

ОБОБЩЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА АНТРОПОГЕННОЙ ПРИМЕСИ

Предлагается обобщенная информационно-технологическая модель переноса антропогенной примеси, в которой представление о границах загрязнения определяется географическими координатами реперных точек, выбранных по его периметру.

Ключевые слова: информационно-технологическая модель, реперные точки, загрязнение, параметры.

Введение. Вопросы исследования закономерностей переноса антропогенной примеси является одной из актуальных научно-практических проблем, стоящих перед учеными, морскими экологами, инженерами и персоналом, эксплуатирующим морские гидротехнические сооружения, судоводителями и судовладельцами, службами портов и администрацией прибрежных городов и поселков. Зная закономерности распространения антропогенной примеси (загрязнения), можно прогнозировать масштабы загрязнения, динамику его развития, перемещения по акватории [1] и тем самым снижать риск развития катастрофических событий, связанных с нарушением нормального функционирования прибрежных рекреационных зон [2], уничтожением флоры и фауны [3].

Главная проблема подобных исследований состоит в том, что они проводятся главным образом виртуально, то есть посредством моделирования [4]. Проверка разработанных моделей может осуществляться только по отдельным эпизодам фактических экологических катастроф. В то же время цель всех подобных исследований состоит в прогнозировании таких ситуаций и выполнении превентивных мероприятий предотвращающих экологические катастрофы.

Особенность Черноморской акватории заключается в особом гидрологическом режиме, относительно низкой солености, наличием холодного промежуточного слоя, отсутствием значительных колебаний уровня и приливных явлений [5]. В настоящее время разработаны математические модели движения морских вод и переноса антропогенных примесей с учетом специфики Черного моря [6]. Однако эти модели не дают целостной оценки антропогенного загрязнения.

Постановка цели и задач научного исследования. Целью данной работы является разработка обобщенной модели переноса антропогенной примеси в акватории Черного моря. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Во-первых, рассмотреть виды распределенных антропогенных примесей (загрязнений). Во-вторых, проанализировать существующие модели движения водной среды и переноса антропогенной примеси. В-третьих, разработать обобщенную математическую модель переноса антропогенной примеси.

Виды распределенных антропогенных загрязнений. Под распределенными антропогенными загрязнениями в водной среде понимаются определенные совокупности веществ, которые свободно, хаотически распределяются в водной среде от поверхности до дна. Например, вырывающаяся из подводной скважины нефть, выливающиеся из канализационной трубы стоки, сливающаяся с горно-обогажительных градирен (дроблок) техническая вода и т.д. Во всех случаях подобные попадающие в водную среду антропогенные примеси распределяются свободным, хаотическим образом, принимают различную конфигурацию и распространяются (растворяются, рассеиваются, переносятся) в другие части водоема.

В зависимости от вида вещества антропогенные примеси принято разделять на жидкие и размельченные (состоящие из твердых частиц). Ряд жидких (кислоты, щелочи, спирты) и размельченных (соли, окислы) примесей могут растворяться в воде. Нерастворимые жидкости в морской водной среде вследствие действия различных видов морской

турбулентности переходят в эмульгированное (фолликулярное) состояние, когда антропогенная примесь состоит из фолликул – мельчайших частичек нерастворимой жидкости, обтянутых водяной пленкой. Фолликулы, подобно размельченным частицам твердого вещества, свободно распределяются в водной среде. По отношению к плотности воды антропогенные примеси могут быть легче или тяжелее ее и поэтому остаются на водной поверхности или погружаются на дно. В связи с этим нерастворимые в морской воде жидкости, например, нефтепродукты, и размельченные твердые вещества, например, сажа, которые легче морской воды, первоначально распространяются на водной поверхности. Наоборот, более тяжелые жидкости, например, иприт, и размельченные твердые вещества, например, угольная пыль, погружаются в водной среде и оседают на морское дно.

