



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

На правах рукописи

КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ
АТОМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (№1)

АРНАК АБДУЛКАДИР

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА СПЕЦИАЛИСТА

Развитие Моделей Вымывания Радиоактивных Аэрозолей Из Атмосферы

Направление подготовки 14.05.02

«Атомные станции, проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

Выпускная квалификационная
работа защищена

«__» _____ 2021 г.

Оценка _____

Секретарь ГЭК - _____

г. Москва - 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ
АТОМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (№1)

АРНАК АБДУЛКАДИР

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ НА ТЕМУ

Развитие Моделей Вымывания Радиоактивных Аэрозолей Из Атмосферы

Студент-дипломник _____ / Арнак Абдулкадир /

Форма обучения: _____ / Очная (дневная) /

Руководитель работы: _____ / Доцент, к.ф.-м.н. Припачкин Д.А. /

Рецензент _____ //

Заведующий

кафедрой №1: _____ / Доцент, к.ф.-м.н. Демин В.М. /

г. Москва - 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
1)ВВЕДЕНИЕ	4
2)ГАУССОВА МОДЕЛЬ	8
2.1) Фактор Разбавления	9
2.2) Коэффициенты Вертикальной и Поперечной Дисперсии	10
2.3) Функция Истощения	12
2.4) Расчет Коэффициента Вымывания В Гауссовой Модели	13
3) ПРЕДЛОЖЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЫМЫВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ	14
3.1) Эффективность Захвата	14
3.2) Коэффициент Вымывания	16
4) МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	30

1) ВВЕДЕНИЕ

Удаление аэрозолей из атмосферы происходит в основном в результате вымывания частиц облаками, туманами и осадками. Большинство газовых примесей особенно активно удаляется из атмосферы в результате адсорбции на водных каплях и увлажненных поверхностях [7]. Одним из главных процессов удаления как аэрозольных частиц, так и газовых примесей из атмосферы в почву является очищение воздуха осадками. Такое удаление принято разделять на два типа: внутриоблачное и подоблачное. Внутриоблачное вымывание — это когда вещество, которое вымывается или принимает участие в образовании капли облака является ядром конденсации или захватывается каплями облака на этапе их развития, когда они еще не превратились в падающее дождевые капли. Подоблачное вымывание это когда дождевая капля захватывает вещество на всем пути полета до контакта с поверхностью [5]. В случаях среднемасштабного переноса при приземных искусственных аэрозолей в атмосферу подоблачное вымывание является более преобладающим механизмом.

Вымывание в подоблачном слое зависит от нескольких факторов как интенсивность дождя, размер дождевых капель и аэрозольных частиц.

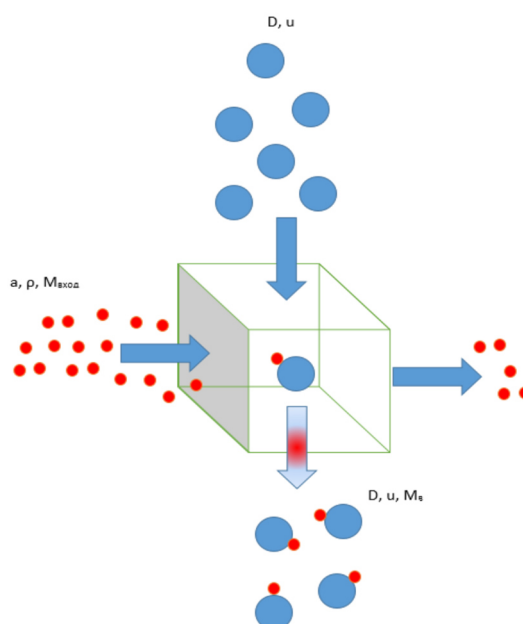


Рис. 1 Процесс вымывание аэрозольных частиц дождевыми каплями

Основной параметр в определении подоблачного вымывания это *коэффициент вымывания* A , $1/c$. Он равен отношению скорости накопления аэрозольных частиц в выпавших осадках к среднему количеству частиц в облаке за время выпадения осадков. Результаты расчетов и экспериментальных показали что коэффициент вымывания A зависит от *эффективности захвата* E и от скорости капли падения u , $m/c[1]$.

Эффективность захвата E является функцией многих параметров. Когда дождевая капля переходит через некоторый объем воздуха, часть воздуха расходится перед ним, увлекая за собой аэрозоли. Однако, некоторая доля аэрозолей из-за инерции, электрического притяжения или молекулярной диффузии пересечет линии тока и столкнется с каплей. Эта доля называется эффективностью столкновения. Контакт с телом еще не гарантирует захвата частицы. Некоторая часть частиц может отскочить от капли и вновь может быть вовлечена в потоке воздуха. Доля всех частиц столкнувшихся с каплей, которая осталась на ней, называется эффективностью прилипания. Произведение эффективностей столкновения и прилипания дает коэффициент захвата данных частиц. Коэффициент захвата при полном прилипании выражается функциональной зависимостью $E=f(d,D)[1]$.

Осадки (дождь, снег) не только принимают участие в вымывании аэрозольных частиц, но и влияют на радиационный фон окружающей среды (в основном γ -фон). Одна из вариации γ - фона связывают атмосферным радоном. Радон, выходящий ночью из грунта остается около земной поверхности пока воздух холодный, при этом γ - излучающее дочерные продукты (ДПР) радона увеличивают общий γ -фон приземной атмосферы. Днем, под действием солнечных лучей воздух нагревается, что приводит к снижению концентрации радона у земной поверхности и соответственно, γ -фона. Осадки играют главную роль в вариациях атмосферного γ - фона и приводят к кратковременным скачкообразным увеличениям (всплескам) в регистрируемых характеристиках поля γ - излучения на 125% и даже до 7 раз. Для описания этого феномена за рубежом даже придумали специальный термин «radon washout» (вымывание

радона), означающий вымывание γ -излучающих ДПР радона и торона осадками на поверхность земли. Однако, ожидаемой значимой связи между интенсивностью осадков и мощностью дозы γ -излучения до сих пор не было выявлено [8].

Атмосферные осадки имеют большое значение в определении того, насколько загрязнены территории земли в результате радиоактивных аварии (например, Чернобыльская Авария). Процессы выпадения дождя (захват штормовой системой) и вымывание (дождь, идущий сквозь загрязненные массы воздуха) являются важными механизмами переноса выброшенного материала на землю.

В 01:23:47 в субботу 26 апреля 1986 года на 4-м энергоблоке ЧАЭС произошел взрыв, который полностью разрушил реактор. В результате аварии произошел выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Эти радиоактивные вещества распространялись в виде аэрозолей, которые постепенно осаждались на поверхность земли. Это осадение произошло основном в виде дождя [3].

В результате Чернобыльской аварии образовалось три основных очага загрязнения, которые получили названия Центральный, Брянско-Белорусский, и так же очаг в районе Калуги, Тулы и Орла (рис 1.1) [10].

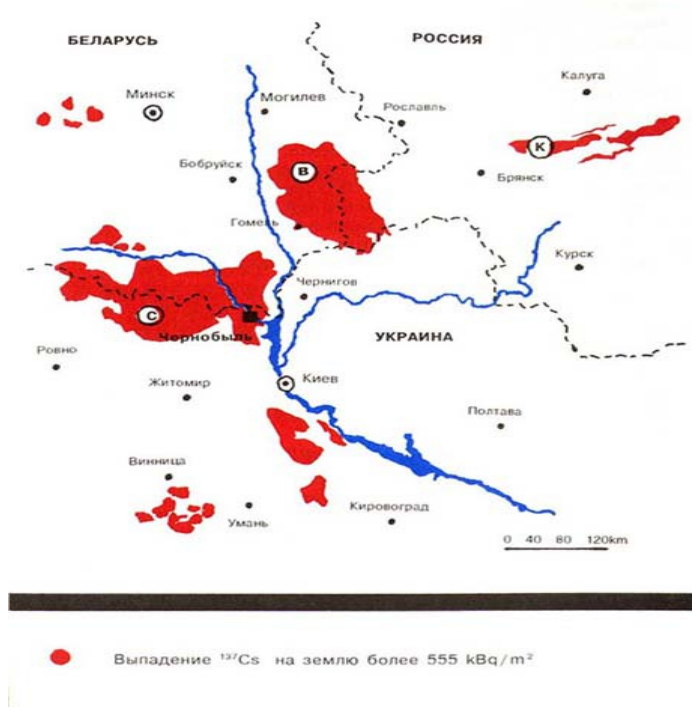


Рис 1.1 Основные очаги загрязнения

Анализы данных об осадках в широкой зоне вокруг мест аварии показывают что в Гомельской, Могилевской и Брянской областях до 28 апреля дождей не было. Интенсивные дожди выпали именно 28 апреля (до 7 – 10 мм за сутки) и 29 апреля (около 2 – 3 мм в сутки). Очаг Брянск-Беларусь, центральная точка которого находится в 200 км к северо-востоку от реактора, был сформирован в результате этих дождей на границе Брянского района России и Гомельского и Могилевского района Беларуси. Выпадения ^{137}Cs на землю на наиболее загрязненных территориях в этом очаге было сравнимо с уровнями в Центральном Очаге (1500 кБк/м²) (рис1.2) и они достигали 500 кБк/м² в некоторых деревнях. Центр очага Калуга-Тула-Орел в России находился в 500 км к северо-востоку от реактора, что было вызвано тем же самым радиоактивным облаком, которое явилось причиной появления очага Брянск-Беларусь. Очаг Калуга-Тула-Орел появился в результате такого же дождя, прошедшего 28-29 апреля. Однако уровни выпадения ^{137}Cs были в этом случае меньше, составляя менее чем 600 кБк/м² [10].

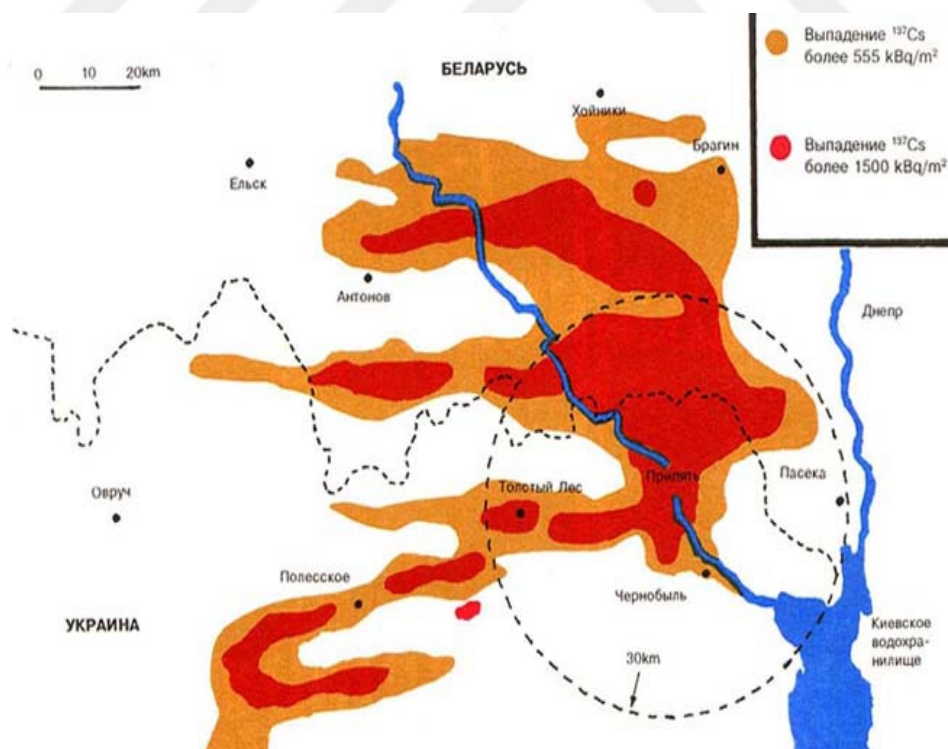


Рис 1.2 Центральный очаг

2) ГАУССОВА МОДЕЛЬ РАССЕЙЕНИЯ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

Радиоактивный выброс в атмосфере распространяется с дисперсией, которой является комбинация переноса и диффузии. Гауссова модель является простейшей моделью для расчета приземных концентрации примесей, создаваемых промышленными источниками [2].

