

УДК 551.556.4

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.4.09>

Оригинальная статья / Original paper

Влияние бризовой циркуляции на атмосферный перенос и рассеяние радиоактивных выбросов

Д.Ю. Гуляев

ИАТЭ НИЯУ МИФИ,

249039 Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, д. 1

Реферат. Приводятся результаты численного моделирования распространения примеси в атмосфере в условиях бризовой циркуляции. Целью является оценка влияния циркуляции на атмосферный перенос и рассеяние радиоактивных выбросов. Данная оценка необходима для обоснования учета бриза в расчетных алгоритмах компьютерных систем поддержки принятия решений (СППР), предназначенных для анализа и прогноза аварийных событий на ядерных объектах. В работе приведено подробное описание использованной математической модели бризовой циркуляции. Модель основана на системе уравнений термогидродинамики атмосферы со специфическими граничными условиями, моделирующими особенности бриза. Этими особенностями являются возникновение циркуляции из-за различия поверхностных температур между сушей и морем и периодический во времени характер циркуляции, связанный со сменой времени суток. Особое внимание уделяется описанию набора входных параметров для модели, значения которых получаются из внешней метео- и геоинформации. Расчет переноса и рассеяния примеси осуществляется с использованием смоделированного поля ветра методом случайных смещений. Приведены распределения концентраций, полученные с учетом и без учета бриза в модели. Приводимые результаты демонстрируют, что бризовая циркуляция формирует распределение концентрации, существенно отличное от того же в отсутствие циркуляции. Главное отличие состоит в том, что в дневное время бризовый ветер всегда уносит примесь в глубь суши в отличие от невозмущенного ветра. Приведенная оценка позволяет обосновать необходимость включения элементов, учитывающих бриз, в метеопроцессор СППР RECASS NT.

Ключевые слова: бризовая циркуляция, атмосферный перенос выбросов, метеопроцессор.

Для цитирования: Гуляев Д.Ю. Влияние бризовой циркуляции на атмосферный перенос и рассеяние радиоактивных выбросов. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;4:127–137. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.4.09>

Введение

Обеспечение безопасности атомных электростанций по федеральным нормам и правилам России и стандартам МАГАТЭ предусматривает в условиях радиационной аварии оперативную выработку мер по ликвидации последствий радиационной аварии и защите населения [1]. При определении таких мер необходимо проведение оперативного прогнозирования процессов переноса и рассеяния радионуклидов, попавших в атмосферу в результате аварии.

Для решения задачи прогнозирования в условиях аварии применяются специализированные компьютерные системы информационной поддержки принятия решений (СППР). Аварийная ситуация отличается потребностью в гибком оперативном реагировании на постоянно меняющиеся условия, а также неполнотой и возможной недостоверностью исходных данных. В связи с этим к системам оперативного прогнозирования выдвигается ряд ключевых требований. Они должны учитывать особенности локальной атмосферной динамики, влияющие на диффузию радиоактивных выбросов, использовать актуальные метеоданные, обладать высоким быстродействием и быть адаптированными для работы на доступном вычислительном оборудовании.

На предприятиях Концерна «Росэнергоатом» для анализа и прогнозирования последствий аварий на ядерных объектах применяется система RECASS NT. Она была разработана и поддерживается Федеральным информационно-аналитическим центром (ФИАЦ) Росгидромета НПО «Тайфун» [2]. Главная задача этой системы – оценивать и прогнозировать последствия аварийных выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в окружающую среду, а также формировать рекомендации о необходимости проведения защитных мероприятий. До последнего времени сфера применения системы RECASS NT ограничивалась атомными электростанциями, расположенными в материковой части страны, вдали от морского побережья.

Для моделирования влияния метеорологических условий на распространение ЗВ в атмосфере в составе RECASS NT имеется метеопроцессор, который на основании данных метеонаблюдений подготавливает набор пространственно-временных полей величин, необходимых для выполнения моделирования. При этом должен быть обеспечен учет различных локальных особенностей атмосферной динамики, которые могут повлиять на перенос и рассеяние радионуклидов.

