

В.Н.Еремеев, С.В.Кочергин

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

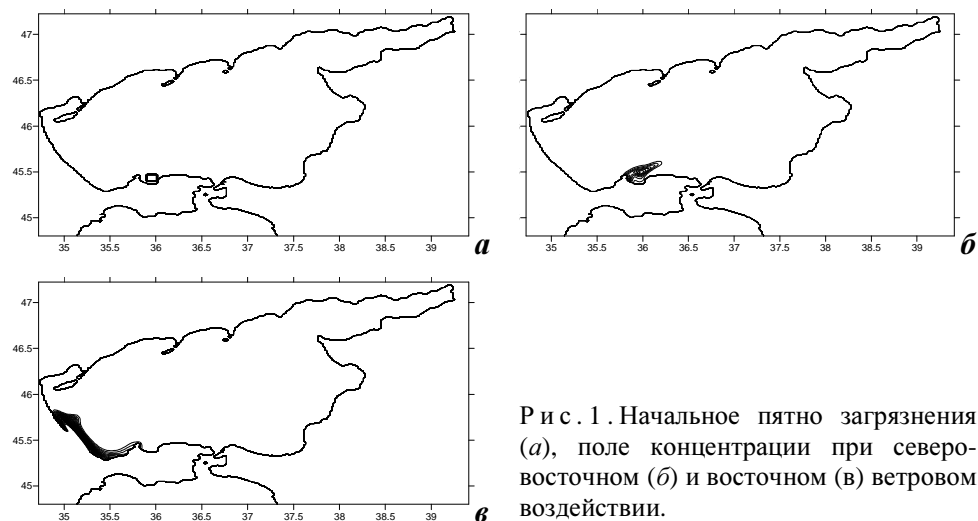
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ЗАДАЧ ПРИ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ

Рассматриваются модели переноса пассивной примеси и процедуры идентификации входных параметров численного моделирования для решения экологических задач в Черном и Азовском морях. Использование решения сопряженных уравнений позволяет не только исследовать интегральные характеристики в определенных районах области интегрирования модели, но и осуществлять оценку поля концентрации по различным начальным данным. При таком подходе решение сопряженной задачи является фактически функцией влияния начальных данных на концентрацию примеси в определенной точке пространства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *сопряженная задача, алгоритм, поле концентрации, функция влияния.*

Введение. Использование математического аппарата основанного на решении сопряженных задач [1, 2] позволяет решать ряд важных и актуальных вопросов экологической направленности – это идентификация входных параметров модели, описывающей распространение того или иного загрязнения в исследуемом бассейне, а так же оперативная оценка поля концентрации [3]. Входными параметрами являются начальное распределение поля концентрации, мощность источника загрязнения и другие параметры модели. Применение математического аппарата сопряженных уравнений к уравнению переноса пассивной примеси [4, 5] дает возможность минимизации квадратичного функционала качества с линейными ограничениями, что гарантирует существование единственного экстремума. Поиск минимума функционала осуществляется итерационно в направлении градиента функции ценности. Градиент определяется исходя из поставленной задачи, и обуславливается входным параметром, который подлежит идентификации. Решение соответствующей сопряженной задачи, при этом, выступает в роли весовой функции при вариации входных параметров.

При помощи решения сопряженных задач специального вида можно оценивать значения некоторых функционалов в интересующем нас районе [6 – 8]. В качестве такого функционала, например, может выступать средняя концентрация примеси в некоторой области. В пределе получаем задачу оценки концентрации в заданной точке исследуемой области [3]. Т.е. решив серию сопряженных задач, можем оценить поле концентрации в любой точке области интегрирования. Задавая различные начальные поля, определяем концентрацию без решения прямой задачи. Такой подход может оказаться полезным в случае реализации вариационного алгоритма идентификации при котором необходимо большое количество итераций для достижения минимума квадратичного функционала качества прогноза, а также для опе-



Р и с . 1 . Начальное пятно загрязнения (а), поле концентрации при северо-восточном (б) и восточном (в) ветровом воздействии.