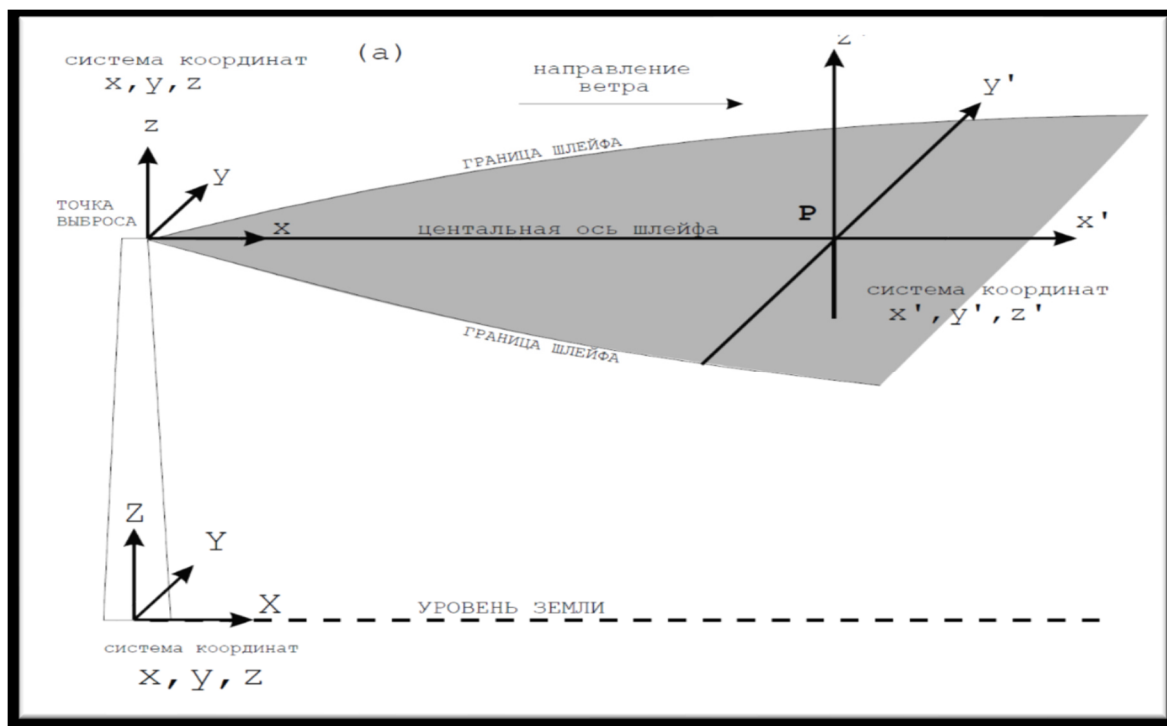


Рис 2.1 Схематическое изображения системы координат

2.1) Расчет Фактора Разбавления

Пространственное распределение концентрации загрязняющей примеси от точечного источника при кратковременном выбросе для постоянного ветра, направленного вдоль оси x вычисляется фактором разбавления G , $\text{с}/\text{м}^3$;

$$G(x, y, z) = \frac{F(x)}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot u} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y(x)^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

где x, y, z – эйлеровы координаты (рис 2.1), u – скорость ветра $\text{м}/\text{с}$, t – время, прошедшее после выброса, h – высота облака выброса над землей на расстоянии

x от выброса, $F(x)$ – функция истощения облака, $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ – стандартное отклонение распределения примеси в облаке выброса в направлении соответствующих осей (рис 2.2)[2].

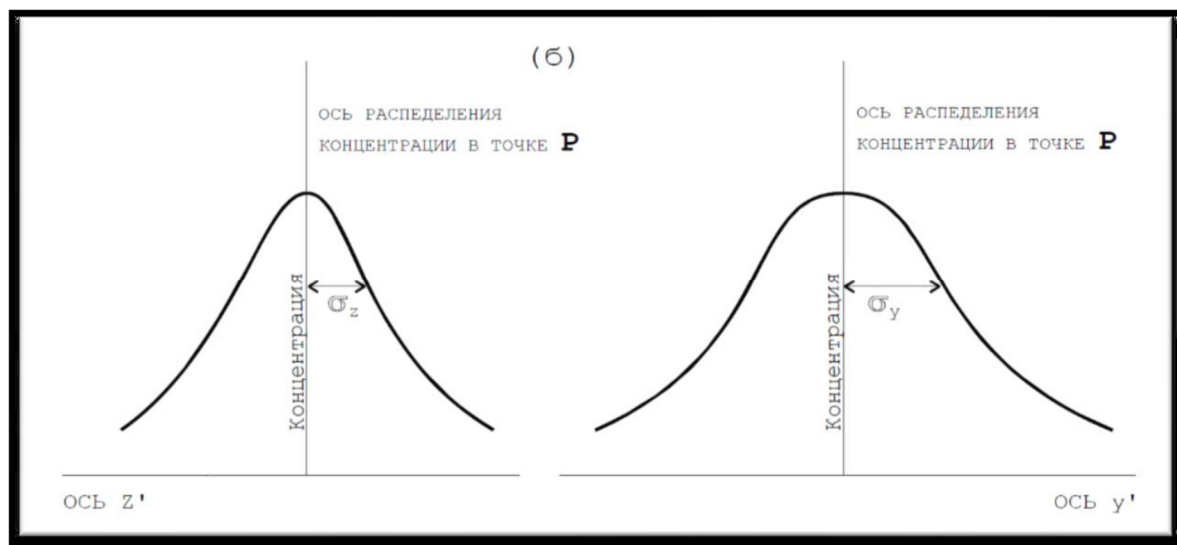


Рис 2.2 Изображения параметров дисперсии струи $\sigma_y(x)$ $\sigma_z(x)$

Эти величины показывают что как меняется ширина струи с увеличением расстояния x от источника выброса. Их вид и величина зависят от погодных условий.

Фактор разбавления на уровне земли при $z=0$, c/m^3 ;

$$G(x, y, 0) = \frac{F(x)}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot u} \cdot \exp \left[-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y(x)^2} - \frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z(x)^2} \right] \quad (2)$$

Фактор разбавления на оси струи при $y=0$ и $z=0$, c/m^3 ;

$$G(x, 0, 0) = \frac{F(x)}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp \left[-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \quad (3)$$

2.2) Определения Коэффициентов Вертикальной и Поперечной Дисперсии

Поперечная и вертикальная дисперсия определяется по следующим формулам;

$$\sigma_y(x) = c_3 \cdot \frac{x}{\sqrt{1 + 0.0001 \cdot x}}$$

$$\sigma_z(x) = \begin{cases} f(z_0, x) \cdot g(x) & \text{при } f(z_0, x) \cdot g(x) \leq \sigma_z^{max} \\ \sigma_z^{max} & \text{при } f(z_0, x) \cdot g(x) > \sigma_z^{max} \end{cases}$$

$f(z_0, x)$ и $g(x)$ определяются по формулам;

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln[c_1 \cdot x^{d_1} \cdot (1 + c_2 \cdot x^{d_2})] & \text{при } z_0 > 10 \text{ м} \\ \ln \frac{c_1 \cdot x^{d_1}}{1 + c_2 \cdot x^{d_2}} & \text{при } z_0 < 10 \text{ м} \end{cases}$$

$$g(x) = \frac{a_1 \cdot x^{b_1}}{1 + a_2 \cdot x^{b_2}}$$

где σ_z^{max} – предельное значение для $\sigma_z(x)$ для данной категории устойчивости

Таблица 2.1

Значения верхней границы σ_z^{max} для различных категории устойчивости

Категория по Пасквиллу	А	В	С	Д	Е	Ф
σ_z^{max} , м	1600	920	640	400	220	100

Таблица 2.2

Коэффициенты используемые для поперечной дисперсии струи σ_y для различных категории устойчивости атмосферы

Категория По Пасквиллу	с3	Категория По Пасквиллу	с3	Категория По Пасквиллу	с3
А	0,22	С	0,11	Е	0,06
В	0,16	Д	0,08	Ф	0,04

Таблица 2.3

Коэффициенты функции $g(x)$, используемые для расчета дисперсии σ_z для различных категории устойчивости

Категория Устойчивости По Пасквиллу	a_1	b_1	a_2	b_2
A	0,112	1,06	5.38E-04	0,815
B	0,130	0,950	6.52E-04	0,750
C	0,112	0,920	9.05E-04	0,718
D	0,098	0,889	1.35E-03	0,688
E	0,0609	0,895	1.96E-03	0,684
F	0,0638	0,783	1.36E-03	0,672

Таблица 2.4

Коэффициенты функции $f(z_0, x)$ модифицирующие σ_z для различной высоты шероховатости z_0

Высота шероховатости z_0, cm	c_1	d_1	c_2	d_2
1	1,56	0,0408	6.25E-04	0,45
4	2,02	0,0269	7.76E-04	0,37
10	2,73	0	0	0
40	5,16	-0,098	5.38E-02	0,225
100	7,37	-0,00957	2.33E-04	0,60

2.3) Расчет Функции Истощения Облака Выброса

В процессе рассеяния движения интегральное содержание примеси в облаке выброса может уменьшаться за счет радиоактивного распада, сухого оседания на поверхность земли и вымывание осадками (мокрого оседания).