Одной из таких особенностей является возникновение в прибрежных зонах при соответствующих условиях бризовой циркуляции. Задача учета этого явления при обеспечении радиационной безопасности АЭС весьма актуальна, поскольку современные АЭС нередко размещаются вблизи морских побережий. Примером может служить строящаяся в Арабской Республике Египет АЭС Эль-Дабаа.

Механизм возникновения бризов заключается в следующем. В течение дня прибрежный контраст температур между поверхностями воды и суши порождает направленный к берегу градиент давления, который заставляет массы воздуха над морем двигаться в сторону суши. Движущиеся массы воздуха над сушей прогреваются и, становясь легче, поднимаются вверх, в результате чего образуется циркуляционная ячейка. В ночное время суток циркуляция меняет направление либо подавляется фоновым ветром. С наступлением дня процесс повторяется – таким образом, бризовая циркуляция имеет циклический характер. Оперативная модель для учета влияния бриза на перенос и рассеяние примесей в атмосфере должна учитывать эти особенности.

В настоящее время имеется ряд математических моделей бризовой циркуляции, интегрированных в крупные прогностические системы (такие как WRF)[3]. Однако затраты времени при расчетах с помощью таких систем являются недопустимо большими для оперативного моделирования. Поэтому необходима отдельная реализация модели бризовой циркуляции для ее интеграции в метеопроцессор RECASS NT. Такая реализация на данный момент отсутствует – так, в расчетной методике [4], реализованной в RECASS, говорится, что описанная в ней мезомасштабная модель атмосферного переноса и рассеяния неприменима в особых метеоусловиях, таких как условия бриза.

Целью настоящей работы является разработка оперативной модели бризовой циркуляции и оценка влияния бризовой циркуляции на перенос и рассеяние аварийных выбросов, обосновывающая необходимость учета явления бриза при моделировании процессов атмосферного переноса и рассеяния радионуклидов.

Математическая модель бризовой циркуляции

Анализ влияния бризовой циркуляции на перенос и рассеяние радиоактивных выбросов проводился с помощью расчетной модели, разработанной на основе предложенного в [5] и развитого в [6 – 7] подходах.

Основой для модели являются уравнения, описывающие движение невязкой несжимаемой среды в системе координат, связанной с Землей, с учетом теплопереноса и турбулентности [5]. В данной системе координат ось абсцисс направлена по касательной к широтному кругу на восток, ось ординат – по касательной к меридиану на север, ось аппликат – вертикально вверх. Для учета турбулентности уравнения подвергаются осреднению, аналогичному процедуре осреднения по Рейнольдсу. Мгновенные значения метеорологических величин представляются в виде суммы крупномасштабной, мезомасштабной и локальной компонент. Осредненные уравнения решаются относительно сумм крупномасштабной и мезомасштабной составляющих каждой метеорологической величины.

Пусть x, y – горизонтальные координаты, Z – расстояние от подстилающей поверхности. Особенность модели заключается в представлении верхней границы области моделирования в виде свободной поверхности, движущейся вместе с частицами воздуха. Для учета свободной границы сделаем замену вертикальной координаты

$z = \frac{h_0}{h(x, y, t)} Z$. Здесь $h(x, y, t)$ – уровень верхней границы, $h_0(x, y, 0) = \text{const}$. При не-

которых допущениях в новых координатах система уравнений модели будет иметь вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial x} - \frac{gz}{h_0} \frac{\partial h}{\partial x} + f v + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial u}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w^* \frac{\partial v}{\partial z} = -c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial y} - \frac{gz}{h_0} \frac{\partial h}{\partial y} - fu + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial v}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w^* \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \theta}{\partial z} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial z} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0, \quad (4)$$

$$c_p \frac{\partial \pi}{\partial z} = -\frac{g}{\theta} \frac{h}{h_0}. \quad (5)$$

Здесь u, v – зональная и меридиональная компоненты скорости; w^* – преобразованная вертикальная скорость, введенная для сохранения вида адвективных слагаемых в уравнениях и связанная с физической вертикальной скоростью w соотношением

$$w^* = w \frac{h_0}{h} - \frac{z}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right);$$

