления, а максимальная величина такого превышения — относительную величину нагона $\Delta H_{\text{нп}}$ (она для каждого нагона одна). Заметим, что вычисленная таким образом величина нагона $\Delta H_{\text{нп}}$ обычно соответствует не моменту H_{\max} и не моменту ПВ прилива, а некоторому моменту на подъеме прилива, т.е. за несколько часов до ПВ.

Второй способ прост: $\Delta H_{\text{нп}}$ определяют, вычитая из H_{\max} отметку предвычисленной ПВ, не взирая на несовпадение этих уровней во времени. Этот метод в [39] назван «нагон над ПВ». Таким способом рассчитаны величины нагонов у восточного берега Англии и в устье Темзы [14, 39].

На основе обработки данных о штормовых нагонах на г/п на восточном побережье Англии за 1953–1998 гг. в [14, 39] получены характеристики нагонов с повторяемостью 1 раз в 50 лет (рис. 4).

Установлено, что в рассматриваемый период величины нагонов в южной части Северного моря составляли в среднем 1.75 м на устьевом взморье р. Хамбер, увеличивались до 2.25 м в зал. Уош, до 2.0–2.25 — около побережья восточной части Англии, до 2.25–2.5 на устьевом взморье Темзы и до 2.5 м на побережье южной части Нидерландов [39]. Величина нагонов резко увеличивалась к юго-восточному берегу Северного моря, достигая 4.5 м в Гельголандской бух., что объясняется воздействием сильных ветров западных румбов и значительным сужением акватории моря в этом направлении [5, 35].

В [39] отмечено, что у всего восточного побережья Англии (за исключением небольшого участка побережья на северо-востоке Англии) «величина нагонов над ПВ» меньше величин приливов. В устье р. Хамбер и на взморье Темзы величины приливов, например, превышают величины нагонов более чем в 2 раза.

При движении волн штормовых нагонов вдоль побережья Англии происходят сложные процессы взаимодействия нагонов и приливов. Эти процессы изучены недостаточно. Основные причины этого — одновременное действие гравитационных сил и ветрового трения, нелинейные эффекты, трудности

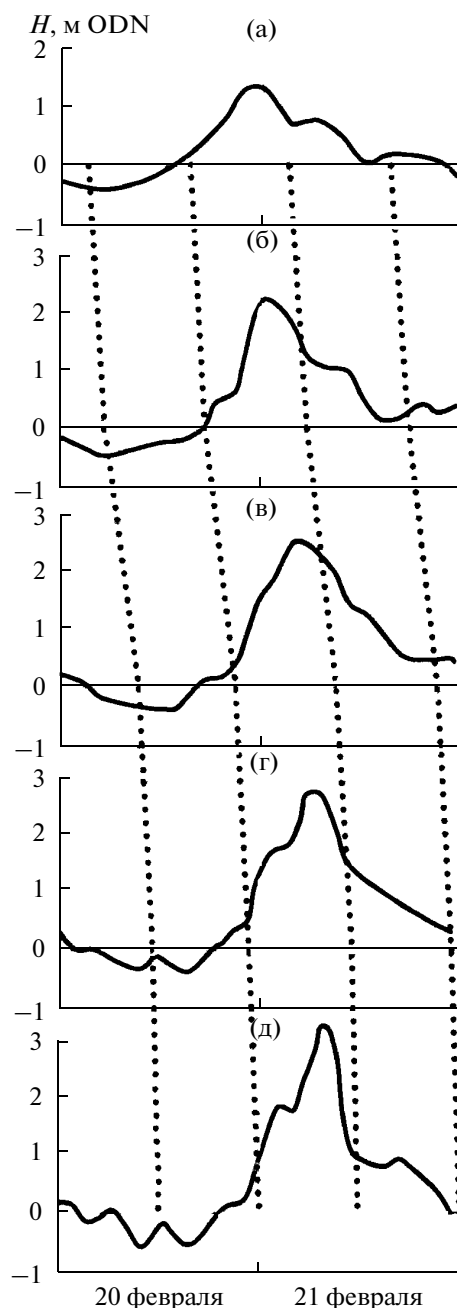


Рис. 4. Нагонные изменения уровня воды (разницы между измеренным уровнем и предвычисленным уровнем прилива) по [39] во время штормового нагона 20–21 февраля 1993 г. на г/п на восточном побережье Англии: Норт-Шилдс (а), Иммингем (б), Лоустофт (в), Феликстоу (г), Ширнесс (д). Вертикальные пунктирные линии — моменты ПВ прилива на каждом г/п.