Функция истощения радиоактивного распада

$$F_{\text{рад}}(x) = \exp(-\lambda \cdot x/u) \quad (4)$$

где λ – постоянная радиоактивного распада с^{-1}

u – скорость ветра м/с

Заметим что $(x/u)=t$ - время движения примеси до заданной точки

Функция истощения для сухого оседания

$$F_{\text{сух}}(x) = \exp \left[-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{v_g}{u} \cdot \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(x)} \exp \left(-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)} \right) \cdot dx \right] \quad (5)$$

где h – эффективная высота выброса, м

v_g – скорость сухого оседания, м/с

u – скорость ветра на высоте выброса, м/с

Функция истощения для мокрого оседания

$$F_{\text{мок}}(x) = \exp(-\Lambda \cdot x/u) \quad (6)$$

где Λ – постоянная вымывания осадками, с^{-1}

Полная функция истощения облака рассчитывается преумножением дифференциальных функции истощения за всех трех процессов

$$F(x) = F_{\text{сух}}(x) \cdot F_{\text{мок}}(x) \cdot F_{\text{рад}}(x) \quad (7)$$

2.4) Расчет Коэффициента Вымывания Осадками В Гауссовой Модели

Коэффициент вымывания аэрозолей используемый в Гауссовой модели зависит от типа и интенсивности осадков. Его вычисляют по формуле (8). Далее эту модель будем называть линейной.

$$\Lambda = k_r \cdot k_0 \cdot I \quad (8)$$

где k_r – стандартная величина абсолютной вымывающей способности дождя, принимается $k_r=1 \cdot 10^{-5}$ ч/(мм.с), кроме ИГР, $k_r=0$ для инертных радиоактивных газов

k_0 – относительная вымывающая способность осадков других типов

I – интенсивность дождя, мм/ч

Таблица 2.5

Относительная вымывающая способность для разных типов осадков

Тип Осадков	k_0
Дождь	1,0
Дождь с Грозой	1,1
Снег с Дождем	2,4
Ливень	2,8
Снег	3,0
Морось	4,5
Туман	5,0

3) НОВАЯ ПРЕДЛОЖЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЫМЫВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Коэффициент вымывания Λ является основным параметром, определяющим подоблачное вымывание аэрозольных частиц. Он равен отношению скорости накопления аэрозольных частиц в выпавших осадках к среднему количеству частиц в облаке за время выпадения осадков. Результаты расчетов и экспериментальных исследований показали, что величина Λ зависит от эффективности захвата E и от скорости падения капли u , м/с [1].

С учетом распределения по размерам дождевых капель коэффициент вымывания для частицы диаметром d , можно представить в виде;

$$\Lambda(d) = \int_0^{\infty} E(D, d) \cdot u(D) \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot N(D) \cdot dD \quad (9)$$

где $N(D)$ – плотность распределения дождевых капель, $1/\text{м}^4$.

Если представить, что размеры дождевых капель одинаковые, то формула переходит в вид

$$\Lambda(D, d) = E(D, d) \cdot u(D) \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot n(D) \quad (10)$$

где $n(D)$ – концентрация капель в единичном объеме, $1/\text{м}^3$. С учетом того, что интенсивность дождя I равна $n(D) \cdot u(D) \cdot \frac{\pi D^3}{6}$, коэффициент вымывания представим в виде;

$$\Lambda(D, d) = \frac{3}{2} E(D, d) \cdot I \cdot \frac{1}{D} \quad (11)$$

3.1) Эффективность Захвата

Эффективность захвата E является функцией многих параметров (в первую очередь, размеров капли D и аэрозольной частицы d). Для оценки влияния этих параметров на подоблачное вымывание искусственных радиоактивных аэрозолей (например ^{137}Cs) необходимо сопоставить между собой

теоретические оценки коэффициента вымывания по различным моделям, а затем рассмотреть формирование загрязнения местности при осадках различной интенсивности аэрозолей с различным дисперсным составом[2].

Величина E зависит не только от размеров, но и от плотности аэрозольных частиц, ρ , и параметров дисперсионной среды (давления, вязкости и температуры воздуха). Предположим, что плотность аэрозольных частиц ρ постоянна, а ее аэродинамический диаметр равен d . Тогда эффективность улавливания аэрозолей E зависящий от диаметра дождевых капель D имеет вид;

$$E(d, D) = 1 - e^{-\gamma\eta} \quad (12)$$

где $\gamma = \frac{4\alpha H}{\pi D}$ – коэффициент зависящий от макроскопических параметров фильтрующей среды

$\alpha = \frac{\pi D^3 n(D)}{6}$ – плотность упаковки дождевых капель (меняется в пределах от 10^{-5} до 10^{-10} для капель от 0,1 до 0,6 мм)

$$n(D) = \frac{I}{u(D) \cdot \frac{\pi D^3}{6}} \text{ – концентрация дождевых капель } 1/\text{м}^3$$

$$u(D) = \sqrt{\frac{4D(\rho_w - \rho_1)g}{3\rho_1 c}} \text{ – скорость дождевых капель м/с [6]}$$

$\eta = \eta_{st} + \eta_D + \eta_{DK}$ – коэффициент захвата

$\eta_{st} = St - St_*$ – коэффициент инерционного захвата

$$\eta_D = \frac{4(1 + 0,4Re^{\frac{1}{2}}Sc^{\frac{1}{3}})}{Re.Sc} \text{ – коэффициент диффузионного захвата}$$

$\eta_{DK} = 4r \left\{ \frac{\mu}{\mu_w} + r(1 + Re^{\frac{1}{2}}) \right\}$ – коэффициент за счет зацепления аэрозольной частицы дождевой каплей

$$St = \frac{\rho d^2 C_c u(D)}{9\mu D} \text{ – число Стокса}$$

St_* – критическое число Стокса

$Re = \frac{\rho_1 \cdot D \cdot u(D)}{\mu}$ – число Рейнольдса, вычисленное для дождевой капли диаметром D

$$Sc = \frac{\mu}{\rho_1 \cdot D_{diff}} \text{ – число Шмидта}$$

μ, μ_w – динамическая вязкость воздуха и воды, соответственно, Па*с, ρ_1 – плотность воздуха, кг/м³, C_c – поправка Каннингема на скольжение для аэрозольной частицы, D_{diff} – коэффициент диффузии аэрозольных частиц в воздухе, м²/с, $r=d/D$ – параметр зацепления, H размер аэрозольного облака, м [1].

В большинстве моделей вымывания искусственных аэрозолей из атмосферы, как показано в Гауссовой модели, величина Λ представляется как функция только интенсивности дождя I ;

$$\Lambda = \varphi I^\beta \quad (13)$$

3.2) Коэффициент Вымывания

Коэффициенты вымывания Λ рассчитаны по предложенной новой модели и по Гауссовой модели для частиц плотностью 2000 кг/м³ при интенсивности дождя от 1 мм/ч до 10 мм/ч (рис 3.1) Средний размер дождевой капли \bar{D} зависит от интенсивности дождя I в виде как $\bar{D} = 0,7 \cdot I^{0,25}$ мм. Заменяя в формуле (11) \bar{D} на D получаем значение Λ зависящий только от эффективности захвата E и интенсивности дождя I [2].

$$\Lambda = \frac{3}{2,0,7} \cdot E(D, d) \cdot I^{0,75} \quad (14)$$

Расчеты показали, что линейная модель не чувствительна к размерам аэрозольных частиц. В новой предложенной модели коэффициент вымывания получает разные значения при разных диаметрах аэрозольных частиц. Это связано с тем, что линейная модель не включает в себя эффективность захвата аэрозольных частиц.

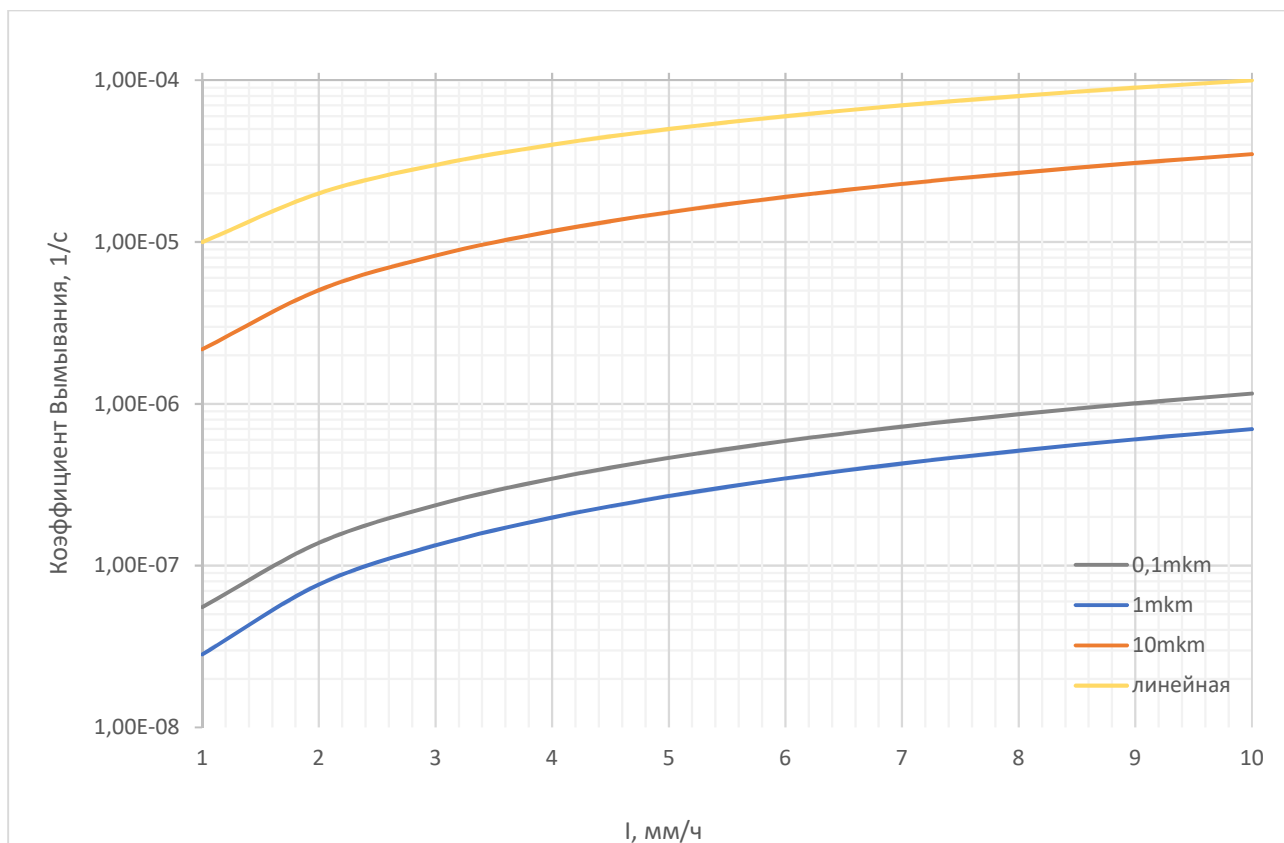


Рис 3.1 Зависимость коэффициента вымывания от интенсивности дождя

Зависимость коэффициента вымывания от размера аэрозольной частицы при фиксированных интенсивностях дождя показана в графике (рис 3.2).