θ, π – потенциальная температура и безразмерное давление, связанные с абсолютной температурой T и физическим давлением p соотношениями

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-}; \quad \pi = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{-};$$

$K_H(x, y, z, t), K_z(x, y, z, t)$ – турбулентные обменные коэффициенты, вычисляемые в соответствии с рекомендациями [4]; g – ускорение свободного падения; f – параметр Кориолиса; p_0 – стандартное давление 10^5 Па; R – газовая постоянная сухого воздуха; c_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха. К системе (1)–(5) добавляется уравнение для описания изменения уровня верхней границы

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{h_0} \int_0^{h_0} \left(\frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} \right) dz. \quad (6)$$

Отметим, что уравнения не учитывают существенные неоднородности топографии – лишь такие особенности, которые можно смоделировать заданием шероховатости.

Система уравнений (1)–(6) решается в прямоугольной области $0 \leq z \leq h_0$, $-D_x \leq x \leq D_x$, $-D_y \leq y \leq D_y$, где h_0 , D_x , D_y – заданные значения. Плоскость $z = 0$, соответствующая подстилающей поверхности, разделяется береговой линией $c(x, y) = 0$ на две области – море S и сушу L . Начало координат $(0, 0, 0)$ помещается в некоторой точке побережья.

Система (1) – (6) дополняется начальными и граничными условиями:

$$t = t_0 : u = u_0(z); \quad v = v_0(z); \quad w^* = 0; \quad \theta = \theta_0(x, y, z); \quad \pi = \pi_0(x, y, z); \quad h = h_0, \quad (7)$$

$$z = 0 : u = v = w^* = 0; \quad \theta = \theta_0(x, y, 0) + A(x, y) \sin\left(\frac{3.14(t - t_0)}{T}\right); \quad \pi = \pi_0(x, y, 0), \quad (8)$$

$$z = h_0 : u = u_0(h_0); \quad v = v_0(h_0); \quad \theta = \theta_0(x, y, h_0); \quad \pi = \pi_0(x, y, h_0), \quad (9)$$

$$x = \pm D_x : \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad (10)$$

$$y = \pm D_y : \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial y} = 0. \quad (11)$$

Время t при расчете соответствует времени, прошедшему с начала «расчетных» суток, а момент времени $t = t_0$ соответствует времени восхода Солнца. Начало отсчета выбрано в этот момент в предположении, что при смене времени суток меняется режим нагревания подстилающей поверхности и вместе с этим затухают мезомасштабные возмущения – таким образом, поля скорости и температуры в этот момент времени можно считать невозмущенными и использовать в качестве начальных.

Функция $A(x, y)$, задающая амплитуду температурных возмущений в условии (8), равна 0 на море (S) и $A \neq 0$ на суше (L):

$$A(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \in S \\ A \neq 0, & (x, y) \in L. \end{cases} \quad (12)$$

Это условие является ключевым, поскольку функция $A(x)$ отвечает за возникновение в модели термического градиента давления, порождающего бризовую циркуляцию. Гармонический по времени характер возмущений позволяет моделировать суточный цикл циркуляции. Параметр T есть продолжительность времени от восхода до захода Солнца.

Начальные профили метеорологических величин $u_0(z)$, $v_0(z)$, $\theta_0(z)$, $\pi_0(x, y, z)$ являются входными данными модели и формируются на основе совокупности метео- и геоинформации, указанной в [4].

Система уравнений (1) – (6) с начально-краевыми условиями (7) – (11) решается методом конечных разностей. Результатом решения являются пространственно-временные распределения компонент скорости ветра, температуры и давления воздуха.

Некоторые результаты по верификации модели ветра (1) – (11) приведены в работах Pielke R.A., в частности, в [5]. Отметим, что, как показали численные эксперименты, расчеты динамики по данной модели на период времени до одних суток на персональном компьютере занимают не более восьми минут (в зависимости от входных параметров, которые влияют на необходимый для устойчивости шаг интегрирования по времени). В то же время известно, что длительность расчетов в крупных прогнозных системах (как, например, в WRF) на те же периоды составляет обычно до 30-ти минут (для мезомасштабных процессов) [8].