При спокойной акватории (отсутствие волнения, течений и др.) антропогенные загрязнения могут быть поверхностными, например, в виде нефтяных пятен, или донными, например, в виде осадков угольной пыли. Эти загрязнения являются плоскими, так как в первом случае нефтяное пятно располагается на водной поверхности, а во втором – слой угольной пыли ляжет на морском дне. Они также будут характеризоваться толщиной, соответственно, пленки и осадков, площадью загрязнения и его конфигурацией (в виде круга, сегмента, овала, трапеции и т.д.). В случае беспокойной акватории, когда присутствует волнение водной поверхности, действует постоянное или ветровое течение, нерастворимые жидкости переходят в эмульгированное состояние, образуя объемное антропогенное загрязнение. Аналогичным образом и размельченные антропогенные примеси формируют объемные загрязнения вследствие турбулентного перемешивания морской водной среды. В зависимости от местонахождения объемного загрязнения оно может быть приповерхностным, в непосредственной близости у водной поверхности или соприкасаясь с ней, придонным, в непосредственной близости со дном или соприкасаясь с ним, промежуточным, находящимся в водной толще. Объемное антропогенное загрязнение будет характеризоваться объемом загрязнения, концентрацией антропогенной примеси и ее распределением по всему объему загрязнения. Эти загрязнения, также как и поверхностные, могут быть целыми – в виде одного сплошного объема (как одного пятна) или нескольких объемов (разорванных пятен). Для объемов характерна конфигурация, которая определяется посредством горизонтальных и вертикальных разрезов (сечений).

Вертикальное перемещение антропогенных примесей в морской водной среде осуществляется как сверху вниз, так и снизу вверх. Рассмотрим эти перемещения на примере нефтяных загрязнений. Нефтяное пятно, растекаясь на водной поверхности под действием приводного ветра и поверхностных течений, перемещается в пространстве. Действие морской турбулентности, в том числе и интенсивное ветровое перемешивание, приводит сначала к образованию фолликулярного слоя под пятном, а затем и его полный перевод в эмульгированное состояние. Первоначально образованное объемное загрязнение соприкасается с поверхностью, а затем распространяется вглубь водной толщи. Под действием нисходящих конвекционных потоков оно опускается в придонные слои, а затем фолликулы оседают на морское дно.

В дальнейшем действие придонных течений, восходящие конвекционные потоки приводят опять к формированию объемного эмульгированного загрязнения, которое из придонных слоев мигрирует к поверхности, а затем на водной поверхности образует вторичную нефтяную пленку.

Таким образом, распределенные антропогенные загрязнения образуются жидкими и размельченными твердыми веществами, которые в зависимости от местонахождения могут быть поверхностными, донными, приповерхностными, придонными и промежуточными. Они (загрязнения) характеризуются площадью или объемом загрязнения, его конфигурацией, концентрацией примеси и ее распределением по площади или объему, целостностью загрязнения и параметрами его перемещения в пространстве (водной акватории).

Модели движения водной среды и переноса антропогенной примеси. В зависимости от структуры антропогенной примеси, строения ее элементарной твердой частицы, фолликулы и параметров водной среды, таких как направление и скорость водного потока, характер турбулентности, наличие растворимых газов и других, возможны две принципиальные ситуации распространения загрязнений в водной среде. Первая, когда мы полностью пренебрегаем свойствами частиц, из которых состоит загрязнение, и считаем, что характер их распространения полностью определяется только движением водной среды. Вторая, когда мы учитываем эти свойства. Каждой из ситуаций соответствует свой набор моделей, выбор каждой из которых определяется в соответствии с критерием Рейнольдса. Применительно к условиям Черноморской водной среды [6] наиболее часто используемыми оказались три математические модели (первая - третья) для первой ситуации и три модели (четвертая - шестая) для второй. Дадим им краткую характеристику.

