

М.В. Кустов, к.т.н., доцент, НУГЗУ

ДОПОЛНЕНИЯ К МЕТОДИКАМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ХИМИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

В работе проанализированы различные методы моделирования процессов абсорбции газов каплями дождя и гравитационной коагуляции радиоактивных аэрозолей. На основе разработанных ранее математических моделей рассчитаны поправочные коэффициенты для оценки размеров зон загрязнения при выпадении над зоной выброса атмосферных осадков. Полученные результаты сведены в таблицы для использования в методике прогнозирования зон загрязнения.

Ключевые слова: атмосферные осадки, зона химического загрязнения, зона радиационного заражения, абсорбция газа, осаждение аэрозоля, методика прогнозирования.

Постановка проблемы. При проектировании территории застройки химически опасных объектов и предприятий атомной энергетики относительно населенных пунктов и жилых массивов необходимым является оперативное прогнозирование зон возможного химического или радиоактивного заражения. Не мене важную роль играет и аварийное прогнозирование зон загрязнения при возникновении аварии на предприятии для правильной организации эвакуации населения и аварийно-спасательных работ. На размеры зоны химического и радиационного загрязнения влияют масштаб возникшей или прогнозируемой аварии, вид опасного вещества, выбрасываемого в атмосферу и метеорологические условия. Среди метеоусловий, кроме температуры воздуха, скорости и направления ветра, важную роль оказывает наличие и интенсивность осадков над зоной загрязнения. Исходя из этого, проблемой, подлежащей разрешению, является учет интенсивности атмосферных осадков над зоной чрезвычайной ситуации на размеры зон химического и радиационного загрязнения.

Анализ последних исследований и публикаций. Приказом № 73/82/64/122 от 27.03.2001 года утверждена «Методика прогнозирования последствий разлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте» [1]. Согласно данной методике при расчете размеров зоны химического загрязнения учитывается количество выброшенного химического вещества (хлор, аммиак, сернистый ангидрид сероводород, сероуглерод, соляная кислота, хлорпикрин, формальдегид), характер разлива (наличие или отсутствие обвалования), температура, направление и степень верти-

кальной стойкости воздуха. Методика расчета зон радиационного загрязнения при возникновении аварий на объектах атомной энергетики в Украине законодательно не утверждена. В практических подразделениях ГСЧС Украины при расчетах пользуются методикой 1988 года [2]. Данная методика, аналогично методике [1], из метеорологических факторов учитывает лишь температуру, направление и степень вертикальной стойкости воздуха. При этом известно, что атмосферные осадки способны эффективно сорбировать опасные химические и радиоактивные вещества и осаждают их из атмосферы [3-6]. Соответственно наличие осадков над зоной выброса может существенно уменьшить размеры зоны загрязнения и снизить затраты на проведение эвакуационных и аварийно-спасательных работ. Интенсивность очистки атмосферы осадками зависит от интенсивности осадков и физико-химических свойств осаждаемых веществ [7, 8]. В работе [9] проведен анализ моделей, описывающих процесс абсорбции газов каплями воды. Модель вымывания твердых аэрозольных частиц, которые являются основными носителями радионуклидов, рассмотрена в работе [10]. Однако, общей методике, позволяющей использовать теоретические результаты на практике, на данный момент не создано.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является разработка дополнений к методикам прогнозирования зон химического и радиационного загрязнения территории с учетом возможных атмосферных осадков различной интенсивности.

В качестве объекта осаднения при возникновении химической аварии рассмотрим хлор и аммиак. Эти вещества при нормальных условиях находятся в газообразном виде и могут распространяться воздушными потоками на большие расстояния. Запасы хлора и аммиака на территории Украины достаточно велики (табл. 1), что повышает вероятность возникновения аварий. Также эти вещества относятся к первому классу опасности.

Табл. 1. Запасы хлора и аммиака на предприятиях Украины [11]

Опасное вещество	Количество на территории Украины, 10^3 т	Среднесуточная ПДК [12], мг/м ³
Аммиак (NH ₃)	178,4	0,04
Хлор (Cl ₂)	9,8	0,03

Значительное количество аммиака обусловлено пролеганием по территории Украины Международного аммиакопровода Тольятти–Одесса и крупных предприятий химической промышленности в Донецкой, Луганской, Черкасской и Одесской областях. Большое количество хлора связано с наличием в каждой административно-территориальной единице водоочистных сооружений.