Влияние бризовой циркуляции на перенос радионуклидов

Степень влияния бризовой циркуляции на перенос и рассеяние радионуклидов в атмосфере продемонстрируем результатами расчетов с использованием разработанной модели. В качестве расчетной зоны была взята территория строящейся АЭС Эль-Дабаа в Египте. Эль-Дабаа находится в 3,5 км от побережья Средиземного моря. Местность, в которой находится станция, можно считать орографически однородной. Во введенной выше системе координат береговая линия будет описываться уравнением $c(x, y) = y = 0$, а морю и суше будут соответствовать области $y > 0$ и $y < 0$ соответственно.

Расчет переноса однокомпонентной примеси осуществлялся после моделирования поля ветра. Для расчета использован метод случайных смещений [9]. В качестве коэффициентов диффузии приняты коэффициенты K_H, K_z из уравнений (1) – (3). Искомой величиной при расчете является пространственно-временное распределение концентрации.

Входную информацию для расчетов переноса и рассеяния ЗВ в атмосфере по приведенной модели можно подразделить на три типа: геоинформация, характеристика источника выброса и метеорологическая информация. Данные, использованные для приведенных расчетов, указаны в табл. 1.

Таблица 1

Входные параметры для расчетной модели

Геоинформация		Характеристики источника выброса		Метеоинформация	
Географическая широта,	31 с.ш.	Координаты источника, км (x_s, y_s, z_s)	$x_s = 0$ $y_s = -3,5$ $z_s = 0,05$	Скорость на флюгере $U_{фr}$, м/с	2
Рельеф	$y > 0$ – море $y < 0$ – суша	Размеры источника м, $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$	$\Delta x = 1$ $\Delta y = 1$ $\Delta z = 0$	Приземная температура на высоте 2 м, К	300
Шероховатость z_0 , м	0,0099 (море) 0,04 (суша)	Дата выброса t_s	15 июля 12:00	Нижняя и общая облачность, N_H, N_0	0, 0
–	–	Длительность выброса Δt_s , сек	3	–	–
–	–	Суммарная активность выброса, Бк	10^{13}	–	–

Расчеты проводились для различных метеоусловий, которые определялись начальными вертикальными профилями ветра $U_0(z)$, $V_0(z)$:

$$U_0(z) = U_\phi \left(\frac{z}{z_\phi} \right)^\alpha \cos(\varphi), \quad V_0(z) = U_\phi \left(\frac{z}{z_\phi} \right)^\alpha \sin(\varphi), \quad (13)$$

где U_ϕ – скорость ветра на высоте флюгера z_ϕ ; α – расчетный показатель; φ – направление ветра, которое отсчитывается от положительного направления оси X во введенной системе координат.

В целях изучения влияния бризовой циркуляции на перенос примеси расчеты проводились с учетом и без учета бриза. Для каждого начального условия вида (13) расчеты велись отдельно для двух значений функции $A(x, y)$ из условия (8) на суше: $A(x, y) = 0$ и $A(x, y) \neq 0$, означающие отсутствие и наличие бриза соответственно (для расчетов с бризом было выбрано значение 10°C). На рисунке 1 представлены распределения частиц выброса в вертикальной плоскости, перпендикулярной берегу, через 15 минут после выброса. На рисунке приведены расчеты для начального ветра