Первая – математическая модель движения морской водной среды определяется аналитической зависимостью общего ускорения воды, которое складывается из пяти частей, а именно: ускорения, обусловленного постоянными гравитационными силами, ускорения, вызываемого периодическими объемными силами, ускорения Кориолиса, ускорения, вызванного градиентом давления, и ускорения, обусловленного вязкими напряжениями. Вторая - математическая модель турбулентной водной среды позволяет рассматривать любое турбулентное движение водной среды, в том числе и вертикальные упорядоченные токи. Однако нерационально пользоваться полной системой уравнений в тех случаях, когда входящие в нее члены играют неравнозначную роль. Особенно важно это учитывать, если иметь в виду ошибки определения используемых параметров и гидрометеорологических элементов. Поэтому перед решением уравнений необходимо их проанализировать и упростить применительно к особенностям изучаемого процесса. Нужно выделить его существенные стороны и учесть их в соответствующих членах уравнения, пренебрегая малыми слагаемыми. Третья - обобщенная модель движения Черноморской водной среды условно разделяет всю водную среду на три слоя, где учитывается трение ветра (приповерхностный слой), трение морского дна (придонный слой) и где отсутствует трение (основная водная толща). Вблизи берегов следует выделить отдельный прибрежный слой, где учитывается трение о берег и дно (береговой склон) одновременно. Четвертая - математическая модель диффузии антропогенной примеси определяется аналитической зависимостью изменения плотности локального объема морской воды, которая определяется дивергенцией начальной плотности водной среды, молекулярным коэффициентом диффузии и градиентом антропогенной примеси. В пятой модели – адвентивный перенос – математическая модель диффузии антропогенной примеси описывается аналитической зависимостью изменения плотности локального объема морской воды, которая определяется дивергенцией начальной плотности водной среды, молекулярным коэффициентом диффузии и градиентом антропогенной примеси. Шестая – это математическая модель горизонтального потока, движения поверхностных волн, движения в мелководных районах и вертикальных движений – являются частными случаями общего уравнения движения водного потока, которые следует применять в зависимости от характера действующих сил, размеров акватории и ее глубины. Все эти модели позволяют, в зависимости от конкретной ситуации, по всей акватории Черного моря решить задачу определения скорости и направления перемещения антропогенной примеси. Однако они применимы к так называемому единичному объему водной среды и не позволяют моделировать картину распространения антропогенного загрязнения в целом.

Таким образом, существующие математические модели движения водной среды и переноса антропогенной примеси позволяют решать задачи определения направления и скорости перемещения единичного объема водной среды, не рассматривая конфигурацию всей площади или всего объема загрязнения как одной целой субстанции.

Обобщенная модель переноса антропогенной примеси. Пусть площадь растекающейся на водной поверхности антропогенной примеси (например, нефтяного пятна)

определяется функционалом $S(t)$, а $M(S_i)$ - множество точек, определяющих внешний периметр пятна в момент времени t_i . Растекающееся пятно находится в динамическом состоянии не только за счет сил, вызывающих постоянное увеличение его площади, но и под действием приводного ветра и перемещающейся водной среды, суммарное действие которых будет определяться вектором \bar{V}_n . Поскольку все перечисленные факторы изменяются во времени можно допустить, что функционал, описывающий площадь пятна и его конфигурацию (положение точек внешнего периметра) будет полностью ими определяться, то есть

$$S(t) = f[(M(S_i) \times \bar{V}_n), t]. \quad (1)$$

Если число точек, определяющих периметр пятна, сократить до четырех и добавить точку расположения центра пятна, то их перемещение от изменения во времени фактора V_n может быть таким, как показано на рис. 1. Здесь в момент времени t_0 точка №1 занимает позицию 10, которая за время t_1, \dots, t_4 будет занимать местоположение 11, ..., 14. Аналогичным образом будет изменяться положение точек №2, ..., №5. Перемещение этих точек позволяет контролировать и оценивать конфигурацию пятна. Выбор фактора V_n , который имеет направление – курс, и величину – скорость, определяется одной из ранее рассмотренных моделей, при этом придерживаются следующих стратегий, что центральная точка пятна №5 перемещается по осредненному направлению и с определенной скоростью.