ративной оценки экологической обстановки в конкретном районе. Для этого рассчитываются возможные поля течений при различных ветровых ситуациях. Функции влияния используются для оценки поля концентрации по начальным данным.

Вариационный алгоритм идентификации начальных данных для уравнения переноса пассивной примеси успешно применен в [9] для идентификации пятна загрязнения ^{137}Cs в Черном море сразу после Чернобыльской аварии, а так же начального поля распределения коколитовидов по спутниковой информации. Результаты такой идентификации и построение функций влияния для модели переноса пассивной примеси в Черном море наиболее полно описаны в монографии [10]. В данной работе рассмотрен подход, основанный на решении сопряженных задач для акватории Азовского моря в силу большой антропогенной нагрузки на исследуемый бассейн.

Результаты численных экспериментов. Расчеты проводились по модели [11] в σ -координатах с 15 уровнями по вертикали. Первоначально насчитывались компоненты скоростей и коэффициенты турбулентной диффузии при ветровом воздействии 10 м/с различных направлений. Полученные поля течений использовались в дальнейшем для численного моделирования распространения пятна загрязнения от источника в Казантипском заливе (рис.1, а) на срок 10 суток, а также для решения соответствующих сопряженных задач при построении функций влияния на исследуемую область. Результаты прямого моделирования показали, что при воздействии преобладающих ветров северо-восточного направления происходит блокирование исследуемого трассера в Казантипском заливе (рис.1, б). Режим слабого «проветривания» залива также осуществляется в случае воздействия юго-западных ветров, при этом повышенная концентрация пассивной примеси наблюдается вдоль всего побережья Керченского п-ова вплоть до Керченского пролива. Загрязнения самого Керченского пролива наблюдается в основном при северо-западном ветровом воздействии. Северные ветра вызывают повышение концентрации вдоль побережья Керченского п-ова. Наилучшее «проветривание» Казантипского залива происходит при западных, юго-вос-

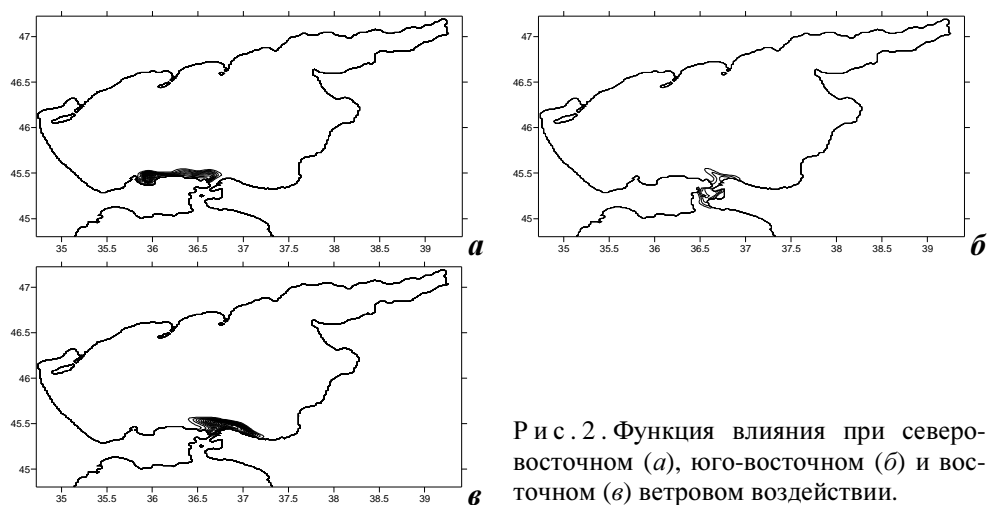


Рис. 2. Функция влияния при северо-восточном (а), юго-восточном (б) и восточном (в) ветровом воздействии.

точных, восточных (рис.1, в) и южных ветрах. В последнем случае основное пятно загрязнений оказывается мористее Казантипского залива, а в остальных случаях перемещение примеси в район Арабатской стрелки осуществляется за счет течений генерируемых ветровым воздействием.