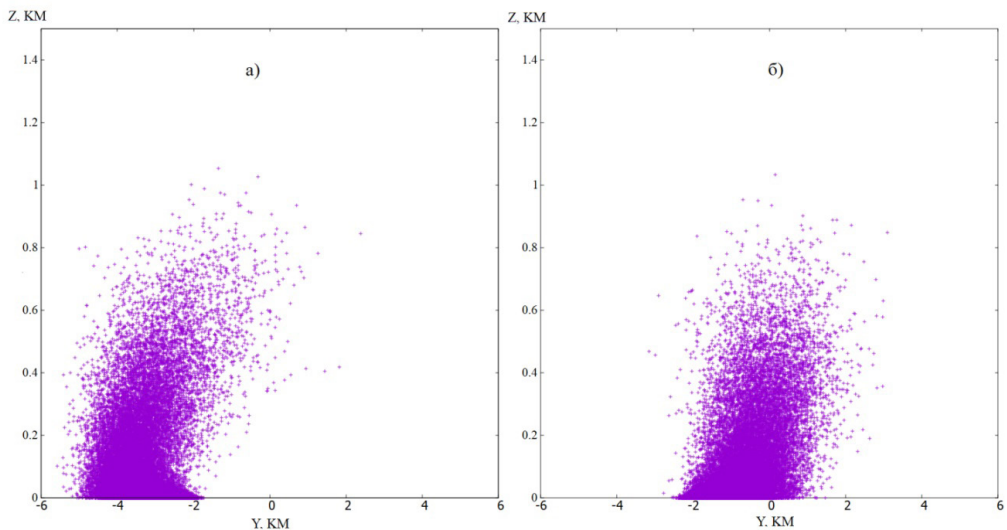


Рис. 1. Вертикальные распределения частиц выброса через 15 минут после начала выброса: а) с учетом бриза; б) без учета бриза. Ось Y направлена в сторону моря перпендикулярно берегу, ось Z – вертикально вверх. Точка $Y = 0$ соответствует границе раздела море-суша. Начальный ветер направлен вдоль положительного направления оси Y

с направлением $\varphi = \pi/2$ (см. (13)). Из рисунка видно, что если выброс происходит в процессе активного формирования бриза, то циркуляция уже в первые минуты распространяет примесь в направлении, отличном от того же при отсутствии бриза.

На рисунке 2 изображены распределения приземной концентрации вдоль горизонтальной линии, проходящей через источник, перпендикулярно берегу. На графиках видна разница положений максимума концентрации в расчетах с учетом и без учета бриза.

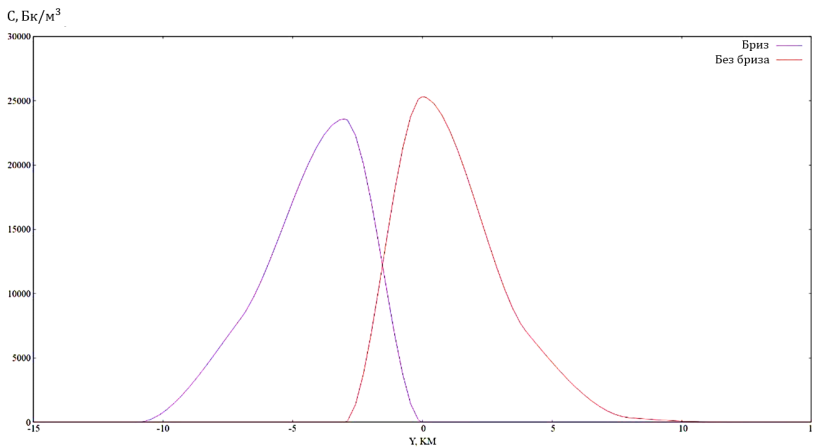


Рис. 2. Распределения приземной концентрации вдоль линии, перпендикулярной берегу. Точка $Y = 0$ соответствует береговой линии

Приведенные результаты моделирования демонстрируют влияние бризовой циркуляции на процесс переноса и рассеяния – в дневное время бризовый ветер может вызвать перенос примеси в сторону суши, даже если синоптический ветер направлен в сторону моря.

Расчеты показывают, что возникновение бриза меняет направление невозмущенного ветра, провоцируя распространение примеси вглубь суши. Даже если направление синоптического ветра совпадает с направлением бризовой составляющей, то масштаб этого различия сохраняется, так как в этом случае фоновый поток будет усиливать циркуляцию.

