

Ю.В. Малинина

К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОГО УЩЕРБА ОТ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ОКЕАНА В XXI СТОЛЕТИИ

Yu. Malinina

ON ESTIMATION OF POSSIBLE LOSSES CAUSED BY POTENTIAL SEA LEVEL RISE DURING THE 21ST CENTURY

Предложена простая линейная статистическая зависимость изменений уровня Мирового океана от приповерхностной температуры воздуха, позволяющая в линейном приближении прогнозировать его возможные изменения на конец XXI в. Осуществлена систематизация прямых и косвенных неблагоприятных последствий повышения морского уровня. Обсуждается методология и приводятся количественные оценки экономических ущербов, полученные различными коллективами авторов. Рассчитаны эмпирические зависимости возможных ущербов от повышения уровня моря в XXI в.

Ключевые слова: глобальные изменения климата, повышение уровня Мирового океана, прямой ущерб, косвенный ущерб.

A simple linear relationship between sea level changes and sub-surface air temperature which allows forecasting its potential changes at the end of the 21st century in linear approximation. Established is the classification of direct and indirect adverse consequences caused by sea level rise (SLR). Discussed is the methodology and given are the numerical estimates of economic costs obtained by different groups of authors. Empirical dependencies of possible losses from SLR during the 21st century are calculated.

Key words: global climate change, sea level rise, direct damage (costs), indirect damage (costs).

Как известно, наиболее ярким следствием современных изменений климата является постоянное повышение уровня Мирового океана (УМО). Если в течение XX в. его рост составлял 1,8 мм/год [1], то на рубеже XX–XXI вв. его рост по данным альтиметрических наблюдений повысился до 3,0–3,2 мм/год [2]. Еще более значительный рост УМО прогнозируется в Третьем и Четвертом оценочных докладах МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменениям климата) [3, 4], основанный на расчетах по моделям общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), использующих различные сценарии изменений климата. При этом, хотя в основе любой оценки изменения климата лежат сценарии эмиссии парниковых газов в атмосферу, однако в конечном счете

именно эмиссия CO₂ в атмосферу определяет сценарии изменения климата, рассчитываемые по МОЦАО. Сценарии эмиссии парниковых газов и задают временной ход воздействия на состояние атмосферы при моделировании отклика системы океан-атмосфера в масштабе текущего столетия – моделировании климатических изменений в зависимости от различных моделей развития человечества, которым соответствуют четыре группы сценариев (*A1, A2, B1, B2*) [5].

Самый высокий уровень (>1800 GtC) суммарной эмиссии CO₂ свойствен семейству сценариев *A1* (частично для *A2*); средний/высокий уровень (1450–1800 GtC) – для *A1* и *A2* (частично для *B2*); средний/низкий уровень (1100–1450 GtC) – для *A1*, (частично для *A2, B1, B2*); низкий уровень (<1100 GtC) – для *B1* (частично для *A1*). Наиболее широкий диапазон уровней охватывает семейство сценариев *A1*, в которых задается самый высокий уровень эмиссии CO₂. Самые мягкие прогнозы дает семейство *B1*, средние – семейство *B2*. Все сценарии прогнозируют существенное увеличение суммарной эмиссии CO₂ к 2100 г. Следует иметь в виду, что оценки возможного изменения климата в XXI веке основаны не на расчетах по отдельным моделям, а на осреднениях результатов расчетов по нескольким моделям (ансамблю). Например, в проекте СМIP3 осреднение характеристик проводилось по ансамблю из 16 моделей, вследствие чего происходит нивелирование (сглаживание) оценок, полученных по конкретным моделям, хотя при этом сохраняются систематические ошибки одного знака, присущие моделям как классу [6]. Одновременно с этим крайние оценки характеристик, рассчитанных по численным моделям, позволяют выявить амплитуду их изменчивости (вероятный прогностический интервал).

В табл. 1 даются *вероятные* диапазоны для глобального среднего потепления приземного слоя воздуха для шести сигнальных сценариев выбросов СДСВ (включая обратные связи климат-углеродный цикл) [4]. Одновременно с этим в табл. 1 приводятся прогнозные оценки среднего повышения УМО на 2090–2099 гг. для тех же шести сценариев СДСВ.

Таблица 1

Возможные оценки изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха и уровня Мирового океана на конец XXI в. (2090–2099 гг.) по сравнению с концом XX в. (1980–1999 гг.)

Сценарий выбросов СДСВ	Ансамбль из 16 моделей общей циркуляции атмосферы и океана [4]		Статистическая модель
	Вероятный диапазон роста температуры на конец 2090–2099 гг., °С	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м
Сценарий <i>B1</i>	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38	0,12 – 0,31
Сценарий <i>A1T</i>	1,4 – 3,8	0,30 – 0,45	0,15 – 0,41
Сценарий <i>B2</i>	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43	0,15 – 0,41
Сценарий <i>A1B</i>	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48	0,18 – 0,47
Сценарий <i>A2</i>	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51	0,21 – 0,58
Сценарий <i>A1FI</i>	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59	0,26 – 0,68

Как видно из табл. 1, в результате повышения глобальной температуры воздуха рост УМО к концу XXI в. может составить 20–60 см, что соответствует тренду в 2–6 мм/год. Отметим, что близкие прогностические оценки УМО могут быть получены с помощью очень простой статистической модели без использования комплекса МОЦАО. Как было показано в работе [7], изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) формируют режим накопления (расходования) массы горных ледников, морских льдов, в значительной степени покровных ледников и, следовательно, определяют поступление пресных вод ледников в океан. Кроме того, ПТВ влияет на изменчивость испарения и осадков над океаном [8, 9], а через изменения температуры поверхности океана вызывают стерические колебания уровня. Таким образом, именно ПТВ можно рассматривать как главный определяющий фактор колебаний УМО.