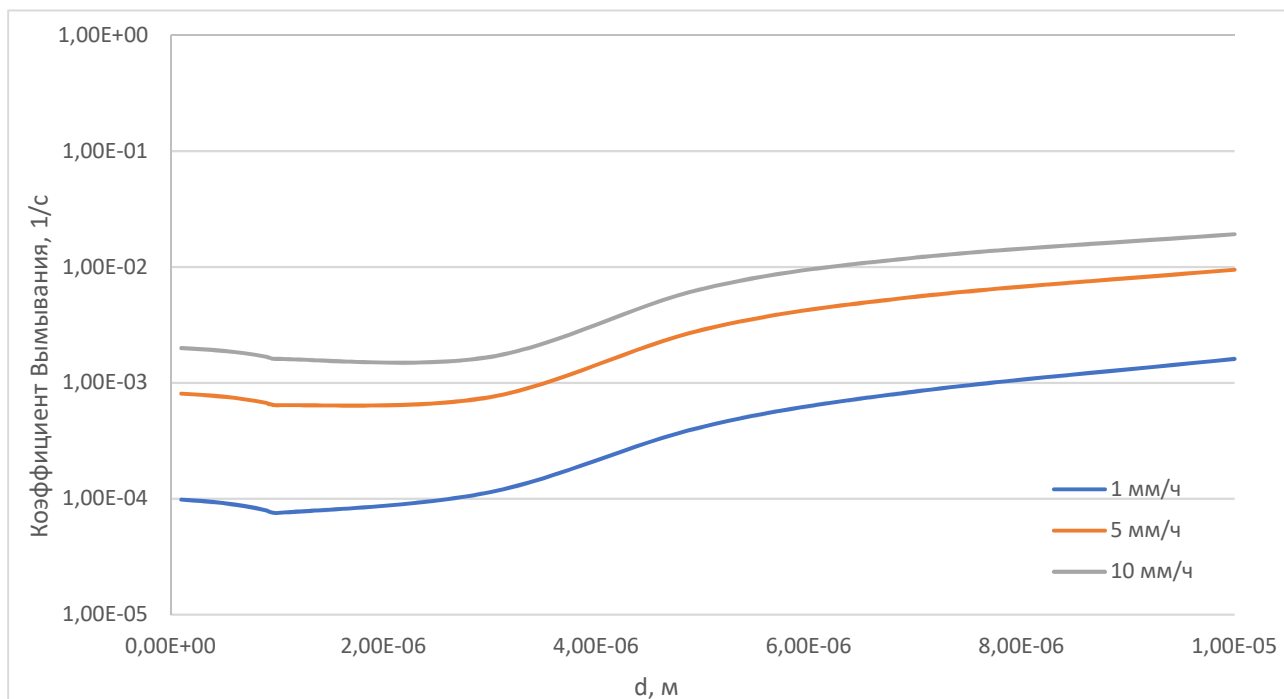


Рис 3.2 Зависимость коэффициента вымывания от размера аэрозольных частиц при фиксированных интенсивностях дождя

В диапазоне от 0,1 до 1 мкм коэффициент вымывания уменьшается, затем возрастает почти линейно. Это связано с ростом или уменьшением эффективности захвата. В диапазоне от 0,1 до 1 мкм эффективность захвата преобладает механизм зацепления и поэтому имеется уменьшение в графике.

4) МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ

Будем рассмотреть на разницу между новой предложенной моделью и линейной моделью при определении объёмной активности аэрозольного облака и загрязнения поверхности по Гауссовой модели за счет мокрого оседания (вымывание дождем). Пусть условный выброс искусственных аэрозолей ^{137}Cs с различными значениями активности (10^{11} Бк, 10^{12} Бк, 10^{13} Бк) происходит на высоте 100 метров от поверхности земли. Расчеты проведены для трех групп аэрозольных частиц с диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм при фиксированном интенсивности дождя $I = 5$ мм/ч, скорости ветра 2 м/с для различных категории устойчивости атмосферы по классификации Паскуилла : категория А (неустойчивая стратификация), категория D (нейтральная стратификация), категория F (устойчивая стратификация). Влияние сухого оседания и радиоактивного распада на истощение аэрозольного облака не учитывались.

Изменение объёмной активности аэрозольного облака на оси струи x за счет вымывания дождевыми каплями определяется формулой [2]:

$$A(x, 0, 0) = Q \cdot \frac{F_{\text{мок}}(x, 0, 0)}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp \left[-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \quad (15)$$

где $F_{\text{мок}}(x, 0, 0)$ – функция истощения облака за счет мокрого оседания.

Результаты измерения объёмной активности аэрозольного облака в новой предложенной модели и в линейной модели для различных категории для источника ^{137}Cs при разных его активностях показаны в графиках.

Первые три значения активности (A_1 , A_2 и A_3) облака измерены в новой предложенной модели для частиц диаметром 0,1 мкм, 1 мкм и 10 мкм соответственно. Для этих частиц коэффициент вымывания имеют значения:

$$A_1 = 4,617 \cdot 10^{-7}, A_2 = 2,594 \cdot 10^{-7}, A_3 = 1,536 \cdot 10^{-5}$$

Коэффициент вымывания в линейной модели при интенсивности 5мм/ч имеет только одно значение $A_g = 5 \cdot 10^{-5}$ и его активность за счет мокрого оседания показана обозначением A_g . Расчеты проводились в масштабе от 0 до 100 км от источника выброса. В графиках очевидно что новая предложенная модель дает больше значение чем линейная модель. В новой предложенной модели коэффициенты вымывания для частиц 0,1 мкм и 1 мкм имеет одинаковый порядок поэтому в графиках их линии сильно совпадают.

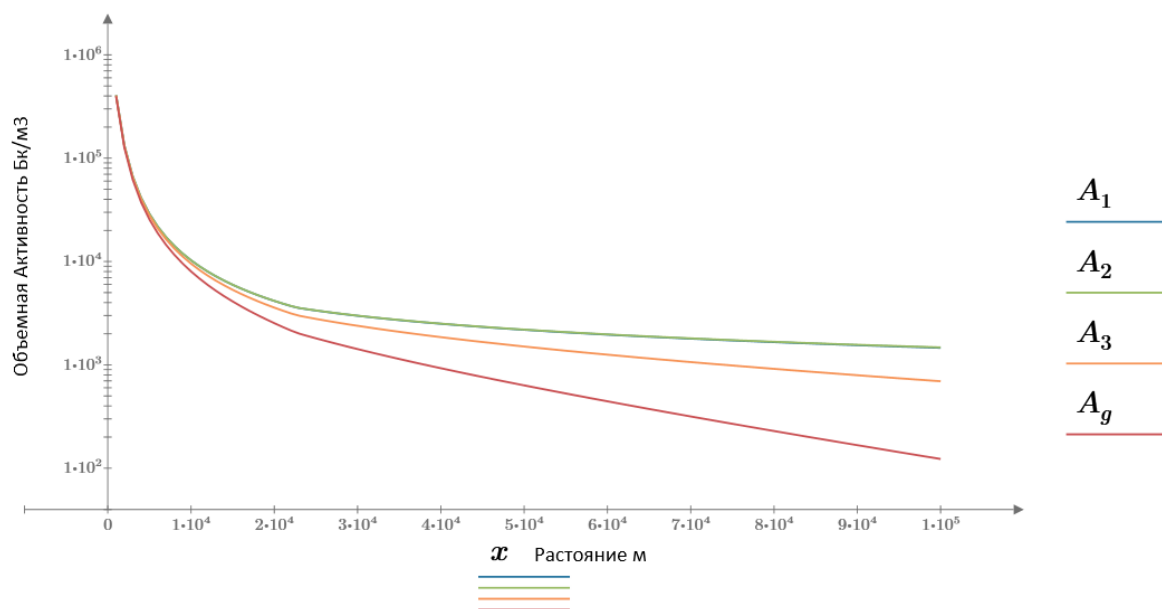


Рис 4.1 Объемная активность облака категория устойчивости А для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

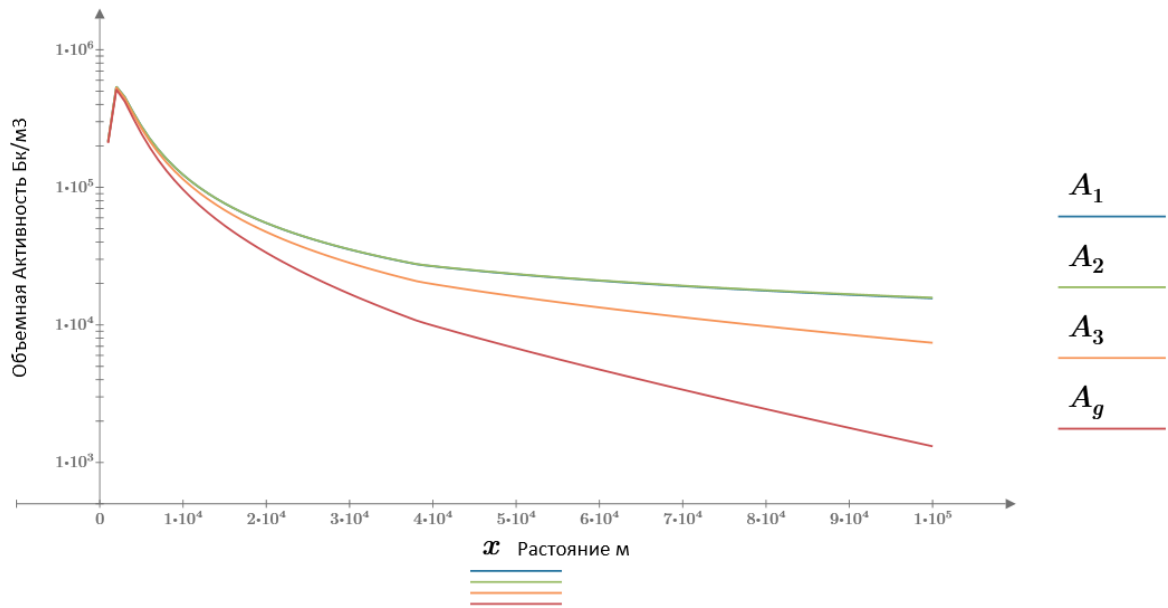


Рис 4.2 Объемная активность облака категория устойчивости D для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