Заключение

В работе предложен способ учета бризовой составляющей при аварийном моделировании процессов атмосферного переноса и рассеяния радиоактивной примеси на основе разработанной модели бризовой циркуляции.

Выполненная оценка влияния бризовой циркуляции на процессы атмосферного переноса и рассеяния загрязняющего вещества в атмосфере показывает, что учет бризовой циркуляции при моделировании дает картину распределения концентрации примеси в атмосфере, существенно отличающуюся от картины, получаемой без учета циркуляции. Из этого факта следует вывод о необходимости учета возможности возникновения бриза при расчете процессов переноса и рассеяния примесей в атмосфере.

Расчетная модель бризовой циркуляции ориентирована на получение необходимых поправок полей ветра, обусловленных явлением бриза. Она использует стандартные оперативные метеоданные и может быть реализована на персональном компьютере в составе существующих оперативных систем поддержки принятия решений в условиях радиационной аварии.

При практическом использовании модели расчет бризовой циркуляции целесообразно начинать после решения вопроса о возможности возникновения бриза в условиях аварии. Имеются разные критерии, с помощью которых на основании входных

данных можно предсказать возникновение бриза [3]. Наиболее распространенным критерием является величина $\varepsilon = \frac{|U|^2}{c_p \Delta T}$, где $|U|$ – характерный модуль скорости приземного ветра, ΔT – средняя разница температуры между морем и сушей. Уменьшению ε соответствует увеличение вероятности возникновения бриза и возможной глубины его распространения на сушу. Исследования показали [3], что критическое значение ε , выше которого бриз не возникает, находится в диапазоне от 2,7 до 3,2.

Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам ФИАЦ Росгидромета в составе НПО «Тайфун» за содействие работе и предоставление ряда необходимых сведений по заявленной в статье проблематике и использованным расчетным методикам.

Литература

1. Букринский А.М. Безопасность атомных электростанций по федеральным нормам и правилам России и стандартам МАГАТЭ. М.: НТЦ ЯРБ, 2007.
2. Косых В.С., Бородин Р.В., Корнейчук Н.А. RECASS: система информационной поддержки принятия решений в случае аварийных ситуаций на радиационно и химически опасных объектах. *Проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Сборник статей. Том III*. ГУ «НПО «Тайфун», Обнинск, 2010, с. 24–35.
3. Miller T.K., Keim B.D., Talbot R.W., Mao H. Sea breeze: structure, forecasting and impacts. *Reviews of Geophysics*. 2003;41:1–31. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003RG000124>
4. РД 52.18.717–2009. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. Обнинск, ООО «ПРИНТ-СЕРВИС», 2009, 113 с.
5. Pielke R.A. A three-dimensional numerical model of the sea breezes over south Florida. *Monthly Weather Review*. 1974;102:115–139. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1974\)102<0115:ATDNMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1974)102<0115:ATDNMO>2.0.CO;2)
6. Segal M., Pielke R.A., Mahrer Y. Evaluation of onshore pollutant recirculation over the Mediterranean coastal area of central Israel. *Israel Journal of Earth-Sciences*. 1982;31:39–46.
7. Pielke R.A., McNider R.T., Segal M., Mahrer Y. The use of a mesoscale numerical model for evaluations of pollutant transport and diffusion in coastal regions and over irregular terrain. *Bulletin of American Meteorological Society*. 1983;64:243–249. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1983\)064<0243:TUOAMN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1983)064<0243:TUOAMN>2.0.CO;2)
8. Govett M., Rosinski J. Parallelization and Performance of the NIM Weather Model on CPU, GPU and MIC Processors. *Bulletin of American Meteorological Society*. 2017;98(10):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00278.1>
9. Костриков А.А., Новицкий М.А. Численное моделирование распространения примеси от точечного источника в условиях бризовой циркуляции. *Труды ИЗМ*, 1986;37(120):25–38.