Сравнительный анализ радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате аварий на атомных электростанциях в Чернобыле и в Фукусиме, проведен в работе [13]. Химический и количественный состав радионуклидов, выброшенных в атмосферу при этих авариях различен. В первую очередь это связано с различными типами ядерных реакторов, характером разрушения и составом ядерного топлива.

Большое количество тугоплавких элементов в выбросах при Чернобыльской аварии и практически их отсутствие при аварии в Фукусиме связано с тем, что при Чернобыльской аварии произошло разрушение активной зоны реактора с выбросом радиоактивного топлива. Кроме этого Чернобыльская авария характеризуется высокотемпературной стадией аварии, что привело к образованию дополнительного количества цезия. При аварии в Фукусиме выброса частей радиоактивного топлива и радиоактивного графита не произошло, а оплавленные топливные элементы скапливались в ловушке.

Большая часть радионуклидов находится в твердом состоянии в виде микрочастиц аэрозоля. Поэтому в плане исследования динамики очистки атмосферы от радиоактивных веществ целесообразно рассматривать не свойства отдельных радионуклидов, а свойства твердых микрочастиц аэрозоля, содержащих радионуклиды.

В зоне радиоактивного загрязнения от Чернобыльской аварии находится большое количество мелкодисперсных частиц оплавленного радиоактивного топлива, которые образовались в результате первого высокотемпературного взрыва и последующей стадии горения элементов реактора. Такие частицы называются «горячими частицами». Исследованию структуры топливных частиц посвящено много работ, например [14-16]. Горячие частицы представляют собой вкрапления частиц топливных элементов UO_2 в оболочке высших оксидов урана и циркония – U_xO_y , ZrU_xO_y .

Такие радионуклиды, как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{141,144}Ce$, $^{154,155}Eu$, $^{137,139}Np$, $^{238-242}Pu$, $^{241,243}Am$, $^{242,244}Cm$ были выброшены из аварийного блока только в составе топливных частиц. Более 90 % утечки активности $^{89,90}Sr$ и $^{103,106}Ru$ также приходилось на топливные частицы [18]. Дисперсный состав топливных частиц в первоначальных радиоактивных выпадениях на удалении (2 – 60) км от ЧАЭС описывается логнормальным законом распределения с медианным радиусом топливных частиц около 3 мкм [16].

Для Чернобыльской аварии характерен выброс большого количества радиоактивного графита. Степень накопления ^{14}C в графите зависит от времени эксплуатации реактора. Для графита 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС удельная активность графита по радионуклиду ^{14}C составляла $10^7 - 10^8 Bq \cdot kg^{-1}$. Учитывая то, что при Чернобыльской аварии в окружающую среду было выброшено более 800 тонн радиоак-

тивного графита, это представляет большую угрозу экологической безопасности региона. При этом часть графита в виде мелкодисперсного аэрозоля попала в атмосферу и воздушными потоками распространилась на большую территорию. Частицы графита, как высокопористого вещества, в своей структуре могут содержать и микрочастицы радиоактивного топлива и практически весь спектр радионуклидов. Поэтому под радиоактивным графитом следует понимать графитовый каркас с вкраплениями радиоактивных веществ, их оксидов и их оксидных комплексов.

Таким образом, при моделировании процесса осаждения радиоактивных веществ, в качестве объекта осаждения атмосферными осадками будем рассматривать твердые аэрозольные частицы оксидов урана, графита и пыли (SiO_2).

Согласно методике [1] геометрические размеры зоны загрязнения определяются глубиной зоны загрязнения Γ :

– площадь зоны возможного химического загрязнения

$$S_{\text{звхз}} = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi; \quad (1)$$

– площадь прогнозируемой зоны химического заражения

$$S_{\text{пзхз}} = K \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2}, \quad (2)$$

где φ – коэффициент, который условно равняется угловому размеру; K – коэффициент, который зависит от степени вертикальной стойкости воздуха; N – время, на которое рассчитывается глубина зоны.