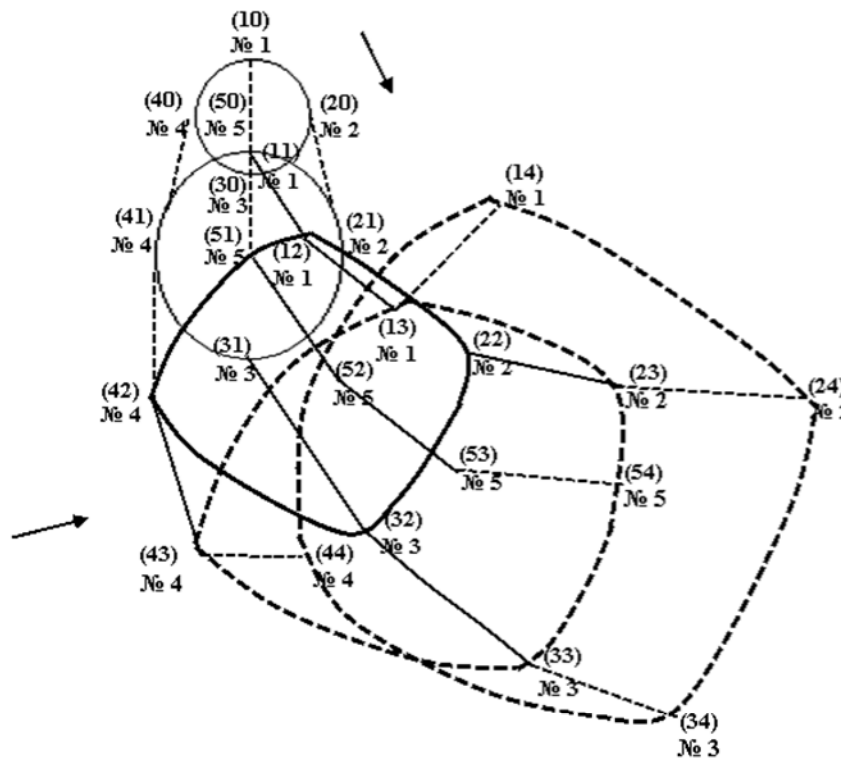


Рис. 1. Схема растекания и перемещения пятна

По этому осредненному направлению также перемещаются начальная №3 и конечная №1 точки пятна, но начальная перемещается с максимально возможной скоростью, а конечная с минимально возможной скоростью. Точка №4 расположенная справа относительно генерального направления перемещения, будет правой, а точка №2 – левой. Они также, как и центральная точка, перемещаются с осредненной скоростью, но направление движения правой точки имеет крайне возможное вправо, а левой – влево. Тогда

периметр и конфигурация пятна будет определяться изменением во времени географических координат (φ - широта, λ - долгота) точек, которые далее будем называть реперными, то есть

$$S(t) = f \left\{ \left[P_{\varphi\lambda} (H, K, L, \Pi, O) \times V_n \begin{matrix} \text{курс-сред., прав., левый} \\ \text{скорость-макс., сред., мин.} \end{matrix} \right], t \right\}. \quad (2)$$

Другими словами, положение и конфигурация растекающегося пятна определяется перемещением его реперных точек.

В случае, если имеется объемное загрязнения, распространяющееся в водной толще, то, выполнив горизонтальные сечения на горизонтах $h_1 \dots h_n$, рис. 2, получим соответствующие антропогенные пятна, распространение каждого из которых будет описываться выражением (2).