На рис. 1 представлено сопоставление глобальных оценок аномалий ПТВ за период 1960–2008 гг., заимствованных из глобального архива HadCRUT3 [10] и УМО, рассчитанного по футшточным (береговым) наблюдениям [1]. Нетрудно видеть, что с повышением температуры воздуха УМО линейно повышается. Это позволило рассчитать методом наименьших квадратов линейное уравнение регрессии

$$H_{УМО} = 107,1\Delta T_{GL} + 221,0,$$

где $H_{УМО}$ – средний глобальный уровень Мирового океана; ΔT_{GL} – аномалии глобальной приповерхностной температуры воздуха.

Коэффициент детерминации данной модели равен $R^2 = 0,73$, т.е. она описывает 73 % дисперсии исходного ряда, средняя квадратическая ошибка модели $\sigma_{y(x)} = 14,7$ мм.

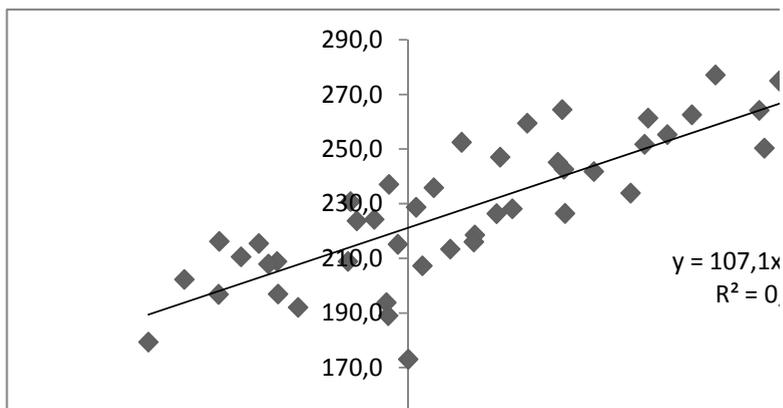


Рис. 1. Зависимость межгодовых колебаний уровня Мирового океана от аномалий приповерхностной температуры воздуха над земным шаром по данным [10] за период 1960–2008 гг.

Данное уравнение позволяет весьма просто в линейном приближении прогнозировать возможные изменения УМО в зависимости от изменений глобаль-

ной ПТВ. Такие расчеты, соответствующие 6 сценариям выбросов парниковых газов и оценкам повышения ПТВ, были выполнены и также приведены в табл. 1. Практически для всех сценариев выбросов оценки возможного роста УМО по статистической модели весьма близки к результатам численного моделирования климата на основе МОЦАО. Для того чтобы убедиться в достоверности полученных оценок, были построены аналогичные статистические модели УМО от ПТВ с использованием временных рядов глобального уровня океана [11] и [12], а затем выполнены оценки роста УМО в зависимости от ПТВ. На рис. 2 дается сопоставление результатов, полученных по 3 статистическим моделям для 5 сценариев выбросов. Нетрудно видеть почти полную тождественность в оценках. Только максимальные оценки УМО по данным [12] чуть-чуть ниже.

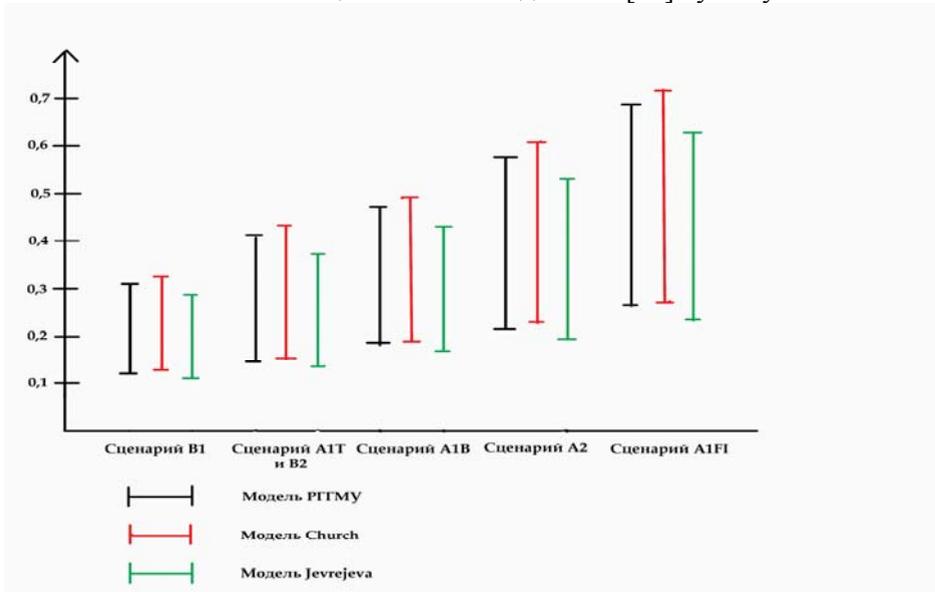


Рис. 2. Сопоставление результатов расчета УМО, полученных по 3 статистическим моделям для 5 сценариев выбросов

Итак, прогностические оценки УМО на конец XXI в. можно получить с помощью простой линейной статистической зависимости уровня океана от приповерхностной температуры воздуха практически не отличающихся от результатов, основанных на использовании сложных и дорогих МОЦАО.