Площадь и ширина прогнозируемой зоны химического заражения зависит от степени вертикальной стойкости воздуха, которая в зависимости от отношения температур воздуха и поверхности земли разделяется на конвекцию, инверсию и изотермию. Облачная погода, при которой и выпадают осадки, согласно Методике, соответствует инверсии. Как видно из зависимостей (1), (2), размеры зоны заражения определяются её глубиной. Для простоты использования методики в практической деятельности значения глубины зоны химического заражения просчитаны для определённой скорости ветра и для конкретного химического вещества. Наличие осадков над зоной загрязнения учитывается путем введения поправочного коэффициента k

$$\Gamma_{\text{осадки}} = \Gamma \cdot k. \quad (3)$$

Так как зона загрязнения может иметь протяженность до 100 км, то осадки могут выпадать не над всей зоной. Поэтому предложено разбить зону загрязнения на три участка (рис. 1), по области выпадения осадков.

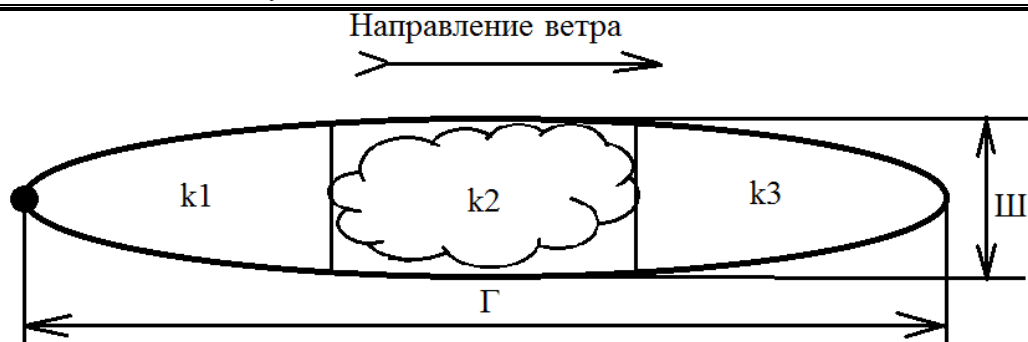


Рис. 1. Схема области загрязнения по зонам выпадения осадков: k_i – поправочные коэффициенты для конкретной зоны выпадения осадков

Тот же принцип заложен и в методике прогнозирования зон радиоактивного загрязнения. Единственное отличие заключается в методе определения ширины зоны загрязнения. Если в методике [1], для химического загрязнения ширина зоны рассчитывается на основе данных глубины зоны, то при оценке размеров зон радиоактивного загрязнения [2], ширина зоны уже приводится в вычисленном табличном виде.

Так как концентрация опасного вещества при удалении от очага выбросы снижается, то и поправочные коэффициенты различны по зонам. Осадки могут выпадать и в нескольких зонах (рис. 1) одновременно, при этом поправочные коэффициенты складываются

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}. \quad (4)$$

Соответственно, при отсутствии осадков над определенной зоной, поправочный коэффициент для этой зоны равен единице. Разбивка на зоны позволит учесть неравномерность осадков по зоне загрязнения, при этом не усложняя методику прогнозирования.

Поправочные коэффициенты k_i рассчитывались из соотношения:

$$k_i = \frac{\Gamma'_{i(\text{осадки})}}{\Gamma}, \quad (5)$$

где $\Gamma'_{i(\text{осадки})}$ – глубины зоны загрязнения при выпадении осадков над i -той зоной, рассчитанная с использованием моделей динамики осажде-ния загрязнений осадками.

Глубина зоны определяется как расстояние от источника выбро-са до точки, в которой концентрация опасного вещества достигает предельно допустимой концентрации (ПДК). Соответственно нам необходимо найти распределение концентрации опасного вещества по направлению ветра ($C_g(x)$) с граничным условием

$$x = \Gamma, C_g(\Gamma) = C_{\text{ПДК}}.$$

Основным документом, регламентирующим рассеивание и определение приземных концентраций примесей из источников выбросов в Украине, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86». По данной методике и определяется начальное (до выпадения осадков) распределение концентраций по направлению ветра ($C_g(x)$ и $C_a(x)$). Методика ОНД-86 использовалась и для расчетов Γ и Π в методиках [1, 2]

$$\Gamma = \sqrt{153,4 + \frac{64 \cdot M \cdot \eta}{V \cdot C_{\text{пдк}}}} - 12,5, \quad (6)$$

где M – интенсивность поступления опасного вещества в атмосферу; η – коэффициент, зависящий от рельефа местности (для горизонтальной поверхности $\eta = 1$); V – скорость ветра.