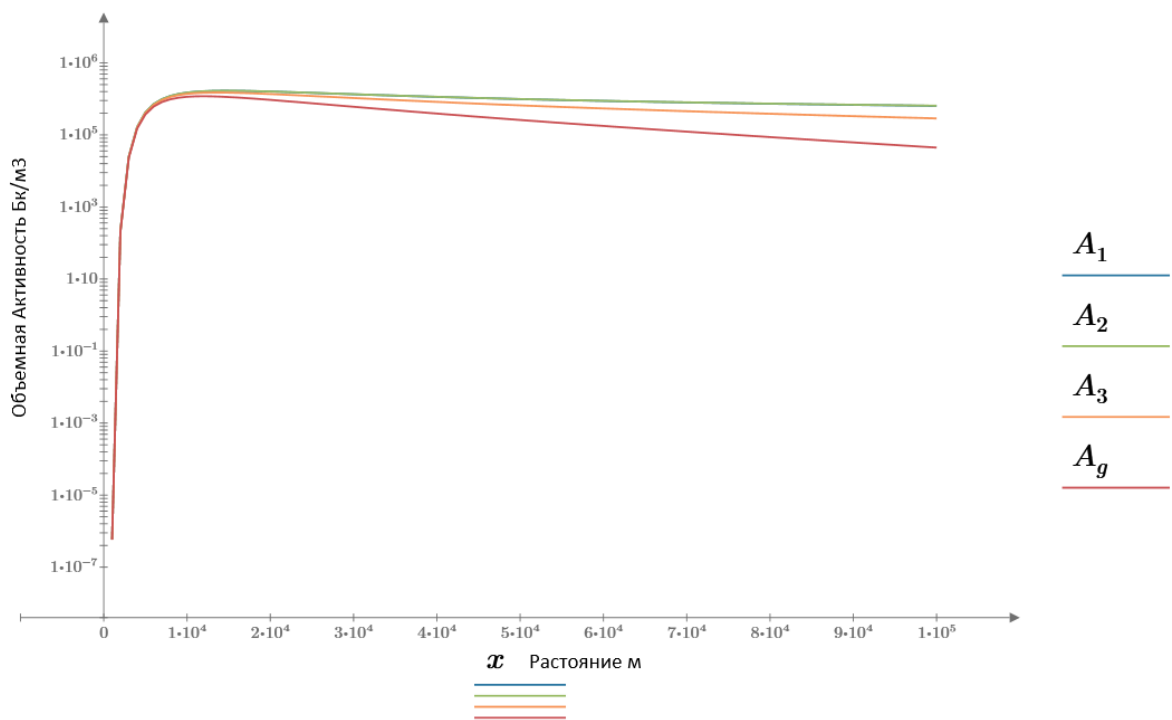


Рис 4.3 Объемная активность облака категория устойчивости F для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

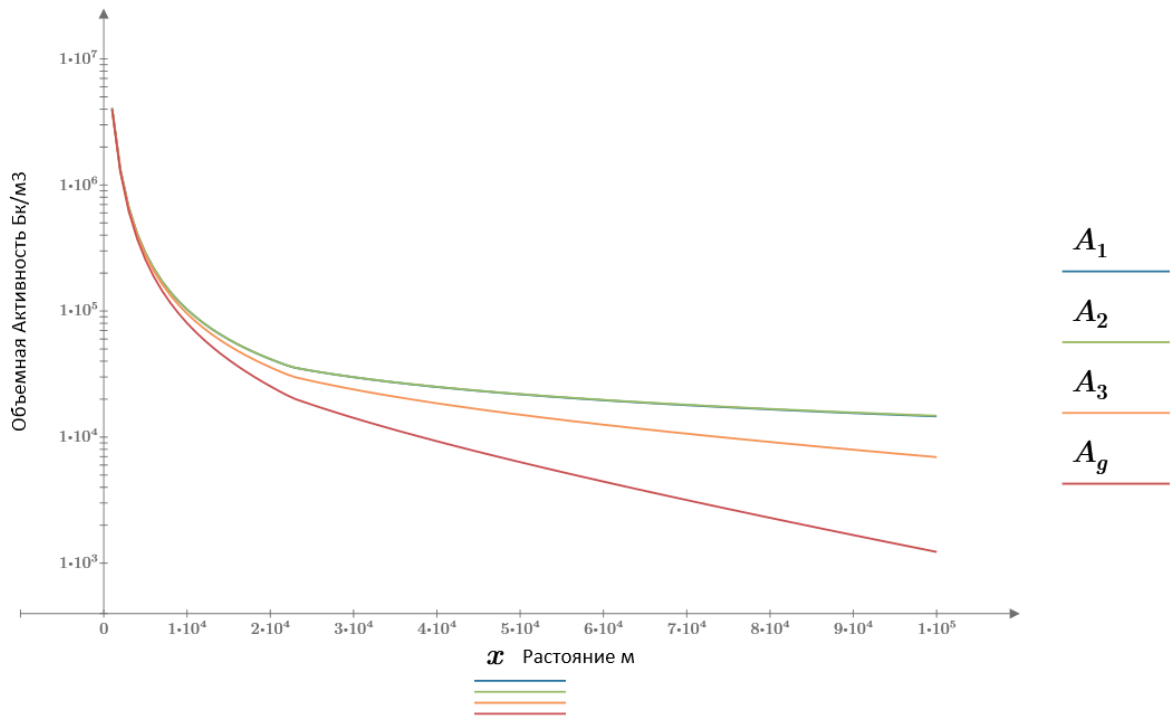


Рис 4.4 Объемная активность облака категория устойчивости А для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

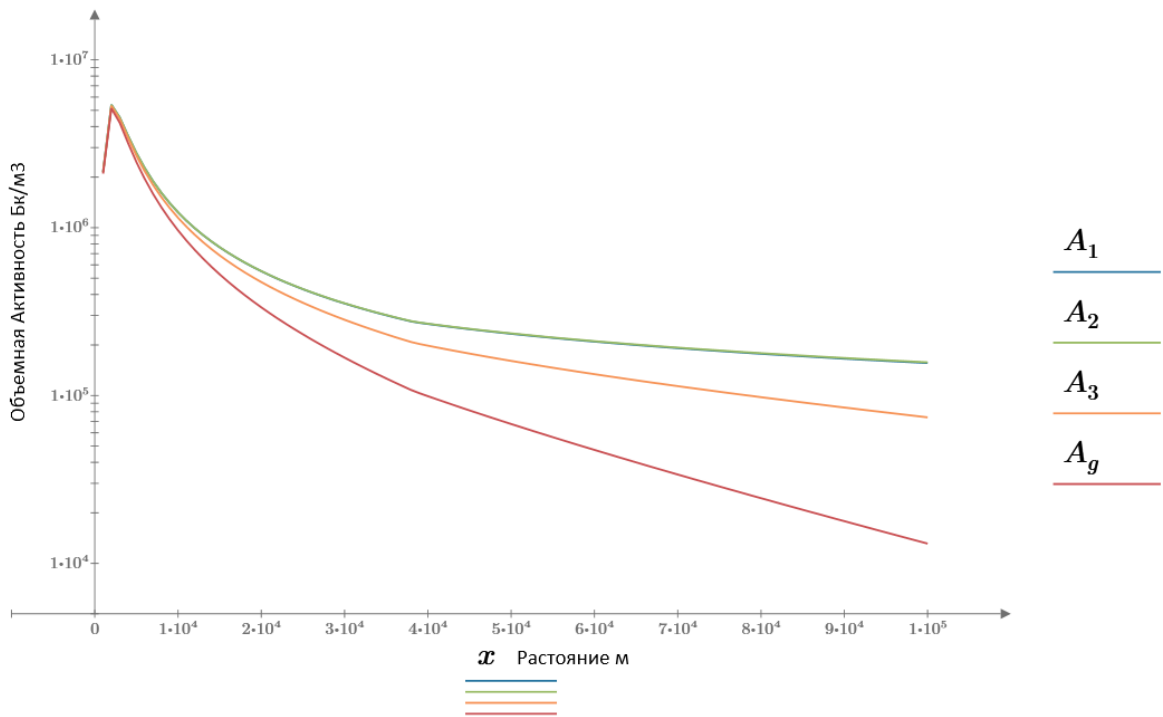


Рис 4.5 Объемная активность облака категория устойчивости D для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

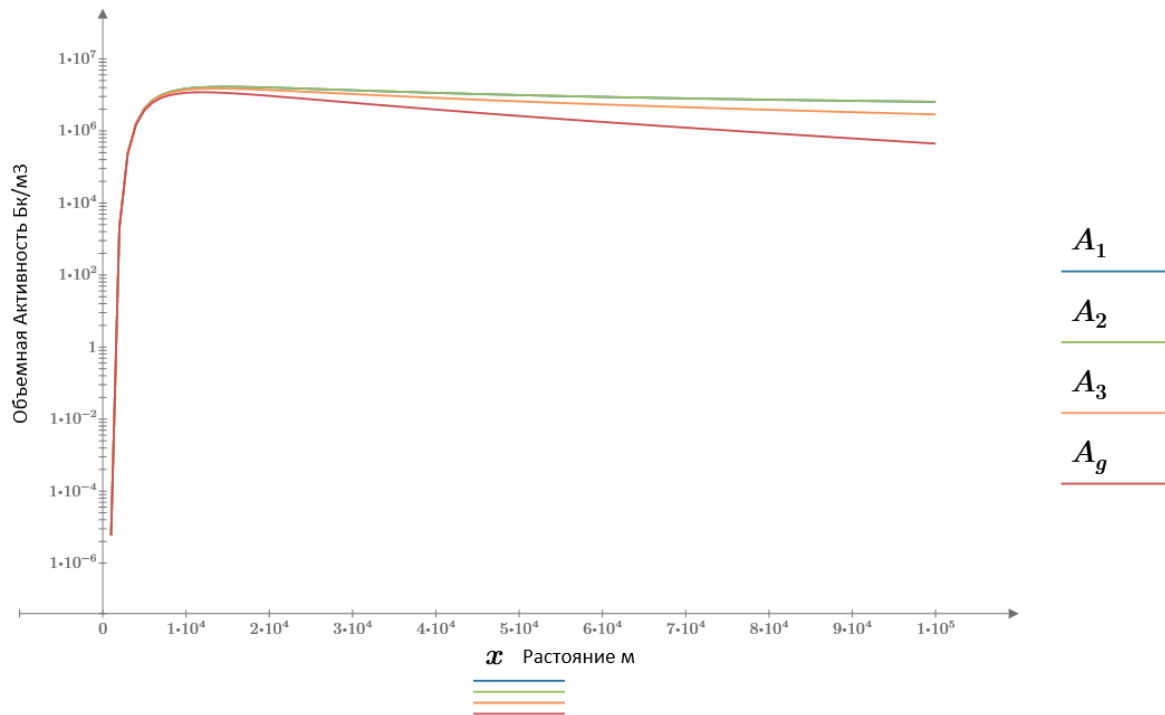


Рис 4.6 Объемная активность облака категория устойчивости F для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