Отметим также, что мнению ряда исследователей к концу столетия можно ожидать ускоренное таяние и последующее разрушение Восточно-Антарктического ледяного щита. В этом случае рост УМО может существенно превысить 1 м.

Естественно, если рассмотренные выше сценарии изменений климата станут реальностью, то это грозит громадным ущербом для инфраструктуры прибрежных территорий, где проживает около миллиарда жителей Земли. Вполне

возможно, что в зоне возможных наводнений могут оказаться дополнительно от 20 до 300 млн человек ежегодно, а капитальные потери составят 7–70 млн долл. [13] при повышении температуры на 3–4 °С, вызывающем 20–80 см повышение уровня моря (соответственно, при низких и высоких темпах роста населения). По словам Председателя МГЭИК повышение уровня моря (ПУМ) на 1 м к концу XX в. угрожает практически 300 млн людей [14]. Еще одну оценку дает английский ученый Robert J. Nicholls, согласно которой к 2080 г. в 5 раз больше людей окажутся под влиянием наводнений от штормовых нагонов по сравнению с 1990 г. при ПУМ на 38 см [15].

Повышение морского уровня имеет несколько прямых и косвенных неблагоприятных *последствий*, которые можно систематизировать на три (экономические, экологические и социальные) большие группы (табл. 2). Изучение их в глобальном и региональном масштабах представляет важнейшую задачу.

Таблица 2

Виды и типы неблагоприятных последствий от ПУМ

	Прямые последствия	Косвенные последствия
Экономические	Снижение эффективности прибрежной инфраструктуры, построенной над водой, (доки, пирсы, дамбы и т.п.) вследствие близости к уровню воды, или ее затопление	Нарушение нормального режима хозяйственной деятельности вне зоны разрушений из-за нарушения функционирования энергетических, транспортных и других коммуникаций и предприятий-смежников, а так же из-за непредвиденного отвлечения средств на восстановительные работы
Экологические	<ul style="list-style-type: none"> – Затопление низменных прибрежных участков суши, пляжей, в том числе практически постоянное затопление участков суши, которые уходили под воду только во время приливов, а также повышение уровня грунтовых вод; – вторжение соленой воды как в пресноводные эстуарии, так и в прибрежные водоносные слои, угрожающее водообеспеченности населения прибрежных районов; – усиление эрозии береговых утесов вследствие проникновения в них морской воды; – сокращение функциональной зоны заболоченных земель, которые служили в качестве защиты от наводнений и фильтрами для грунтовых вод – повышение интенсивности и частоты крупных штормовых нагонов, не без оснований считающиеся одним из самых опасных последствий изменения климата 	Загрязнение окружающей среды при разрушении стихией предприятий, на которых используются или производятся опасные для здоровья людей и природы материалы
Социальные	Вынужденная миграция населения, появление так называемых климатических беженцев	Потеря доверия людей к способности руководства защитить их от бедствий, в усилении социальных разногласий

Из анализа отрицательных последствий роста УМО следует, что в большей степени пострадают такие отрасли хозяйственной деятельности как туризм, рекреация, аквакультура, сельское хозяйство, транспортное сообщение, а также под сильной угрозой окажутся прибрежные среды обитания и экологическая обстановка в целом.

Названные последствия повышения уровня крайне неблагоприятны в силу следующих фактов. В мире приблизительно 2 млн км² территорий находятся менее 2 м над средней верхней границей прилива. Именно эта пограничная зона между землей и океаном характеризуется особенно разнообразными экосистемами и именно её предпочитает для своей жизни человек. По данным на 1995 г. около 60 млн человек проживали на землях, находящихся менее 1 м выше уровня моря и 275 млн – менее 5 м [16]. Восемь из десяти крупнейших городов мира находятся на низменных прибрежных территориях, в том числе Нью-Йорк и Токио, а темпы роста численности населения в таких зонах в два раза превышают среднемировой показатель. К концу XX в. в прибрежных зонах (ПЗ) не выше 1 м над уровнем моря будут проживать уже 130 млн, а в зонах не выше 5 м – 410 млн чел. Например, в США в ПЗ, составляющей около 17% всей территории страны, проживает более половины ее населения. В 2003 г. примерно 153 млн чел. (53 % населения) жило в 673 прибрежных округах США, увеличившись на 33 млн чел. с 1980 г. по данным [17]. Что касается Российской Федерации, то в приморских районных муниципальных образованиях проживает 12,6 млн человек (данные на 01.01.2007), что составляет примерно 9 % всего населения страны. ПУМ только на 40 см в Бенгальском заливе приведет к затоплению 11 % прибрежной зоны Бангладеш и возникновению 7–10 млн беженцев [18], большая часть территории которой находится в зоне не выше 10 м над уровнем моря [19].

Наибольшее число людей, живущих в низменных районах, приходится на следующие страны: Китай, Индия, Бангладеш, Вьетнам, Индонезия, Япония, Египет, США, Таиланд и Филиппины. При этом наибольшая доля населения, проживающего в низменных районах, сосредоточена в странах: Суринам, Голландия, Багамы, Вьетнам, Гайана, Бангладеш, Джибути, Белиз, Египет и Гамбия. К сожалению, многие страны, наиболее чувствительные к повышению уровня моря (ПУМ), не имеют достаточных ресурсов для подготовки к его последствиям.

В литературе [20] обычно рассматривается три вида *ущерба* от повышения уровня моря: 1) дополнительные капитальные затраты на берегоохранные сооружения, 2) убытки, связанные с потерями прибрежных земель, 3) затраты из-за более частых наводнений. Однако в некоторых случаях в ущерб дополнительно включаются затраты на вынужденное переселение людей, ущерб от интрузии солености и другие факторы.