оценки гидравлического сопротивления при неустановившемся движении воды и т.д. (обзор этих проблем сделан в [5]).

Пример взаимодействия приливов и нагонов приведен на рис. 4, иллюстрирующем движение

вдоль восточных берегов Англии волны нагона 20–21 февраля 1993 г., возникшего во время циклона первого типа, перемещавшегося на юго-восток.

Рис. 4 показывает, что скорости распространения приливных и нагонных волн вдоль побережья восточной части Англии приблизительно совпадают, однако, нагоны обычно опережают приливы по фазе; продолжительность нагона (24–30 ч) приблизительно в 2–3 раза больше периода приливов, за время нагона наблюдается 2–3 ПВ; величина нагона $\Delta H_{\text{нг}}$ возрастает по мере движения нагонной волны вдоль берега; максимальные величины нагонного повышения уровня моря $\Delta H_{\text{нг}}$ отмечаются не при ПВ, а при подъеме приливного уровня, в среднем за 2–2.5 ч до ПВ. Аналогичная закономерность отмечена при изучении приливов и нагонов в Гельголандской бух. [5, 35].

Многолетние наблюдения за штормовыми нагонами в Северном море в целом, у восточных берегов Англии и в эстуарии Темзы [7, 9, 35, 38] показали, что и величина, и повторяемость этих явлений существенно возросли. Так, судя по графику, приведенному в [9], отметки максимальных уровней воды во время нагонов в эстуарии Темзы за 1830–1953 гг. увеличивались на ~1 м. Эта величина намного больше повышения СУМ за это время.

Приближенные оценки показывают, что в таком увеличении максимальных уровней воды при нагонах ~20 см приходится на рост СУМ (~2 мм/год согласно [8]), ~25 см вызвано гидротехническими работами в эстуарии [6, 9], ≥ 0.5 м есть результат возрастания высот самих нагонов в прибрежной зоне Северного моря. На рост величины нагонов, в первую очередь, повлияло изменение климатической обстановки, активизация атмосферных процессов в Северной Атлантике, включая усиление циклонической деятельности (обзор исследований причин таких процессов дан в [5, 35]).

Другие морские факторы

Высота волн в районе эстуария Темзы относительно мала благодаря тому, что со стороны устьевого взморья он защищен многочисленными отмелями. Средняя высота волн на г/п Саутенд составляет ~1 м и уменьшается вверх по эстуарию [32].

Температура воды на поверхности устьевого взморья Темзы изменяется от 5–7 (январь–февраль) до 15–17°C (июль–август) [3]. Величина внутригодовых колебаний температуры воды составляет ~12°C [3].

Соленость воды на поверхности устьевого взморья Темзы в феврале – 35–35.5, в августе – 34–34.5‰ [3].

ЭВОЛЮЦИЯ ЭСТУАРИЯ ТЕМЗЫ

В тектоническом отношении район устья Темзы приурочен к оси наклоненной на восток синклинали и области меловых и третичных отложений и расположен на периферии гораздо большего региона – третичного бассейна Северного моря [27]. За исключением небольшой северной части побережья графства Кент, дно устьевого взморья Темзы целиком сложено лондонской глиной (лондонская глина – это формация кайнозойской эры в юго-восточной Англии) [27].

На эволюцию эстуария Темзы влияли следующие основные факторы: вертикальные движения земной коры (включая опускание дна Северного моря), трансгрессия моря после Вейхзельской ледниковой эпохи. При этом главная роль принадлежала значительному повышению уровня Мирового океана и связанного с ним Северного моря в постледниковый период. 15 тыс. лет назад у.м. находился на ~70 м ниже современного. В период голоцена (последние 10 тыс. лет) у.м. поднялся на ~50 м, приблизившись к современным отметкам 3–4 тыс. лет назад (см. выше).

В последнюю ледниковую эпоху, при очень низком стоянии у.м., современные Британские о-ва были частью материковой Европы. Дуврского прол. (Па-де-Кале) тогда не существовало. В это время Темза соединялась с Рейном, и объединенный поток впадал в море значительно южнее современных устьев этих рек. По мере повышения у.м. береговая линия в районе современного устья Темзы смещалась сначала к северу, а позже – к западу.