Ниже рассмотрим существующие подходы к описанию динамики осаждения газообразных и аэрозольных веществ жидким аэрозолем (в нашем случае дождем).

Кинетика абсорбции газа жидкими аэрозолями является достаточно сложной и многофакторной. На сегодняшний день существует три принципиально разных теоретических подхода к решению этой задачи. Эти подходы различаются уровнем точности решения, количеством затраченного необходимого расчетного времени, количеством входных данных и необходимостью предварительных экспериментальных исследований.

Наиболее широкое применение в практической деятельности для проектирования технологических процессов приобрела модель расчета процесса абсорбции с использованием теории подобия и, соответственно, критериальных уравнений [4]. Критерии подобия позволяют учесть большинство физико-химических особенностей процесса абсорбции. Однако конкретный вид критериального уравнения определяется для конкретной ситуации на основе большого массива экспериментальных данных и не всегда соответствует другим условиям процесса. Таким образом, метод расчета процесса абсорбции газов с использованием теории подобия является достаточно простым, однако имеет ограничения по области применения и значительную погрешность при варьировании условий процесса абсорбции.

Для повышения точности математического описания процесса абсорбции и универсальности расчетных методов в последнее время широкое распространение приобрели симуляционные модели.

При этом существует два различных подхода к построению моделей – кинетическая многослойная модель (kinetic multilayer model for gas–particle (KM-GAP)) [17] и модель расчета молекулярной дина-

мики (molecular dynamics (MD) simulations) [18, 19]. Модель MD працює на спеціальній платформі комп'ютерного розрахуку GROMACS з додатковою налаштуванням для розрахуку абсорбції рідкими аерозолями TIP4P-Ew. В роботі [9] проведено порівняльний аналіз таких моделей і отримано висока ступінь збіжності результатів розрахуку. І хоча для більшості математических моделей в комплексах моделювання КМ-GAP і MD приймаються деякі допущення, спрощуючі розрахуку, дані моделі є на сьогоднішній день найбільш точними методами чисельного розрахуку швидкості абсорбції газу рідиною. При цьому більш широкий діапазон початкових параметрів дозволяє взяти до уваги кінетическа багатошарова модель.

Дана модель дозволяє визначити зміну концентрації газу в атмосфері через швидкість абсорбції V_{abs}

$$\frac{dC_g(x)}{d\tau} = V_{abs} \quad (7)$$

де C_g – концентрація газу в атмосфері; τ – час.

В відповідності з [17] математическе вираження для швидкості абсорбції має наступний вигляд

$$V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_{dif} \quad \text{или} \quad V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_r \quad (8)$$

де V_{col} – швидкість взаємодії молекул газу з краплями води; α – коефіцієнт, що визначає ймовірність поглинання молекул газу поверхнею крапель; K_{dif} – коефіцієнт, що визначає швидкість дифузії газу всередині краплі.

При протіканні хіміческої реакції абсорбованого газу в об'ємі краплі коефіцієнт K_{dif} замінюється на K_r – коефіцієнт, що враховує дифузійну реакцію молекул газу в краплі і швидкість хіміческої реакції газу з рідиною.

Частота зіткнень молекул газу з краплями аерозолю в визначених умовах

$$V_{col} = k_{col} \cdot C_{drop} \cdot C_g(x), \quad (9)$$

де C_{drop} – концентрація водяних крапель в повітрі; k_{col} – коефіцієнт зіткнення, що визначається через коефіцієнт дифузії газу в повітрі D і розміри крапель дощу R [17].

З рівнянь (7-9) отримано кінцеву формулу для визначення $\Gamma'_{i(осадки)}$ для газів

$$\Gamma'_{i(осадки)} = \sqrt{153,4 + \frac{64 \cdot k_{col} \cdot C_{drop} \cdot \tau \cdot M \cdot \eta}{n \cdot V \cdot C_{ПДК}}} - 12,5, \quad (10)$$

где n – коэффициент учета зоны выпадения осадков.