Исследования, посвященные оценке таких экономических ущербов от ПУМ, можно подразделить в зависимости от масштаба территории, охватывае-

мой анализом: 1) на мировом уровне с региональными и национальными макро-оценками (например, Hoozemans et al., 1993; Fankhauser, 1998, Tol, 2002; 2006), 2) на макро-региональном уровне (например, Fankhauser, (1994); Yohe и др. (1996); Yohe и Schlesinger, (1998) для США; Nicholls and Klein, (2003); СЕС, (2007), для Европы), 3) на национальном уровне (например, Dennis et al., (1995) для Сенегала, Volonte и Nicholls, (1995) для Уругвая, Volonte и Arismendi, (1995) для Венесуэлы, Morisugi и др. (1995) для Японии, Zeider (1997) для Польши) и 4) на локальном уровне (например, Gambarelli и Gorla (2004) для Fondi plane в Италии, Breil и др. (2005) для Венеции, Smith и Lazo (2001) для Таллинна и Пярну, Эстония, и дельты Джуджан в Китае, Saizar (1997) для Монтевидео) [21].

Одним из выдающихся примеров исследований ПУМ на национальном уровне является программа Foresight (с англ. предвидение), запущенная в 1993 г. правительством Великобритании как инструмент реализации Белой книги в целях обеспечения тесного взаимодействия между учеными, промышленностью и правительством и открытия будущих возможностей и угроз научной инженерии и технологиям [22]. Целью этой программы, рассматривающей экономические, социальные и экологические аспекты воздействия наводнений, является долгосрочный прогноз (на период 30–100 лет) возможных будущих наводнений на Британских островах и разработка необходимых мер по защите прибрежной зоны.

Заметим, что Программа носит комплексный характер и ориентирована на различные сценарии изменений климата, обусловленные быстрым ростом в атмосфере парниковых газов. Размах оценок повышения уровня – от 31 см в Юго-Западной Шотландии при сценарии низкого уровня эмиссии CO₂ до 74 см в Юго-Западной Англии при высоком уровне выбросов. Под угрозой паводков и затопления прибрежных областей в Великобритании находится около 2 млн хозяйств, а под угрозой так называемых внутригородских наводнений, вызванных сильными ливнями, которые затопляют городские канализационные системы, – 80 тыс. домов в городах. Только в Англии и Уэльсе под угрозой находятся более 4 млн человек и сооружений, а ущерб оценивается в £200 млрд.

Если политика действий в области управления наводнениями и затраты на нее не изменятся, то к 2080 г. ежегодные потери будут увеличиваться в любом из разработанных сценариев, варьируя в пределах £1–27 млрд. При текущем уровне затрат на строительство берегозащитных сооружений значительно усилится береговая эрозия, а средний ущерб увеличится в 3–9 раз к 2080 г., хотя в наихудшем случае (£126 млн в год) он будет меньше, чем текущие потери от наводнений (£1 млрд в год). При этом число людей, подверженных риску наступления паводков и затопления прибрежных областей, может увеличиться от 1,6 млн чел. в настоящее время до 2,3–3,6 млн чел. к 2080 г., а риску усиления внутригородского наводнения, вызванного короткопериодными явлениями, – от 200 тыс. чел. до 700–900 тыс. чел.

Экономические исследования последствий повышения уровня Мирового океана начались более 20 лет назад в США [23, 24, 25, 26, 27]. В них в основном оценивались затраты на строительство защитных сооружений и *прямой ущерб* от линейного ПУМ на 1 м к концу XXI в., суммарные значения которых варьировались от US\$36 [28] до US\$321 млрд [23]. Это значительное расхождение оценок даже у одних и тех же авторов вызвано различными методологиями подсчета последствий ПУМ. Прямой ущерб связывают с непосредственным физическим контактом вод с хозяйственными объектами, а величина такого ущерба определяют затратами на восстановление хозяйства или текущей рыночной стоимостью разрушенных (или нарушенных) хозяйственных объектов. При этом не вводятся поправки на «ценность» денег (например, паритет покупательской способности или веса), что приводит к переоценке абсолютных значений возможных негативных влияний ПУМ [21]. Таким же образом оценивается ущерб от нарушения или разрушения жилых построек и имущества, находящегося в них, а также от разрушения мостов, автомобильных и железных дорог, линий связи и электропередачи, газо- и нефтепроводов. Например, в сельском хозяйстве ущерб определяется в большинстве случаев потерями сельскохозяйственной продукции, затратами на восстановление нарушенного плодородия почв. В него включают также затраты на выплаты по страхованию имущества в случае стихийных бедствий, единовременные выплаты денежных и натуральных пособий, а также затраты на организацию спасательных мероприятий, строительство временных защитных сооружений и т.п. [29].

В этом подходе изменение стоимости вследствие количественного изменения не берется в расчет, т.к. дается сама цена, а не кривая спроса-предложения. Более того, он не рассматривает, как изменение на одном рынке влияет на другой или как влияние одной страны распространяется на другие страны посредством торговли. Прямые ущербы являются частью суммарных экономических последствий изменения климата (*косвенных ущербов*), так как они влияют практически на все остальные отрасли экономики [30]. Например, ущерб, причиненный коммерческому сектору, приведет к меньшему доходу владельцев бизнеса, что, в свою очередь, приведет к меньшим тратам, дополнительно снижая экономическую деятельность в других секторах экономики. Это же касается сельского хозяйства, спад в котором приведет к спаду агропромышленного комплекса и т.д.