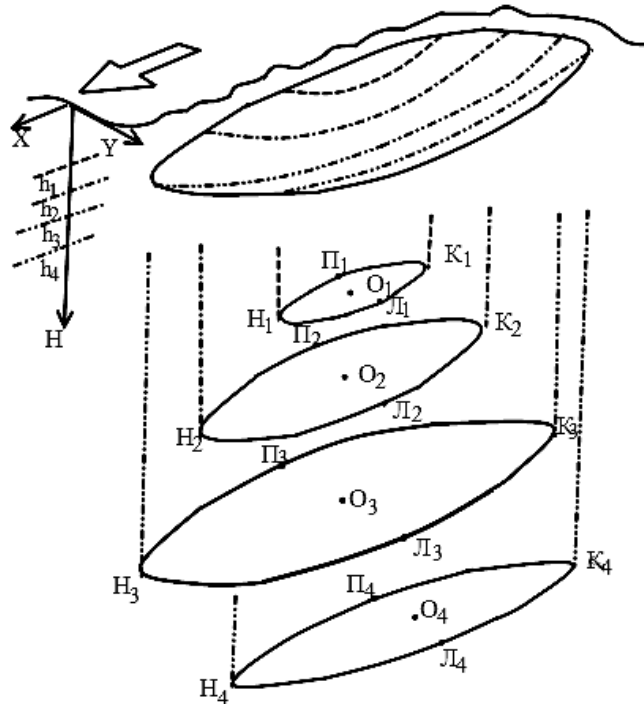


Рис. 2. Схема распространения объемного загрязнения

Безусловно, для каждого горизонта h_i будут свои изменяющиеся во времени значения фактора V_{ni} , а их общая совокупность определит перемещение в пространстве объемного загрязнения, то есть

$$S(t) \Big|_{h_i}^{\dots} = \begin{matrix} \left\{ f_1 \left\{ \left[P_{\varphi\lambda}^1 (H_1, K_1, L_1, \Pi_1, O_1) \times V_{n1} (\text{курс, скорость}) \right], t \right\} \right. \\ \dots \\ \left. \left\{ f_n \left\{ \left[P_{\varphi\lambda}^n (H_n, K_n, L_n, \Pi_n, O_n) \times V_{nn} (\text{курс, скорость}) \right], t \right\} \right. \right\} \end{matrix} \quad (3)$$

Таким образом, обобщенная модель переноса антропогенной примеси в водной среде определяется совокупностью распространяющихся горизонтальных сечений, в каждом из которых имеется свой набор реперных точек. Их положение позволяет оценить периметр и конфигурацию сечения, направление и скорость перемещения которых рассчитывается в соответствии с одной из выбранных моделей движения водной среды и переноса антропогенной примеси.

Выводы.

1. Распределенные антропогенные загрязнения образуются жидкими и размельченными твердыми веществами, которые в зависимости от местонахождения могут быть поверхностными, донными, приповерхностными, придонными и промежуточными. Они (загрязнения) характеризуются площадью или объемом загрязнения, его конфигурацией, концентрацией примеси и ее распределением по площади или объему, целостностью загрязнения и параметрами его перемещения в пространстве (водной акватории).

2. Существующие математические модели движения водной среды и переноса антропогенной примеси позволяют решать задачи определения направления и скорости перемещения единичного объема водной среды, не рассматривая конфигурацию всей площади или всего объема загрязнения как одной целой субстанции.

3. Обобщенная модель переноса антропогенной примеси в водной среде определяется совокупностью распространяющихся горизонтальных сечений, в каждом из которых имеется свой набор реперных точек. Их положение позволяет оценить периметр и конфигурацию сечения, направление и скорость перемещения которых рассчитывается в соответствии с одной из выбранных моделей движения водной среды и переноса антропогенной примеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко Ю.Ю. Модели распространения нефтяных загрязнений на водной поверхности. – Севастополь: Гос. океанариум, 2011. – 104 с.
2. Ветрова Н.М. Экологическая безопасность рекреационных региона. – Симферополь: ЕНАПКС, 2006. – 297 с.
3. Лисиченко Г.В. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.Б. Барбашев – Одеса: Астропринт, 2011. – 368 с.
4. Ісаєнко В.М. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар та інші. – К.: Вид-во НАУ-друк, 2009. – 312 с.
5. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / Под ред. Б.А. Нелепо. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 398 с.
6. Азаренко Е.В. Модели распространения антропогенной примеси в Черном море / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк. – Севастополь: Гос. океанариум, 2012. – 102 с.

Надійшла: 03.04.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В.