При условии нормального распределения выброса от источника:
 $i=1 \rightarrow n=0,75$; $i=2 \rightarrow n=0,36$; $i=3 \rightarrow n=0,12$.

Концентрация водяных капель (C_{drop}) и их размер (R) определяется интенсивностью осадков (I), который и является основным определяющим критерием интенсивности осаждения химически опасных веществ.

Используя существующие теоретические модели динамики сорбции опасных веществ атмосферными осадками, дополним существующие методики расчета зон химического и радиационного заражения через 1 час выпадения осадков (табл. 1, 2).

Так как ширина зоны гораздо меньше её длины, то для расчета ширины зоны радиационного загрязнения разбивка на зоны нецелесообразна. Также для простоты использования методик и скорости прогнозирования поправочные коэффициенты приведены в рассчитанном виде с определенным шагом интенсивности осадков.

Табл. 2. Поправочные коэффициенты для расчета глубины зоны химического загрязнения

Интенсивность осадков, мм·ч ⁻¹	Аммиак			Хлор		
	k1	k2	k3	k1	k2	k3
0,25	0,83	0,91	0,95	0,89	0,96	0,98
0,5	0,69	0,77	0,83	0,76	0,83	0,90
1	0,57	0,68	0,76	0,64	0,72	0,81
5	0,46	0,56	0,65	0,57	0,62	0,73
10	0,38	0,47	0,58	0,49	0,57	0,68
20	0,33	0,42	0,51	0,42	0,51	0,59
30	0,27	0,36	0,44	0,37	0,44	0,52
40	0,24	0,32	0,39	0,31	0,39	0,46
50	0,21	0,27	0,35	0,28	0,32	0,38
70	0,15	0,21	0,28	0,22	0,26	0,32
100	0,11	0,14	0,22	0,18	0,22	0,25

Табл. 3. Поправочные коэффициенты для расчета глубины и ширины зоны радиационного заражения

Интенсивность осадков, мм·ч ⁻¹	Глубина зоны			Ширина зоны
	k1	k2	k3	
0,25	0,78	0,89	0,92	0,97
0,5	0,65	0,77	0,83	0,91
1	0,57	0,65	0,71	0,85
5	0,46	0,53	0,62	0,79
10	0,35	0,44	0,56	0,72
20	0,30	0,37	0,45	0,66
30	0,23	0,30	0,39	0,61
40	0,19	0,22	0,32	0,57
50	0,16	0,18	0,26	0,53
70	0,10	0,13	0,21	0,42
100	0,08	0,09	0,17	0,34

Как видно из табл. 2, 3 наибольшее влияние на снижение размеров зоны загрязнения оказывают осадки над очагом выброса, где в атмосфере присутствует максимальная концентрация опасных веществ.

Из анализа полученных результатов видно, что интенсивность очистки атмосферы от аммиака выше чем от загрязнений хлора, что объясняется более высокой растворимостью аммиака в воде. Также следует отметить, что наличие обильных осадков над зоной выброса химически опасных веществ позволяет уменьшить ее размеры более чем в 8 раз. При радиационном загрязнении интенсивность очистки атмосферы осадками еще выше за счет высокой интенсивности сорбции твердых аэрозольных частиц. И хотя осадки, интенсивностью более $50 \text{ мм}\cdot\text{ч}^{-1}$, над территорией Украины крайне редкое явление, дожди средней интенсивности снижают глубину зоны заражения более чем в 2 раза.

Выводы. В работе проведен расчет поправочных коэффициентов для определения размеров зон химического и радиационного загрязнения при выпадении осадков. С целью повышения точности прогнозирования зона загрязнения разбита на три участка возможного выпадения осадков. Полученные результаты представлены в виде таблиц, которые можно использовать в качестве дополнения к существующим методикам расчета размеров зон радиационного и химического заражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наказ МНС України, Мінагрополітики України, Мінекономіки України, Мінекології України від 27.03.2001 року № 73/82/64/122 «Про затвердження методика прогнозування последствий розлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте»: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01/page>.

2. Методика по прогнозированию и оценке радиоактивного загрязнения воздуха, почвы, водных объектов, а также возможных доз облучения в случае радиационных аварий на атомных станциях для различных вариантов метеорологических условий. – М.: Госкомгидромет. – 1988. – 100 с.

3. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.

4. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия. – 1976. – 656 с.