В исследованиях конца XX в. начали применяться различные модели, позволяющие получить оценки косвенных ущербов (потери из-за нарушения хозяйственных связей, спада производства, торговых и банковских операций и т.п.), моделировать и учитывать реакцию экономики через перераспределение ущербов за счет других отраслей и посредством международной торговли. Например, исследование суммарных экономических последствий, учитывающих косвенные эффекты совместно с прямыми, может быть осуществлено с помощью численных моделей общего (рыночного) равновесия (CGE) [31, 30, 21 и

др.]. В частности, в работе [30] использовался метод, предложенный Фанкхаузером еще в 1995 г. [27] для расчета оптимального уровня защиты и была введена оптимальная стоимость в численную модель общего равновесия посредством сокращения обеспечения земель. Было показано, что глобальные материальные потери будут примерно на 13 % выше прямых затрат, хотя некоторые регионы подвергнутся меньшему ущербу от ПУМ благодаря перераспределению их ущербов посредством международной торговли. Однако необходимы дальнейшие исследования этой модели.

Численные модели общего равновесия (CGE) представляют собой класс экономических моделей, которые используют текущие экономические данные для оценки возможной реакции экономики на изменения в политике действий, технологиях и других внешних факторах. Они состоят из уравнений, описывающих переменные модели и баз данных, соответствующих уравнениям модели, которые в свою очередь обычно представляют собой результаты производителей при минимизации затрат, ценообразование по формуле "средние издержки плюс прибыль" и спрос домохозяйств на основе стремления к оптимизации результатов и др.

Базы данных CGE состоят из:

- 1) таблиц рыночных стоимостей (обычно в виде таблицы межотраслевых балансов или матрицы счётов для анализа социальных аспектов экономического процесса), охватывающей всю экономику страны (или всего мира) и выделяющей ряд секторов, сырьевых товаров, первичных факторов и в некоторых случаях видов домохозяйств;
- 2) значений эластичности (безразмерного параметра, который улавливает поведенческую реакцию потребителей).

Модели CGE являются последователями модели «затраты-выпуск», предложенной В. Леонтьевым, но в первых большая роль уделяется ценам. Там, где Леонтьев предполагал, что для производства одной тонны железа необходимо фиксированное количество труда, в модели CGE уровни зарплат влияют, причем обычно негативно на спрос на рабочую силу.

Существует несколько разновидностей моделей CGE:

- сравнительно-статичные, моделирующие реакцию экономики только в одной точке времени (на один или несколько внешних шоки),
 - динамические, отслеживающие каждую переменную во времени,
 - пошагово-динамические, решаемые последовательно (один период за раз)
- [32].

Рассмотрим экономические последствия (ущербы) от ПУМ на основе работ [33, 34, 35].

Методология вышеназванных работ в целом схожа, различаются лишь инструменты (программы) для получения оценок. На рис. 3 приведены основные этапы и инструменты методологий (слева – «2» и «3», справа – «1»), а их основные характеристики даны в табл. 2. Следует отметить, что в каждой из работ

оценивается прямой ущерб, а в Европейском отчете дополнительно приводятся оценки косвенного ущерба от ПУМ и в целом от глобального изменения климата. Однако в последнем исследовании в отличие от двух других не производится дисконтирование оценок предполагаемых ущербов и не вносятся поправки по паритету покупательской способности, а текущая экономика проецируется на рассматриваемые будущие периоды.



Рис. 3. Этапы оценивания экономических ущербов/затрат от ПУМ

Таблица 3

Основные характеристики трех рассматриваемых исследований [33, 34, 35]

	Sugiyama	Nicholls, Tol	PESETA
1	2	3	4
Сценарий ПУМ	Комплексная модель глобальной системы IGSM, Массачусетский технологический институт, США Линейный (аналитические оценки нелинейного)	0,5 м, 1,0 м, 2,0 м к 2100 г. (за 95 лет) Линейный	Региональные климатические модели, являющиеся частью глобальной циркуляционной модели 48–58 см и 88 см (из Третьего и Четвертого оценочного отчета МГЭИК)
Сценарий СЭР	Модель прогноза выбросов и анализа политики действий ЕРРА, Массачусетский технологический институт, США	Сценарии из Специального отчета по выбросам парниковых газов МГЭИК (A1, A2, B1, B2)	Сценарии из Специального отчета по выбросам парниковых газов МГЭИК (A2 с высоким уровнем выбросов и B2 – с низким)
Отчетный период	2100 г.	2100 г.	2020 г. и 2080 г.
Регионы	Мир	Мир	Европа (Британские о-ва, северная, южная, центральная южная и центральная северная)

1	2	3	4
Компоненты затрат	Затраты на защитные меры Капитальные потери (потеря земель) Стоимость потери болот Увеличение водно-болотных угодий вследствие решения не строить прибрежные защитные сооружения	Стоимость потери земель Стоимость потери болот (wetland) Затраты на защиту (включая дамбы) от ПУМ Издержки на переселение людей	Ущерб от затопления Ущерб от интрузии солености Затраты на миграцию, вызванной потерей земель Затраты на адаптационные меры Затраты на строительство дамб
Методы внесения поправок	ППС (паритет покупательской способности)	Дисконтирование, взвешивание капитала (из-за неравной ценности денежных единиц в мире)	Недисконтированные монетарные эффекты, рассматривается влияние будущего климата на сегодняшнюю экономику
Тип ущерба	Прямой ущерб	Прямой ущерб	Прямой и косвенный ущерб