Решение соответствующих сопряженных задач показало, что при воздействии преобладающего в данном районе северо-восточного ветра функция влияния для указанной области в Казантипском заливе имеет следующий вид (рис.2, а). Из рисунка видно, что при данном ветровом воздействии на концентрацию примеси в Ω влияет сама область Ω , прибрежная зона вдоль Керченского п-ова и область, прилегающая к Керченскому проливу. Попадая в исследуемую область, загрязнения накапливаются и блокируются при воздействии ветров северо-восточного направления. При юго-восточном ветре на концентрацию примеси в Казантипском заливе существенно влияет Керченский пролив (рис.2, б), а сам залив подвергается интенсивному «проветриванию». При юго-западных ветрах концентрация в заливе в основном определяется самими источниками загрязнения. Воздействие восточных ветров (рис.2, в) приводит к тому, что сильное влияние на концентрацию в заливе оказывает область, прилегающая к Керченскому проливу и акватории порта Темрюк.

Закключение. Таким образом, на основе применения математического аппарата сопряженных уравнений возможно решение широкого класса задач связанных не только с ассимиляцией данных измерений, оперативной оценкой поля концентрации, но и с исследованием функции влияния для лучшего понимания процессов формирования поля загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marchuk G.I., Penenko V.V. Application of optimization methods to the problem of mathematical simulation of atmospheric processes and environment // Modelling and Optimization of Complex Systems / Ed. G.I. Marchuk / Proc. of the IFIP-TC7 Working conf.– New-York: Springer, 1978.– P.240-252.
2. Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов.– Л.: Гидрометеиздат, 1981.– 350 с.

3. *Кочергин В.С.* Определение поля концентрации пассивной примеси по начальным данным на основе решения сопряженных задач // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– вып.25.– С.270-376.
4. *Кочергин С.В., Еремеев В.Н.* Идентификация начального океанографического поля при помощи вариационного алгоритма усвоения данных измерений // Морской гидрофизический журнал.– 1993.– №1.– С.69-71.
5. *Еремеев В.Н., Кочергин В.П., Кочергин С.В., Скляр С.Н.* Математическое моделирование гидродинамики глубоководных бассейнов.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002.– 238 с.
6. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.– М.: Наука, 1982.– 320 с.
7. *Рябцев Ю.Н., Шатино Н.Б.* Определение начального положения обнаруженных в открытой части моря поверхностных линз пониженной солености // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.18.– С.141-157.
8. *Иванов В.А., Тучковенко Ю.С.* Applied mathematical water-quality modeling of shelf marine ecosystems.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– 341 с.
9. *Еремеев В.Н., Демьшев С.Г., Кочергин С.В., Кочергин В.С.* Идентификация начальных данных в трехмерной модели переноса пассивной примеси в Черном море // Морской экологический журнал.– 2007.– №3.– С.36-46.
10. *Демьшев С.Г., Еремеев В.Н., Кочергин С.В., Кочергин В.С.* Использование вариационного подхода и решения сопряженной задачи при идентификации входных параметров модели переноса пассивной примеси в Черном море / Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря / Под ред. Еремеева В.Н., Коновалова С.К.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.– С.43-63.
11. *Иванов В.А., Фомин В.В.* Математическое моделирование динамических процессов в зоне моря-суша.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– 363 с.

Материал поступил в редакцию 17.07.2013 г.

АНОТАЦІЯ Розглядаються моделі переносу пасивної домішки і процедури ідентифікації вхідних параметрів чисельного моделювання для вирішення екологічних завдань в Чорному та Азовському морях. Використання рішення сполучених рівнянь дозволяє не тільки дослідити інтегральні характеристики в певних районах області інтегрування моделі, а й здійснювати оцінку поля концентрації за різними початковими даними. При такому підході рішення сполученої задачі є фактично функцією впливу початкових даних на концентрацію домішки в певній точці простору.

ABSTRACT The models of passive impurity and procedure to identify the input parameters of the numerical simulation to solve environmental problems in the Black Sea and Sea of Azov are discussed. The use of conjugate solutions of equations allows not only to investigate the integral characteristics in certain areas of the integration model, but also to assess the concentration field for different initial conditions. With this approach, the solution of the dual problem is actually a function of influence of initial data on the concentration of impurity in a specific point of space.