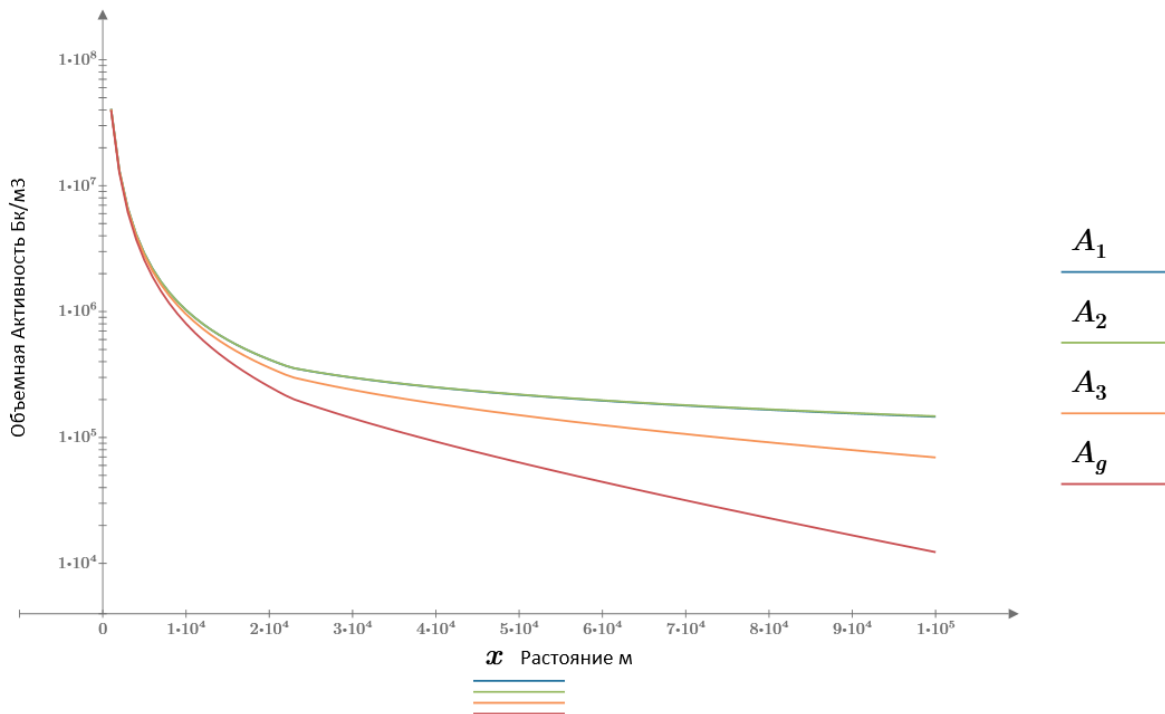


Рис 4.7 Объемная активность облака категория устойчивости A для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

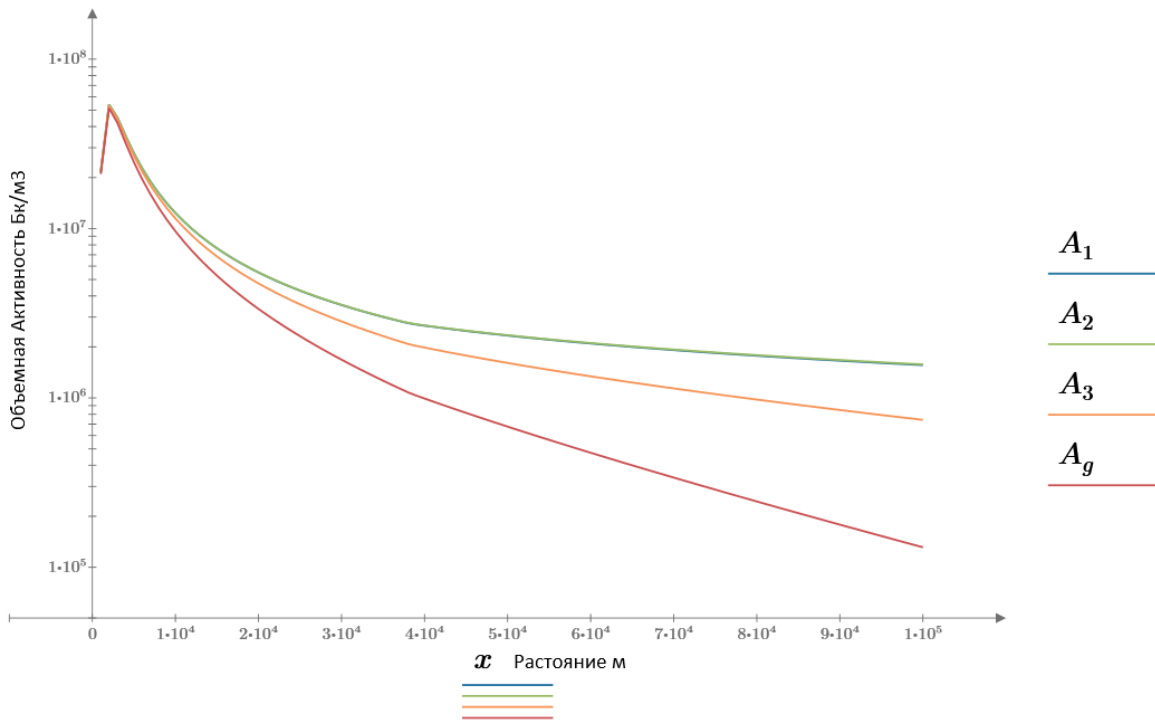


Рис 4.8 Объемная активность облака категория устойчивости D для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

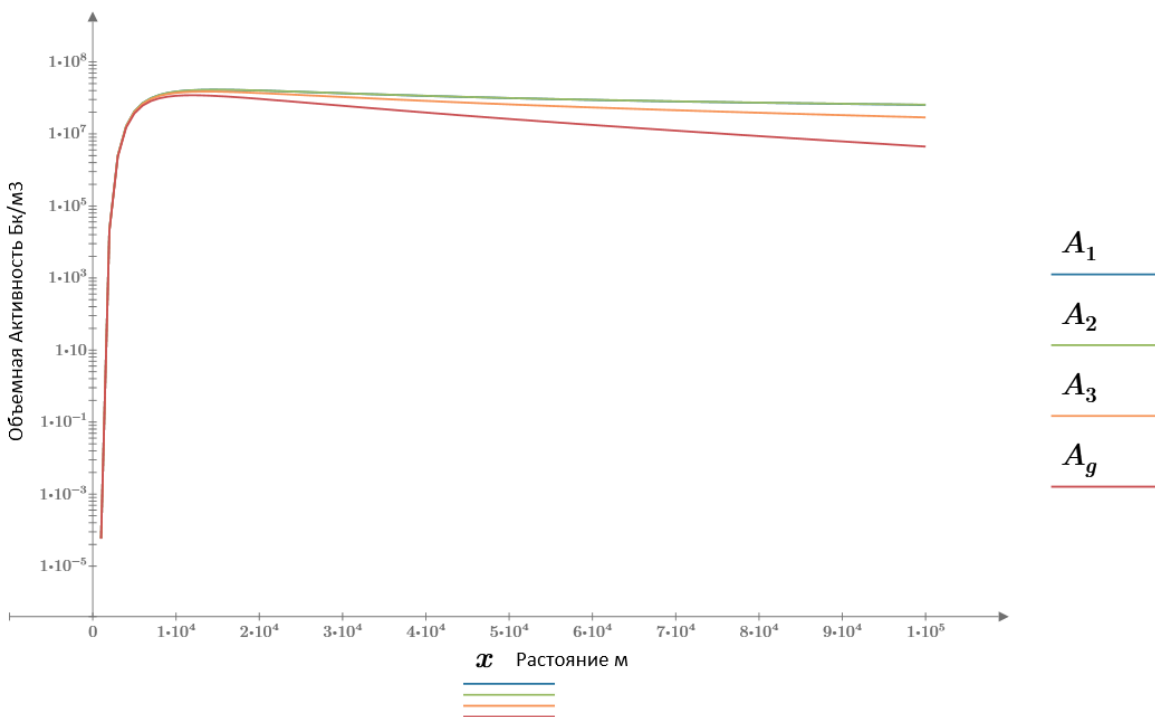


Рис 4.9 Объемная активность облака категория устойчивости F для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

Загрязнение поверхности земли за счет вымывания осадками определяется формулой [2] :

$$A_s = Q \cdot \Lambda \cdot G^z(x, 0, 0) \quad (16)$$

где G^z это фактор разбавления по вертикальной оси z . Он определяется формулой [4]:

$$G^z = \frac{F_{\text{мок}}(x, 0, 0)}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot u}}$$

Расчеты проведены так же для предложенной модели для частиц диаметром 0,1 мкм, 1 мкм и 10 мкм и линейной модели при фиксированном интенсивности дождя 5 мм/ч для категории Паскуилла А, D и F до расстоянии 100 км от источника выброса.

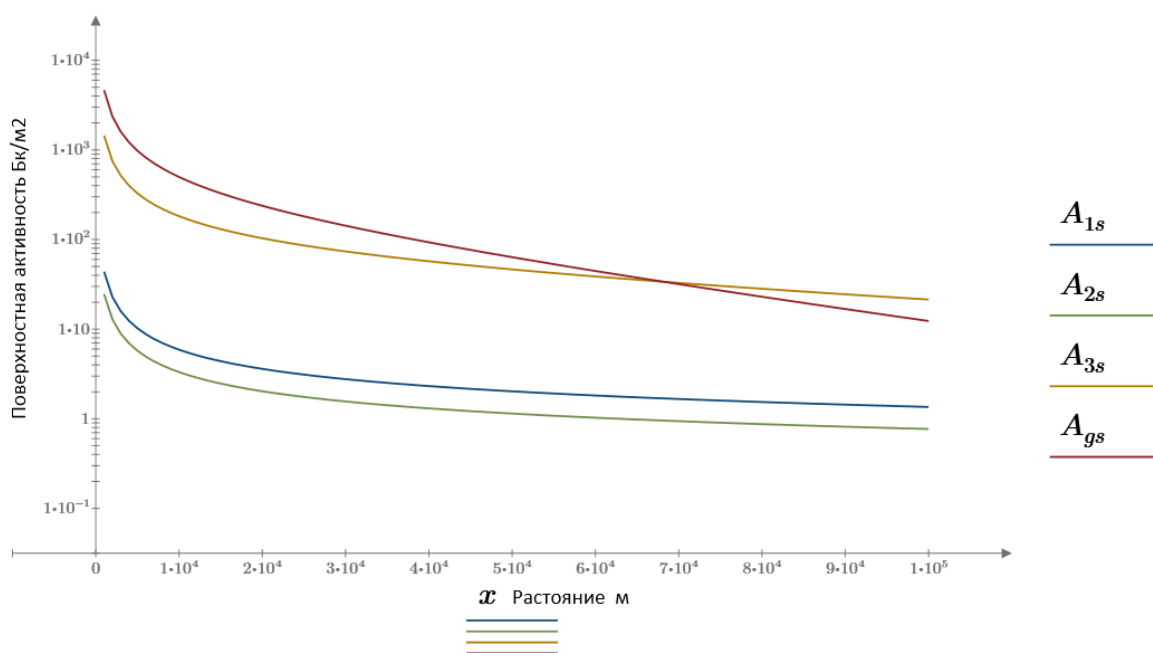


Рис 4.10 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости А для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