Перед анализом оценок, полученных в описанных выше исследованиях, обратимся к одной из предыдущих работ, выполненной авторами «Экономического воздействия существующего ПУМ» в 2006 г. в рамках подготовки обзора Стерна по Экономике изменения климата [36]. Авторы, используя методы ГИС, выполнили анализ подверженности мировых территорий внешнему воздействию от различных ПУМ (1, 5 и 10 м) по площади, населению и сосредоточенному в этих районах ВВП. Из рис. 4, представляющего результаты их расчетов при ПУМ на 1 м, видно, что наиболее подверженной территорией в мире является Азия, на мегадельты и дельты которой приходится более 75 % всего населения, а большая часть оставшихся 25 % приходится на дельты Африки. На правой диаграмме приведена ежегодная доля ВВП по рыночному валютному курсу (т.е. без корректировок), сосредоточенная в 1-метровой зоне над уровнем моря и показывающая, что, несмотря на менее значительные потенциально теряемые площади, сосредоточенный на них ВВП лишь немного уступает ВВП Азии.

В последующем исследовании [34] авторы также рассчитали как глобальные оценки, так и региональные при ПУМ на 0,5 м, 1 м и 2 м к 2100 г. На рис. 5 голубым цветом приведены глобальные оценки, полученные при ПУМ на 1 м и наличии адаптационных мер как с учетом весов, так и без них. Нетрудно видеть, что при внедрении весов, подразумевающих, что доллар для бедных представляет собой большую ценность, чем для богатых, оценка ущербов увеличивается практически вдвое. Серым цветом нанесены разбросы оценок по [34], авторы которых в качестве поправки применяли показатель паритета покупательской способности. Из рис. 5 видно, что если начальные оценки глобальных ущербов были фактически одинаковы, составляя чуть более 1 триллиона долларов США и согласуясь с предыдущей оценкой ВВП [36], сосредоточенного на территориях ниже 1 м над уровнем моря – 944 млрд долл., то при учете поправок они увеличились практически в 4 раза и стали превышать оценки второго исследования в 2 раза.

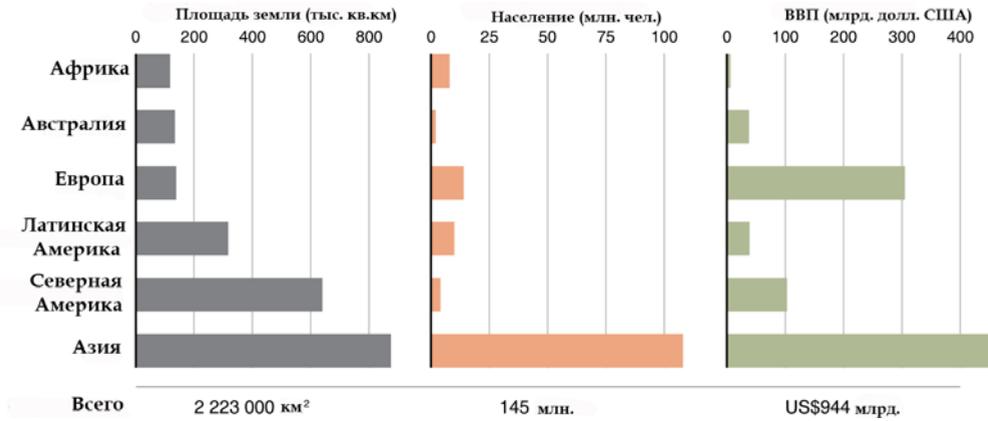


Рис. 4. Население, площадь и экономика, находящиеся под угрозой глобального повышения уровня моря на 1 м (мировые и региональные оценки, основанные на текущей ситуации) [36]

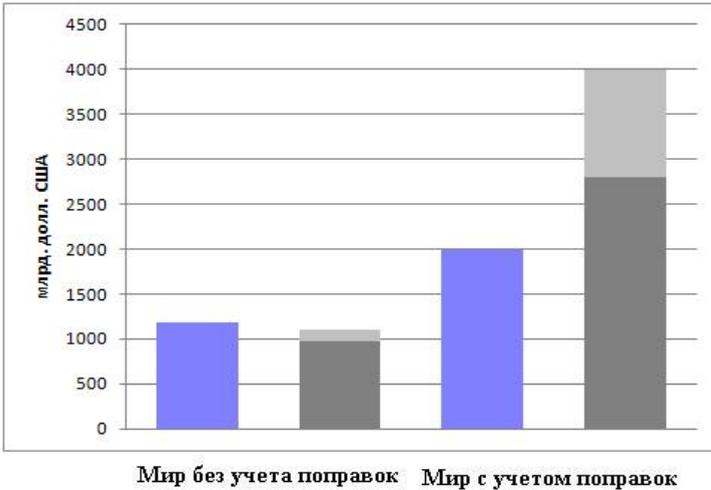


Рис. 5. Оценки глобальных ущербов от ПУМ на 1 м по [33]-голубым цветом, по [34] – серым

Обратимся к методологии расчета ущербов от ПУМ для Европы [35], предложенной Совместным исследовательским центром Европейской комиссии и учитывающей косвенные ущербы и влияние международной торговли, но не использующей поправки и методы дисконтирования. На рис. 6 и 7 приведены полученные согласно данной методике оценки ущербов для ЕС при наличии и отсутствии адаптационных мер. Очевидно, что при повышении уровня моря и строительстве защитных сооружений, ущербы увеличиваются линейно, а при отсутствии таковых и включении данных [37] – экспоненциально, из чего можно сделать вывод о крайней необходимости адаптационных мер для территории Европейского Союза. По полученным трендам легко восстановить ущербы/затраты для любого ПУМ.