У.м. и положение береговой линии 9600–8000 лет назад изменялись следующим образом [13] (рис. 5): у.м. 9600 лет назад стоял на 43–47 м ниже современного (~0 м ODN). Море вдавалось в глубь суши через Дуврский прол. (Па-де-Кале) вдоль широкой пойменной долины речного комплекса Рейн-Маас-Темза. К северу лежал широкий пояс суши между нынешними Нидерландами и побережьями Норт-Норфолка и Линкольншира в Англии. Самая глубокая часть речной долины Темзы представляла собой морской залив, в то время как остальная часть современного эстуария Темзы – относительно плоскую часть суши, покрытую аллювиальными отложениями речного и ледникового происхождения. У.м. 9300 лет назад поднялся до отметки –40 м ODN. Море занимало погребенные ныне русла речных комплексов Темза-Медуэй-Крауч и Стаур-Суэйл. Пояс суши между Англией и Нидерландами еще существовал. У.м. 9000 лет назад стоял на отметке –34 м ODN. Речные комплексы были затоплены морем до м. Фаулнесс. Две ориентированные с севера на юг долины в 32 км к востоку от современного г. Харидж были полностью затоплены, а пояс суши, соединяющий Англию и Нидерланды, быстро уменьшался в размере. 8600 лет назад у.м. был уже на отметке –28 м ODN. Море вдавалось в старую си-

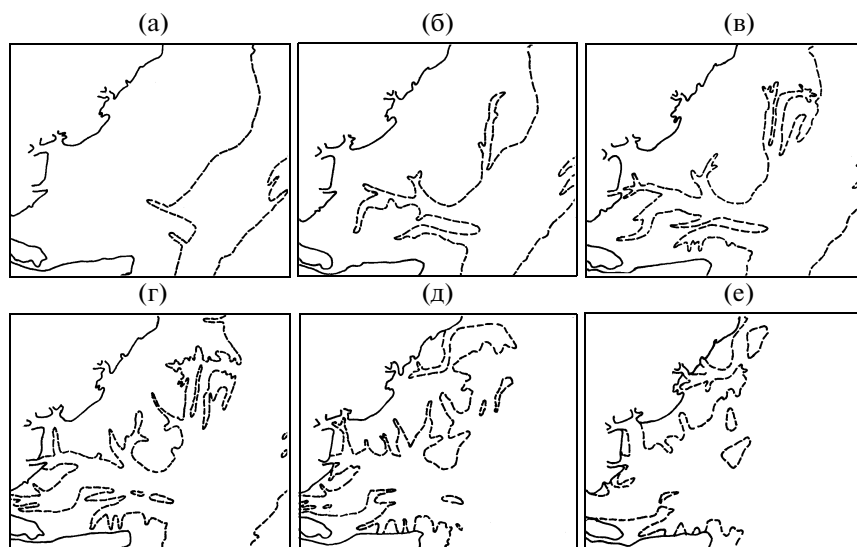


Рис. 5. Положение береговой линии в устье Темзы (штриховая линия) по [13]: а – е – 9600, 9300, 9000, 8600, 8300 и 8000 лет назад. Сплошная линия – современная береговая линия.

стему речной долины Темзы до островов Канви и Грейн. 8300 лет назад у.м. поднялся до отметки -22 м. Старые речные долины, лежащие вдоль современного эстуария Темзы, были полностью затоплены. Современные отмели Фаулнесс-Сэнд и Маплин-Сэнд оставались еще сушей, а долины рек Роч и Крауч уже были затоплены. В это же время море проникло в систему долин Северный Стаур, Оруэлл, Дибен и Ор. У.м. 8000 тыс. лет назад поднялся до -17 м ODN, и практически весь современный эстуарий Темзы был затоплен [13].

Эстуарий по мере роста уровня увеличивал свою ширину, постепенно была затоплена отмель Кентиш-Флэтс, морской абразии стали подвергаться низкие клифы на побережье современного графства Кент [31]. Размыв береговой линии был очень быстрым вследствие воздействия штормового волнения и приливных течений [13]. Отступление берегов за последние 8000 лет составляло в среднем 1.3 м/год. Этого было достаточно, чтобы размывать все меловые отложения к востоку от современного побережья.

Заполнение эстуария речными и морскими отложениями происходило одновременно с повышением у.м. в постледниковое время [27]. Отложение наносов шло со скоростью от 10 до 38 см в столетие.

Когда у.м. приблизился к отметкам, близким к современным ($\sim 3-4$ тыс. лет назад), береговая линия в устье Темзы приобрела очертания, почти совпадающие с нынешними. Со временем на устьевом взморье Темзы образовались серии вытянутых параллельных отмелей и приливных русел (рис. 2), присущих и другим приливному устьям рек.

СОВРЕМЕННЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

При исследовании современных морфологических процессов в УО Темзы принято рассматривать отдельно эстуарий и устьевое взморье.

