ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕЙФА МОРСКОГО МУСОРА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЦУНАМИ 2011 Г. В ВОСТОЧНОЙ ЯПОНИИ

Максименко Н.А., Хафнер Я.

*International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa, 1680 East West
Road, POST 401, Honolulu, Hawaii, 96822, USA, +1(808)956-2584,
e-mail: aximenk@hawaii.edu*

Presented are results of numerical simulations of marine debris drift, generated by the 2011 tsunami in the eastern Japan. Differences between pathways of debris with different properties are described. Model experiments are validates using reports of Japanese boats from the west coast of the US and Canada.

11 марта 2011 г. сильнейшее землетрясение восточнее японского острова Хонсю вызвало мощное цунами с высотой волн превышающей в некоторых районах 30 м, которые разрушили около 100 тысяч домов, привели к многочисленным человеческим жертвам и произвели всего за несколько часов около 1.5 миллиона плавающего мусора (по оценке Министерства окружающей среды Японии), который позднее распространился в другие районы северной части Тихого океана.

Уникальные наблюдения за необычным мусором позволили протестировать способность численной модели воспроизвести его дрейф. В этом исследовании мы использовали диагностическую модель SCUD (Surface CUrrents from Diagnostic) [1]. Модель использует данные спутниковой альтиметрии и ветра для оценки поверхностных течений, состоящих из геострофической и обобщенной Экмановской компонент. Коэффициенты модели оптимизированы локально, и используют исторические данные дрейфующих буев и скорости рассчитываются ежедневно на квази-глобальной сетке с разрешением в четверть градуса. Прямое воздействие ветра на объекты, возвышающиеся над поверхностью моря (парусность), описывалось добавлением к скорости течения соответствующей фракции вектора ветра.

В данном моделировании предполагалось, что парусность мусора была распределена равномерно между 0% (когда движение трассера совпадало с движением воды) и 6%. Рис. 1 показывает, что, хотя вначале все виды трассера движутся на восток от Японии, в дальнейшем

происходит их разделение ветром, которое приводит к совершенно разным траекториям трассеров с высокой, средней и низкой парусностью. Первый (обозначенный на рис. 1 красным цветом) достигает берегов Северной Америки в конце 2011 и начале 2012 гг. и почти полностью вымывается на побережье Аляски и Британской Колумбии. Это соответствует сообщениям из этих районов о значительном количестве больших, легких пенопластовых и пластиковых буев, используемых в Японии в рыбном промысле и на аквафермах.

Часть трассера со средней парусностью (желто-зеленый на рис.1) достигла берегов штатов Вашингтон, Орегон и Калифорния весной 2012 г. и рециркулировала в сторону Гавайских островов. Любопытно, что на Гавайях мусор от цунами приплыл с северо-востока, что также соответствует наблюдениям.

Наконец, трассер с низкой парусностью (синий на рис. 1) последовательно конвергирует в относительно небольшую область в северо-восточной части океана, известную как «garbage patch» и отличающуюся повышенной концентрацией потерянных рыболовных сетей и фрагментированного пластика [2].

Рис. 1. Результаты моделирования дрейфа морского мусора от цунами на востоке Японии в 2011 г. Цвета соответствуют парусности (windage) модельного трассера.

Для количественного анализа результаты моделирования были сравнены с данными по 92-м японским лодкам, найденным на участке побережья между северной Калифорнией и островом Ванкувер (40–51°с.ш.). Было замечено, что лодки прибывали не непрерывно, а короткими (несколько недель) импульсами, при этом импульсы наблюдались почти синхронно по всему побережью с максимальным количеством данных около 46°с.ш. Эта синхронность позволяет предположить, что главным образом сигнал контролировался динамическими процессами достаточно большого масштаба, а локальные отличия играли второстепенную роль.

Рис. 2. Поток модельного трассера на побережье Северной Америки между 40 и 51°с.ш. для разных значений парусности (windage) (а) и тот же поток после сглаживания (б). На правой панели белые точки отмечают пики модельного решения, а фиолетовые линии – пики в наблюдениях. Горизонтальная серая линия помечает парусность в 1.7% с наилучшим соответствием между моделью и наблюдениями.

Рис. 3 демонстрирует хорошее соответствие между наблюдениями и модельным решением для оптимальной парусности. Модель успешно воспроизвела все основные пики, что позволило откалибровать ее решение и масштабировать его в абсолютные единицы. В результате мы смогли оценить, что во время цунами около 1000 лодок были смыты в море. За 5 лет около 90% этих лодок оказались на берегу, что демонстрирует способность Мирового океана самоочищаться от плавающего мусора. Однако немногочисленные сообщения о найденных японских лодках продолжают поступать. Растущее производство долгоживущих

Рис. 3. Частота наблюдения японских лодок (черная линия) и поток модельного трассера соответствующей парусности. Синяя линия – СКАД, остальные – модели, проанализированные в [3].

материалов и большее время резиденции в океане объектов с малой парусностью приводят к накоплению искусственного мусора и создания предпосылок для еще одного вида глобальных изменений, вызванных деятельностью человека.

Сравнение с другими моделями показало, что SCUD более точно воспроизводит динамику дрейфующего мусора [3]. Это означает, что параметризации процессов в верхнем перемешанном слое океана, используемых даже в лучших моделях циркуляции океана, требуют дальнейшего улучшения.

Настоящее исследование было поддержано грантами Министерства окружающей среды Японии (при посредничестве Северотихоокеанской организации морских исследований PICES) и Национального аэрокосмического агентства США NASA.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maximenko N.A., Hafner J. SCUD: Surface Currents from Diagnostic model // IPRC Tech. Note. 2010. 5. 17 p. http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/SCUD/SCUD_manual_02_17.pdf.
2. Moore C., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. A comparison of plastic and plankton in the north pacific central gyre // Mar. Pollut. Bull. 2001. 42 (12), 1297–1300. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X). (2001-12-01).
3. Maximenko N.A., Hafner J., Kamachi M., and MacFadyen A. Numerical simulations of debris drift from the 2011 tsunami in Japan, verified with boat reports // Mar. Pollut. Bull.. 2018. 132. pp. 5–25. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.056>.