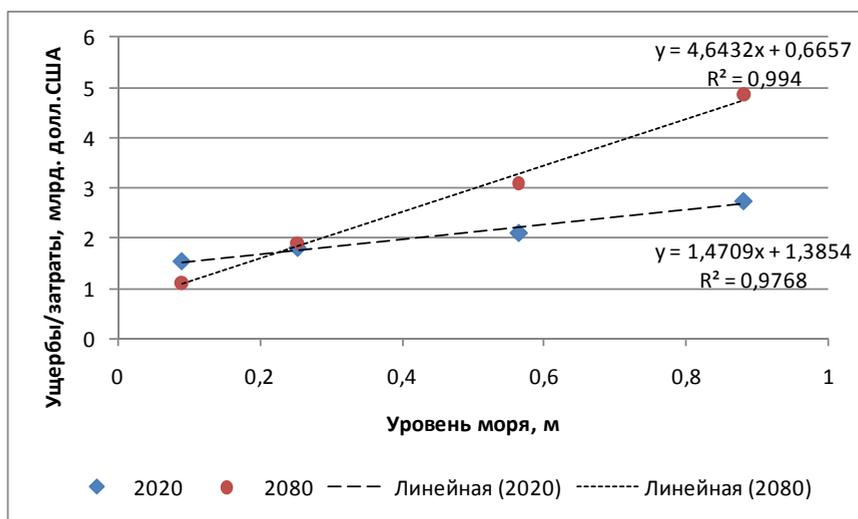


Рис. 6. Оценки ущерба при условии защитных мер по [35] в зависимости от уровня моря в 2020 и 2080 гг. и их тренды

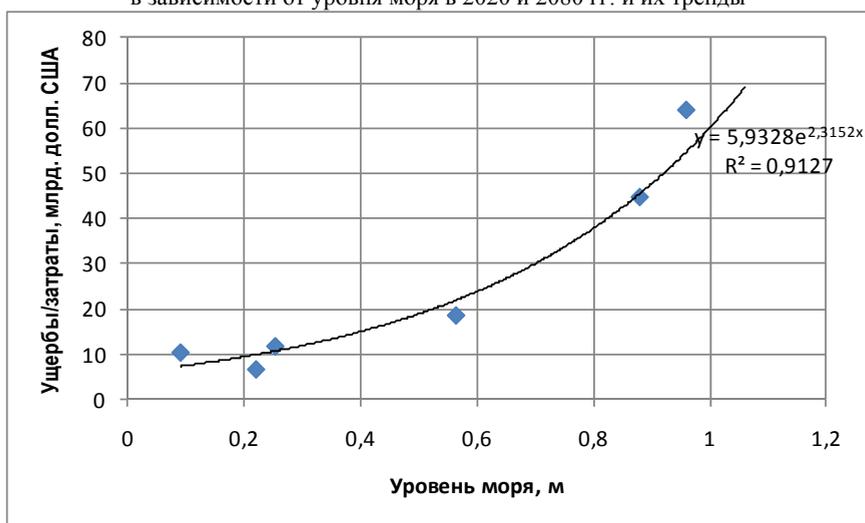


Рис. 7. Оценки ущерба при отсутствии защитных мер по [35, 37] в зависимости от уровня моря и их тренды

Выводы

Предложена простая линейная статистическая зависимость изменений глобального уровня океана от приповерхностной температуры воздуха, позволяющая весьма просто в линейном приближении прогнозировать возможные изменения УМО в зависимости от изменений глобальной ПТВ на конец XXI в., которые практически не отличаются от результатов, основанных на использовании сложных и дорогих МОЦАО. Осуществлена систематизация прямых и косвенных неблагоприятных последствий повышения морского уровня на три (экономические,

экологические и социальные) группы. Обсуждается методология и приводятся количественные оценки экономических последствий (ущербов/затрат) от ПУМ, полученные тремя различными коллективами авторов [33, 34, 35], наиболее активно работающих по данной проблеме. Отмечается, что в работах [34, 36] глобальные оценки ущерба при линейном ПУМ на 1 м к 2100 г. в отсутствие корректировок, связанных с различной ценностью денег, примерно одинаковы и составляют порядка 1 триллиона долларов США, что коррелирует с оценкой ВВП, сосредоточенного в этой зоне, в предыдущих исследованиях. Показано, что для Европейского Союза крайне важным является принятие адаптационных мер в виде строительства берегозащитных сооружений и др. Это связано с тем, что при наличии защиты экономические ущербы увеличиваются линейно, а при их отсутствии – экспоненциально. Рассчитанные эмпирические зависимости позволяют оценивать ущерб при любом ПУМ в диапазоне 0,1–1,0 м.