В эстуарии Темзы от Лондонского моста до г/п Саутенд главным местом отложения наносов считается судоходный искусственно углубленный канал от дока Короля Георга V в 17 км ниже Лондонского моста до выхода из эстуария (72 км от Лондонского моста). Далее канал продолжается через отмели устьевое взморья. Канал имеет глубину $11-13$ м и ширину $180-300$ м [28].

Основные работы по углублению канала были проведены с 1909 по 1928 г. На большей части эстуария канал долгое время оставался в стабильном состоянии. Однако в нескольких местах канал позже стал сильно заиливаться, что потребовало постоянных дноуглубительных работ. Основные участки заиливания: так называемые Илистые участки между участками Галлион и Хафвэй-Рич на расстоянии $18-24$ км от Лондонского моста, участок Гревзэнд-Рич (в районе $43-44$ км от Лондонского моста).

Для поддержания судоходных глубин в середине 1950 -х гг. на упомянутых участках канала, а также в доках и приливном бассейне Тилбури ежегодно вычерпывалось до 3 млн. т грунта.

Материал, который заиливает эти участки, – это тонкий черный ил со средним диаметром 35 мкм, содержащий $20-35\%$ органических веществ [28].

Более изменчивы отмели и приливные и отливные русла на устьевом взморье Темзы (рис. 2). В основу исследования динамики этих отмелей и русел в XIX–XX вв. положены карты, которые стали со-

ставлять с 1862 г. С тех пор обнаружены большие изменения в положении отмелей и подводных русел, однако, взаимное расположение отмелей и русел остается, в целом, более или менее устойчивым. Однако между 1862 и 1932 гг. оси отмелей Ист-Бэрроу-Сэнд и Уэст-Бэрроу-Сэнд заметно смещались: сначала они были ориентированы с юго-запада на северо-восток, потом — с юга на север, а к 1970-м гг. — вновь с юго-запада на северо-восток. Эти смещения были связаны с изменением направления отливных течений и образованием в 1932—1967 гг. бара между отмелями Маплин-Сэнд и Ист-Барроу-Сэнд, т.е. так называемой косы Маплин. Наибольшие изменения в своем положении претерпел Эдинбургский канал [16].

Источником заиления судоходного канала в эстуарии и русел на устьевом взморье служат не только наносы, поступающие в УО из реки и со сточными водами в пределах эстуария, но и наносы, приносимые приливными течениями из прибрежной зоны моря, в том числе и продукты размыва свалок дрегированного грунта. Объяснить механизм таких процессов невозможно без детального исследования проникновения в эстуарий морских осолоненных вод и динамики течений. Эти вопросы будут рассмотрены в специальной статье.

ВЫВОДЫ

Устьевая область Темзы — один из важнейших в экономическом и экологическом отношении географический объект Великобритании. Она состоит из трех частей: приливного устьевого участка реки, эстуария и открытого устьевого взморья (части прибрежной зоны Северного моря). Гидрологический режим, морфологическое строение и возможности хозяйственного использования УО Темзы определяются комплексом речных и морских факторов. В этом объекте происходят сложные процессы взаимодействия речного стока, приливов и штормовых нагонов.

Сток воды Темзы невелик, но его изменения могут вызывать как наводнения, так и засухи и маловодья. В XXI в. ожидается возрастание атмосферных осадков в регионе и увеличение высоты как зимних, так и летних паводков.

Средний уровень моря в прибрежной зоне медленно повышается. В XXI в. ожидается ускорение в его росте. Характеристики приливов также изменились под влиянием повышения СУМ: отметки ПВ при приливах увеличились больше, а отметки МВ при отливах — меньше, чем величина СУМ. Амплитуда приливов также немного возросла. Высоты и повторяемость штормовых нагонов в XX в. заметно увеличились. Это объясняется не только ростом СУМ и гидротехническими работами в эстуарии Темзы, но и увеличением высот самих морских нагонов, что связано с изменением климатических

условий в Северной Атлантике и активизацией циклонической деятельности.