5. Greenfield S.M. Rain scavenging of radioactive particulate matter from the atmosphere. *Journal of Meteorology*. – 1957. – № 14, p. 115-123, doi:10.1175/1520-0469(1957)014.

6. Kim, Y.-H. Influence of radioactivity on surface charging and aggregation kinetics of particles in the atmosphere / Y.-H. Kim, S. Yiacoumi,

I. Lee, J. McFarlane and C. Tsouris // *Environ. Sci. Technol.* – 2014. – № 48, p. 182–189, doi:10.1021/es4047439.

7. Slinn W.G.N. Precipitation scavenging, in: *Atmospheric Science and Power Production*, edited by: Randerson, D. Tech. Inf. Cent., Off. Of Sci. and Tech. Inf U.S. Dep. Of Energy, Washington, D.C. – 1984. – p. 466–532.

8. Fuchs N. A. *The Mechanics of Aerosols*, Dover Publications. – 1989. – p. 457.

9. Julin J. Mass Accommodation of Water: Bridging the Gap Between Molecular Dynamics Simulations and Kinetic Condensation Models / J. Julin, M. Shiraiwa, R. Miles, J. P. Reid, U. Pöschl, I. Riipinen // *J. Phys. Chem. A.* – 2013. – № 117. – pp. 410 – 420.

10. Loosmore G. Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data / G. Loosmore, R. Cederwall // *Atmospheric Environment.* – 2004. – № 38, pp. 993 – 1003, doi:10.1016/j.atmosenv.2003.10.055.

11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html.

12. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). ДСП 201-97. – [Діє від 1997-07-09]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 201. – 43 с.

13. Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E., 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts, *Science of the Total Environment*, 470–471, 800–817, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.029.

14. Ahamdach N. The Chernobyl pilot site project: isolation and microscopic characterisation of fuel particles. *Radioprotection-Colloques*, 2002. – № 37 (C1), pp. 1055 – 1060.

15. Kashparov V.A. Hot particles at Chernobyl. *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2003. – № 10 (1), pp. 21 – 30.

16. Kashparov, V.A. Formation of hot particles during the Chernobyl nuclear power plant accident / V.A. Kashparov, Yu.A. Ivanov, S.I. Zvarich, V.P. Protsak, Yu.V. Khomutinin, A.D. Kurepin, E.M. Pazukhin // *Nucl. Technol.* – 1996. – № 114, pp. 246 – 253.

17. Shiraiwa M. Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water / M. Shiraiwa, C. Pfrang, T. Koop, U. Pöschl // *Atmos. Chem. Phys.* – 2012. – № 12. – pp. 2777–2794.

18. Takaharu T. Molecular Dynamics Studies on the Condensation Coefficient of Water / T. Takaharu, T. Tsuruta, G. Nagayama // *J. Phys. Chem. B.* – 2004. – № 108(5). – pp. 1736–1743.

19. Gilde A. Molecular Dynamics Simulations of Water Transport through Butanol Films / A. Gilde , N. Siladke and C. P. Lawrence // J. Phys. Chem. A. – 2009. – № 113(30). – pp. 8586–8590.

М.В. Кустов

Доповнення до методики прогнозування зон хімічного і радіаційного забруднення території

У роботі проаналізовані різні методи моделювання процесів абсорбції газів краплями дощу і гравітаційної коагуляції радіоактивних аерозолів. На основі розглянутих раніше математичних моделей розраховані поправочні коефіцієнти для оцінки розмірів зон забруднення при випадінні атмосферних опадів над зоною викиду. Отримані результати зведені в таблиці для використання в методиці прогнозування зон забруднення.

Ключові слова: атмосферні опади, зона хімічного забруднення, зона радіаційного забруднення, абсорбція газу, осадження аерозолу, методика прогнозування.

M.V. Kustov

Additions to areas forecasting techniques chemical and radioactive contamination of the territory

The paper analyzes simulation methods to the description of gases absorption processes in raindrops and gravitational coagulation of radioactive aerosols. On the basis of mathematical models calculated correction factors to estimate the size of the pollution zones with the precipitation over the area. The results are tabulated for use in the methods of zones of contamination.

Keywords: atmospheric precipitations, chemical pollution, area pollution, the gas absorption, aerosol deposition, the method of predicting.