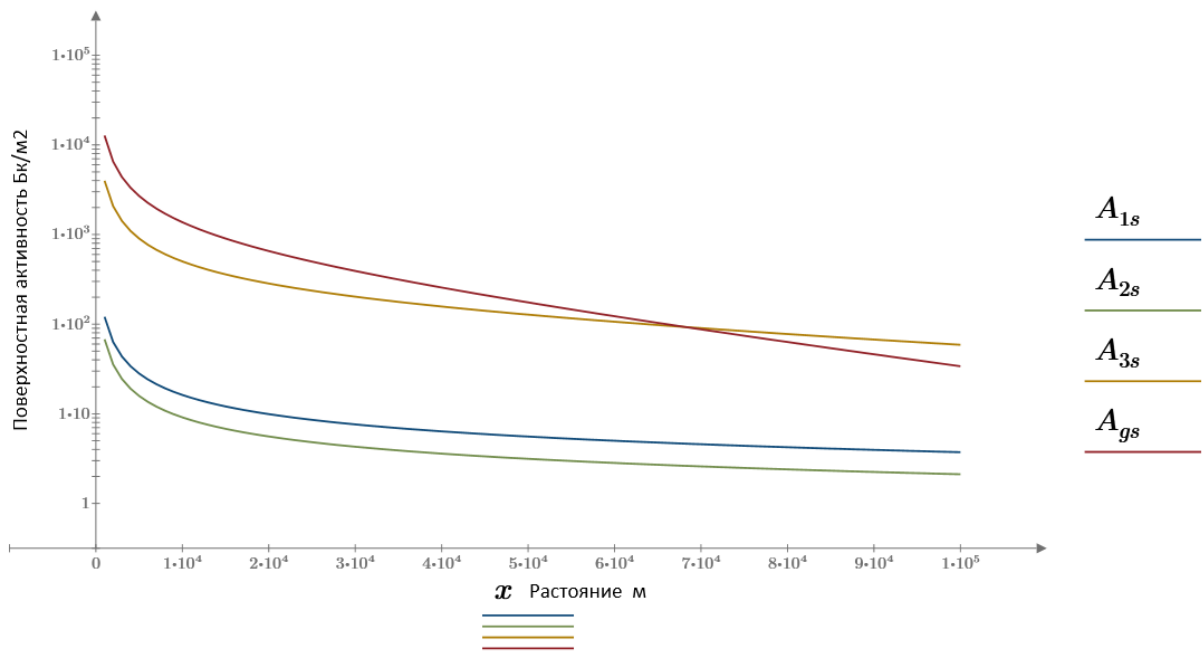


Рис 4.11 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости **D** для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

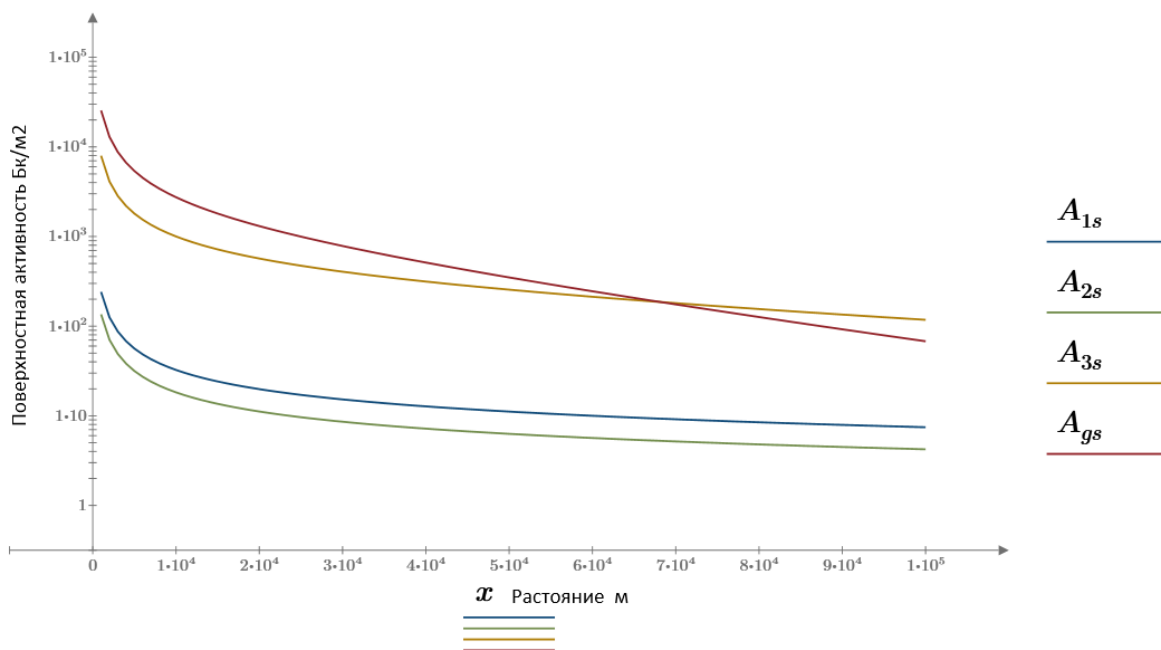


Рис 4.12 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости **F** для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{11}$ Бк

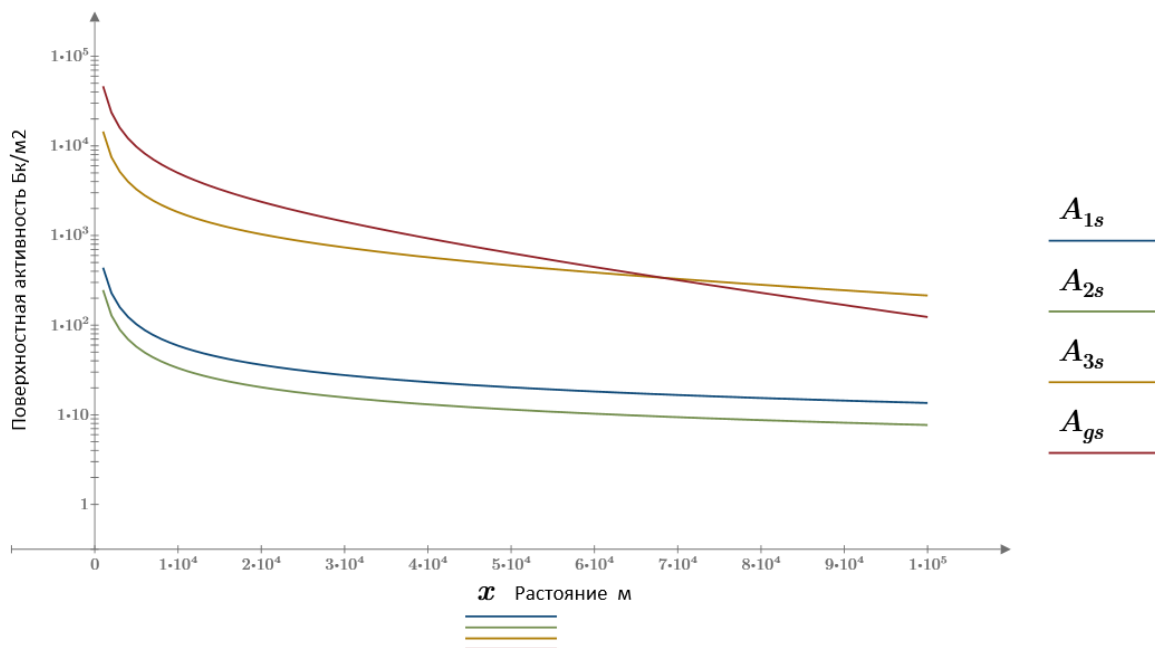


Рис 4.13 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости А для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

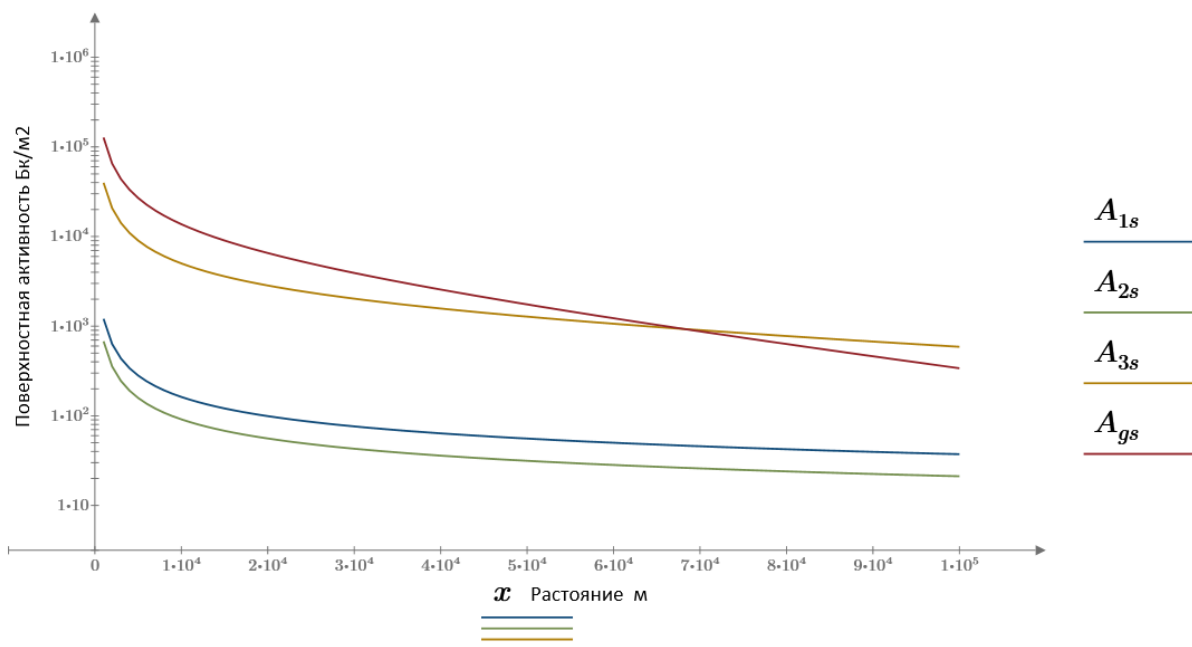


Рис 4.14 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости D для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

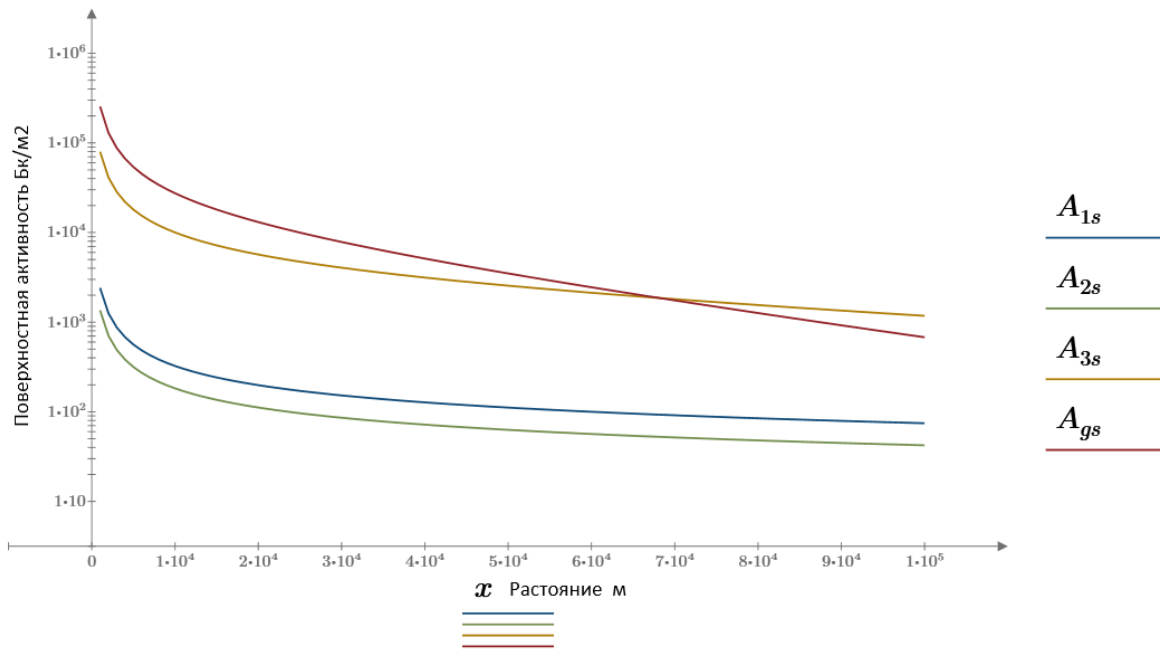


Рис 4.15 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости F для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{12}$ Бк