Устье Темзы в эпоху голоцена претерпело существенные изменения. Главную роль в изменении морфологического строения эстуария сыграло существенное повышение у.м. и затопление береговой зоны моря. Современные морфологические изменения в устье Темзы связаны с процессами заиления русел и судоходных каналов и эрозионно-аккумулятивными процессами в приливных и отливных руслах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акройд П.* Темза: Священная река. М.: Изд-во Ольги Морозовой, 2009. 568 с.
2. Атлас мирового водного баланса. М.; Л.: Гидрометеоздат, 1974. 65 л.
3. Атлас океанов. Атлантический и Индийский океаны. Л.: МО СССР. Глав. управл. навигации и океанографии, 1977. 153 с.
4. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 638 с.
5. *Михайлова М.В.* Взаимодействие приливов и нагонов в устье р. Эльбы // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 3. С.
6. *Amin M.* On perturbations of harmonic constants in the Thames Estuary // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1983. V. 73. № 3. P. 587–603.
7. *Astbury C.P.* Thames tidal flooding. Chairman's Address // Gas Eng. Manag. 1979. P. 167–176.
8. *Baxter P.J., Moller I., Spencer T. et al.* Flooding and climate change // <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/DHHealth/cap4-6.pdf>
9. *Bowen A.J.* The tidal regime of the River Thames; long-term trends and their possible causes // Phil. Trans. Royal Soc. A. 1972. № 272. P. 187–199.
10. Climate Change 2001. Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 2001. 398 p.
11. Climate Change 2007. Synthesis Report. Summary for Policymakers // www.ipcc.ch
12. *D'Olier B.* Some aspects of Late Pleistocene-Holocene drainage of the River Thames in the Eastern Part of the London Basin // Phil. Trans. Royal Soc. A. 1975. № 279. P. 269–277.
13. *D'Olier B.* Subsidence and sea-level rise in the Thames estuary // Phil. Trans. Royal Soc. A. 1972. № 272. P. 121–130.
14. *Flather R.A., Smith J.A., Richards J.D. et al.* Direct estimates of extreme storm surge elevations from a 40-year numerical model simulations and from observations // Glob. Atm. Ocean Syst. 1998. № 6. P. 165–176.
15. Flow gauging on the River Thames — the first 100 years // Hydrological Data. 1983. P. 33–41.
16. *Jolliffe I.P.* Outer Thames estuary: morphological changes in the Edinburgh swatchway // The Dock and Harbour Auth. 1970. V. 51. № 601. P. 281–289.

17. <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/1209208>
18. http://en.wikipedia.org/wiki/River_Thames
19. http://en.wikipedia.org/wiki/Thames_Thames_frost_fairs
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Thames_Estuary
21. <http://grdc.bafg.de>
22. <http://www.britannica.com>
23. http://www.spiritus-temporis.com/river_medway
24. <http://www.thamesweb.co.uk/windsor/windsorhistory/floods1875.html>
25. <http://www.woodlands-junior.kent.sch.uk/riverthames>
26. *Lonsdale K.G., Downing T.E., Nicholls R.J. et al.* Plausible responses to the threat of rapid sea-level rise in the Thames Estuary // *Climate Change*. 2008. V. 91. P. 145–169.
27. *Madrell R.* Evolution of the Outer Thames estuary // *The Dock and Harbour Auth.* 1970. V. 51. № 596. P. 52–56.
28. *McDowell D.M., O'Connor B.A.* Hydraulic behavior of estuaries. London: Macmillan Press, 1977. 292 p.
29. *Milliman J.D., Rutkowski Ch., Meybeck M.* River discharge to the sea. A Global River Index (GLORI). LOICZ Reports and Studies. 1995. 125 p.
30. *Officer C.B.* Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters). N.Y.; London; Sydney; Toronto: Wiley Int. Publ., 1976. 465 p.
31. *Prentice J.E.* Sedimentation in the Inner Estuary of the Thames, and its relation to the regional subsidence // *Phil. Trans. Royal Soc. A.* 1972. № 272. P. 115–119.
32. *Rossington K., Spearman J.* Past and future evolution in the Thames Estuary // *Ocean Dynamics*. 2009. № 59. P. 709–718.
33. *Rossiter J.R.* Tidal regime in the Thames // *Doc. Harb. Author.* 1969. V. 49. P. 461–462.
34. Sea level changes and their consequences for hydrology and water management. State and Art Repot. Intern. Workshop. Hague, 1993. 207 p.
35. *Siefert W., Murty T.S.* Storm surges, river flow and combined effects. State of the Art Report. Koblenz, 1991. 151 p.
36. Thames Catchment Flood Management Plan. Summary Report December 2009 // <http://www.environment-agency.gov.uk>
37. *Trafford B.D.* The background to the flood defence of London and the Thames Estuary // *J. Inst. Water Eng. Sci.* 1981. V. 35. № 5. P. 383–394.
38. *Van IJken J.* A flood Barrier in the Thames // *De ingénieur.* 1977. V. 89. № 48. P. 915–927.
39. *Wood R.M., Drayton M., Berger A. et al.* Catastrophic loss modelling of storm-surge flood risk in eastern England // *Phil. Trans. Royal Soc. A.* 2005. № 363. P. 1407–1422.