Литература

1. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И.* Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет // Ученые записки, 2007, вып. 4, с. 125–132.
2. *Nerem R.S., Chambers D.P., Leuliette E.W., Mitchum G.T.* Satellite Measurements of 14 Sea level Change. Where have been and where are we going? 2006. <http://earth.esa.int/cgi-bin/confalt15y.pl?abstract=1092>.
3. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Eds. Houghton, J.T. et al. Cambridge; New York, Cambridge university press. 2001. 881 p.
4. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007 // Eds. Bernstein L. et al., Cambridge; New York, 1. Малинин В.Н. Изменчивость глобального водообмена в условиях меняющегося климата // Водные ресурсы, 2009, № 1. Cambridge university press. 2007. 940 p.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. – М.: Росгидромет, 2008. – 89 с.
6. Климат России в XXI веке. Ч. 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / В.П. Мелешко, В.М. Катков, В.М. Мирвис, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова // Метеорология и гидрология, 2008, № 6, с. 5-19.
7. *Малинин В.Н.* Изменчивость глобального водообмена в условиях меняющегося климата // Водные ресурсы, 2009, № 1.
8. *Малинин В.Н., Шевчук О.И.* Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях // Изв. РГО, 2008, т. 140, вып.4, с. 20-30.
9. *Малинин В.Н., Шевчук О.И.* О возможных изменениях уровня Мирового океана в ближайшие десятилетия // Общество. Среда. Развитие, 2009, № 2, с. 172-180.
10. *Brohan P. et al.* 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
11. *Church J.A., White N.J.* A 20th century acceleration in global sea-level rise // *Geophysical Res. Letters*. 2006. Vol. 33, L01602, doi:10.1029/2005GL02482627.
12. *Jevrejeva S.* Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records // *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111.
13. *Stern N.H., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky, D. Crane, S. Cruickshank, S. Dietz, N. Edmonson, S.-L. Garbett, L. Hamid, G. Hoffman, D. Ingram, B. Jones, N. Patmore, H. Radcliffe, R. Sathiyarajah, M. Stock, C. Taylor, T. Vernon, H. Wanjie, D. Zenghelis* (2006), *Stern Review: The Economics of Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge.
14. <http://www.newscientist.com/article/mg12517001.300-rising-sea-levels-could-affect-300-million.html>
15. *Nicholls R.J., Lowe J.A.* (2006) Climate stabilisation and impacts of sea-level rise. In *Avoiding Dangerous Climate Change* (eds. H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T.M.L. Wigley, and G.

- Yohe). Cambridge University Press, Cambridge Nicholls, R.J. and Tol, R.S.J. (2006). Impacts and responses to sea level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*, 364, 1073-1095.
16. <http://climaty.ru/node/23> – Интернет-сайт «Климату.ру – о глобальном потеплении с научной точки зрения».
 17. *Kristen M. Crosssett, Thomas J. Culliton, Peter C. Wiley, Timothy R. Goodspeed* (2004). Special Projects NOAA released Population Trends Along the Coastal United States: 1980-2008.
 18. IPCC (2007b), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry M.L., et al. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
 19. <http://www.globalwarmingart.com/wiki/Special:SeaLevel> – Карты GoogleMaps чувствительности к повышению уровня моря.
 20. *Житницкий Е., Фомин Б.* Глобальное изменение климата и экономика / "Общие проблемы постиндустриальной эпохи" / Московский общественный научный фонд, Институт мировой экономики и международных отношений РАН. М., 1999.
 21. *Bigano A., Bosello F., Roson R., Tol R.*, 2008. "Economy-wide impacts of climate change: a joint analysis for sea level rise and tourism," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Springer, vol. 13(8), pages 765-791, October.
 22. <http://www.foresight.gov.uk> – Официальный сайт программ Foresight.
 23. *Yohe G.* 1989. "The Cost of Not Holding Back the Sea – Economic Vulnerability." *Ocean and Shore Management* 15: 233-255.
 24. *Smith J., Tirpak D.* "The Potential Effects Of Global Climate Change On The United States." United States Environmental Protection Agency, Report to Congress (1989).
 25. *Titus J.G., Park R.A., Leatherman S.P., Weggel J.R., Green M.S., Mausel P.W., Brown S., Gaunt C., Trehan M., Yohe G.* 1991. "Greenhouse Effect and Sea-Level Rise: Potential Loss of Land and the Cost of Holding Back the Sea." *Coastal Management* 19:171-204.
 26. *Nordhaus W.D.* 1991. "To Slow or Not to Slow" // *Economics J.* 5:920-937.
 27. *Fankhauser S.*, 1995, "Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise" *Environment and Planning A* 27(2) 299 – 319.
 28. *Yohe G., Neumann J., Marshall P., Ameden H.*, 1996. The Economic Cost of Greenhouse-Induced Sea-Level Rise for Developed Property in the United States. *Climatic Change*, 32:387-410.
 29. *Авакян А. Б.* Наводнения в прошлом, настоящем и будущем: концепция защиты // *Использование и охрана природных ресурсов России*, 2001, № 10, с. 43-49.
 30. *Darwin R., Tol R.*, 2001. "Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise," *Environmental & Resource Economics*, European Association of Environmental and Resource Economists, vol. 19(2), pages 113-129, June.
 31. *Deke O., Hooss K.G., Kasten Ch., Klepper G., Springer K.*, 2001. "Economic Impact of Climate Change: Simulations with a Regionalized Climate-Economy Model," *Kiel Working Papers* 1065, Kiel Institute for the World Economy.
 32. http://en.wikipedia.org/wiki/Computable_general_equilibrium – Интернет-сайт электронной энциклопедии.
 33. *Sugiyama M., Nicholls R.J., Vafeidis A.* (2008). Estimating the Economic Cost of Sea-Level Rise. Report No. 156. The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
 34. *Anthoff D., Nicholls R.J., Morgenroth E.L.W., Tol R.S.J.* (2010). "The Economic Impact of Substantial Sea-Level Rise," *Working Papers FNU-175*, Research unit Sustainability and Global Change, Hamburg University.
 35. *Ciscar J.-C.* (editor) (2009). *Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project.*
 36. *Anthoff D., Nicholls R.J., Tol R.S.J., Vafeidis, A.T.* (2006). Global and regional exposure to large rises in sea-level: a sensitivity analysis. Working Paper 96. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich.
 37. CEC (2007) *Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius The way ahead for 2020 and beyond.* Commission Staff Working Document. Brussels.