Поступила в редакцию 16.12.2024

После доработки 17.09.2025

Принята к опубликованию 03.10.2025

Автор

Гуляев Дмитрий Юрьевич, аспирант

E-mail: valeriy.148@yandex.ru

UDC 551.556.4

Influence of Sea Breeze Circulation on Atmospheric Transport and Dispersion of Radioactive Emissions**Gulyaev D.Yu.**

OINPE MPhI,

1 Studgorodok, 249039 Obninsk, Kaluga reg., Russia

Abstract

The article presents the results of numerical modeling of pollutant dispersion in the atmosphere under conditions of sea breeze circulation. The goal is to assess influence of sea breeze circulation on the atmospheric transport and dispersion of radioactive releases. This assessment is essential to justify the inclusion of sea breeze effects in the computational algorithms of computer decision support systems designed for the analysis and forecasting of emergency events at nuclear power plants. The article provides detailed description of the mathematical model of sea breeze circulation used. The model is based on a system of thermohydrodynamic differential equations of the atmosphere with specific boundary conditions simulate the properties of sea breeze circulation. These properties include sea breeze generation due to the sea-land surface temperature difference and the time periodic nature of circulation related to the change of day and night. Special attention is given to the description of the input data set necessary for model initialization, the values of which are obtained from external meteorological and geoinformation data sources. The pollutant transport and dispersion is modeled with using the calculated wind field by the random walk method. Distributions of concentration are presented, both accounting for and without the sea breeze in the model. The results demonstrate sea breeze circulation to form the concentration distribution significantly different compared to the scenario without circulation. The main difference is that during the daytime, the sea breeze always moves pollutants inland, unlike the undisturbed wind. The provided assessment justifies the necessity of including elements that account for sea breeze effects in the meteorological processor of the DSS RECASS NT.

Keywords: sea breeze circulation, atmospheric pollutant transport, meteorological processor

For citation: Gulyaev D.Yu. Influence of Sea Breeze Circulation on Atmospheric Transport and Dispersion of Radioactive Emissions. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2025;4:127–137. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.4.09> (in Russian).

References

1. Bukrinsky A.M. Safety of nuclear power plants according to federal norms and regulations of Russia and IAEA standards. Moscow, SEC NRS, 2007 (in Russian).
2. Kosykh V.S., Borodin R.V., Korneichuk N.A. RECASS: information support system for decision-making in emergency situations at radiation and chemically hazardous objects. *Problems of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Collection of articles. Volume III*. RPA «Typhoon», Obninsk, 2010, pp.24–35 (in Russian).

3. Miller T.K., Keim B.D., Talbot R.W., Mao H. Sea breeze: structure, forecasting and impacts. *Reviews of Geophysics*. 2003;41:1–31. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003RG000124>
4. RD 52.18.717–2009. Methodology for calculating the dispersion of pollutants in the atmosphere during emergency emissions. Obninsk, Print-Service Publ., 2009, 113 p. (in Russian)
5. Pielke R.A. A three-dimensional numerical model of the sea breezes over south Florida. *Monthly Weather Review*. 1974;102:115–139. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1974\)102<0115:ATDNMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1974)102<0115:ATDNMO>2.0.CO;2)
6. Segal M., Pielke R.A., Mahrer Y. Evaluation of onshore pollutant recirculation over the Mediterranean coastal area of central Israel. *Israel Journal of Earth-Sciences*. 1982;31:39–46.
7. Pielke R.A., McNider R.T., Segal M., Mahrer Y. The use of a mesoscale numerical model for evaluations of pollutant transport and diffusion in coastal regions and over irregular terrain. *Bulletin of American Meteorological Society*. 1983;64:243–249. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1983\)064<0243:TUOAMN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1983)064<0243:TUOAMN>2.0.CO;2)
8. Govett M., Rosinski J. Parallelization and Performance of the NIM Weather Model on CPU, GPU and MIC Processors. *Bulletin of American Meteorological Society*. 2017;98(10):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00278.1>
9. Kostrikov A.A., Novitsky M.A. Numerical modeling of pollutant dispersion from a point source under sea breeze circulation. *Trudi IEM*. 1986;37(120):25–38 (in Russian).

Author

Dmitry Yu. Gulyaev, PhD student,
E-mail: valeriy.148@yandex.ru