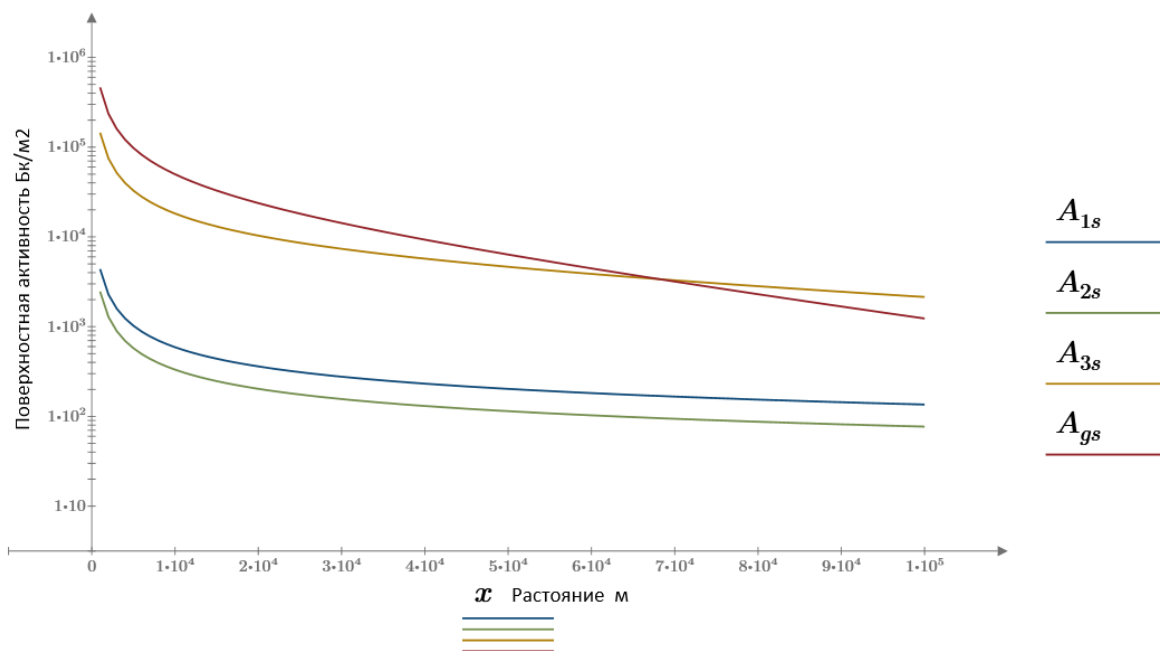


Рис 4.16 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости A для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

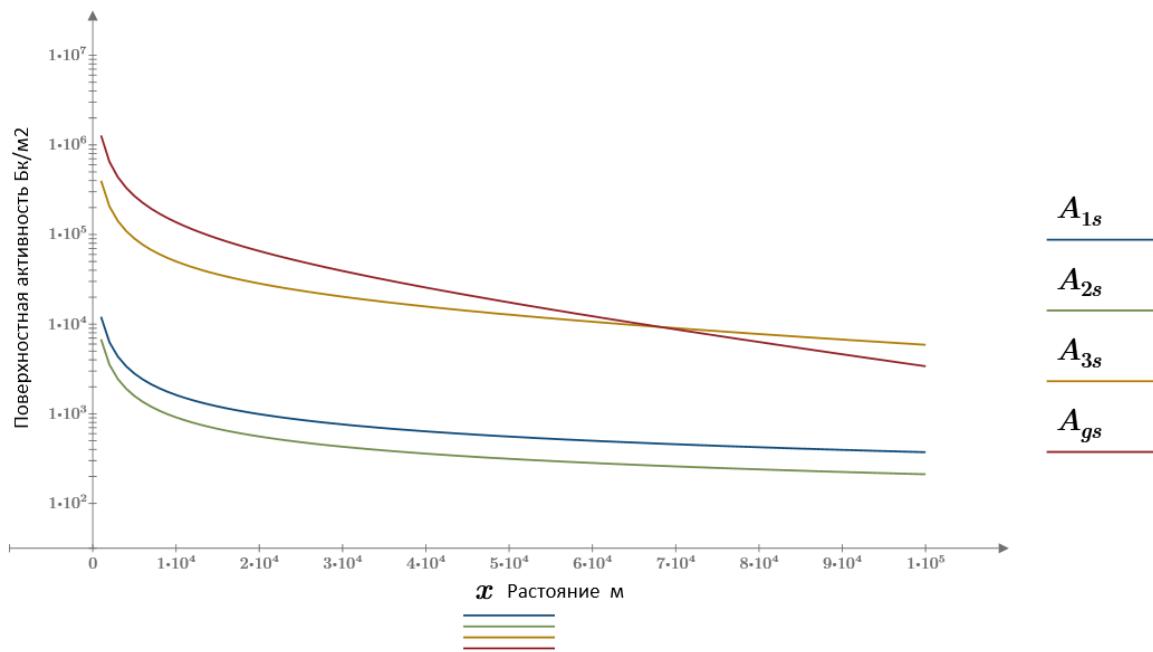


Рис 4.17 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости **D** для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

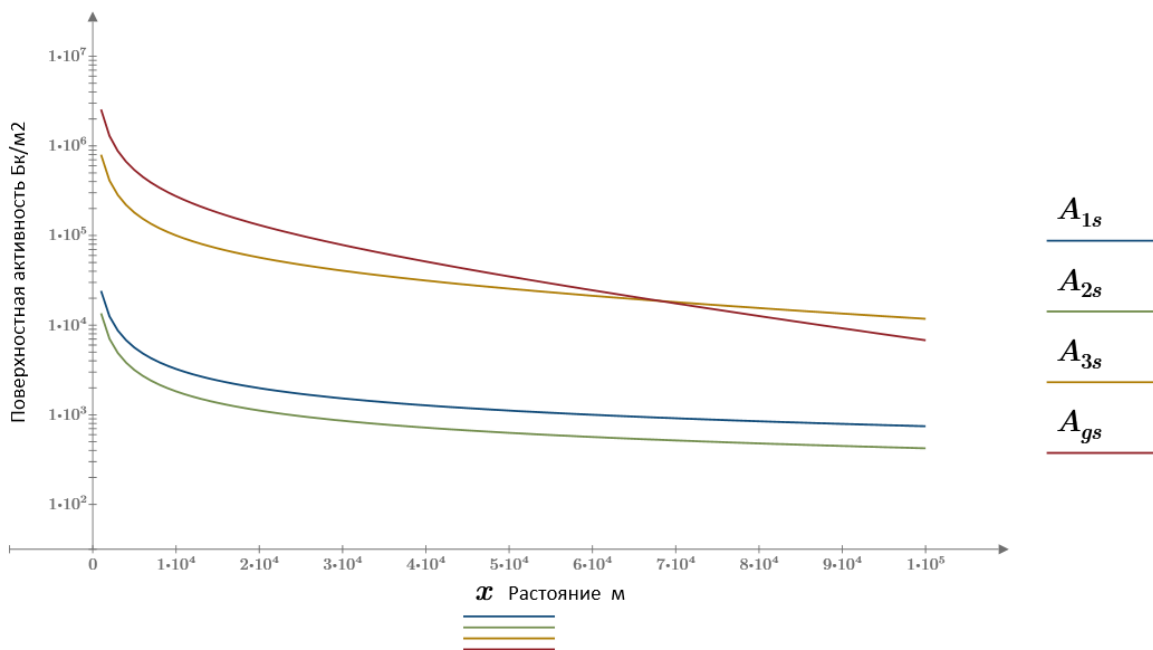


Рис 4.18 Загрязнения поверхности за счет вымывания дождем в категории устойчивости **F** для частиц диаметром 0,1 , 1 и 10 мкм. $Q_{Cs} = 10^{13}$ Бк

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе рассмотрена новая микрофизическая модель подоблачного вымывания аэрозольных частиц из атмосферы, которая учитывает размеры аэрозольных частиц и дождевых капель. Проведено сравнение новой модели с линейной моделью (Гауссова модель). Посчитан коэффициент вымывания по новой модели который является функцией эффективности захвата и интенсивности дождя. Показано как эффективность захвата аэрозольных частиц зависит от размера аэрозольных частиц и дождевых капель. В графиках 3.1 и 3.2 представлены зависимости коэффициента вымывания от интенсивности дождя и диаметра аэрозольных частиц. Изучено распространение радиоактивного выброса по Гауссовой модели. По этой модели рассчитаны изменение объемной активности аэрозольного облака и загрязнения поверхности земли используя коэффициент вымывания, найденный по новой модели и по линейной модели. Результаты расчетов и разница между двумя моделями показаны в графиках. Доказано что новая модель является более чувствительной к аэродинамическим параметрам аэрозольных частиц и дождевых капель.

Список Литературы

1. Припачкин Д.А. , Будыка А.К. Влияние Параметров Аэрозольных Частиц На Их Вымывание Из Атмосферы Дождевыми Каплями
2. Н.Г. Гусев, В.А. Беляев Радиоактивные Выбросы В Биосфере Справочник, Энергоатомиздат 1991 с 71-77, 86-88
3. Экологические Последствия Аварии На Чернобыльской АЭС И Их Преодоление: Двухлетный Опыт, МАГАТЭ, 2008 с 24-26
4. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Рекомендуемые методы оценки и прогнозирования радиационных последствий аварий на объектах ядерного топливного цикла" (РБ-134-17)- 16 ноября 2017.
5. Метеорология и Атомная Энергия Под редакцией Н.Л. Бызовой, К.П. Махонько, 1968 с 313-322
6. The Terminal Velocity of Fall For Water Droplets In Stagnant Air, Ross Gunn and Gilbert D. Kinzer
7. Физика Атмосферных Аэрозольных Систем: Учебное Пособие, Довгалоук Ю.А. Ивлеев Л.С. 1982
8. Влияние Дождевых Осадков На Радиационный Фон Окружающей Среды, А.А. Степаненко, К.С. Рябкина
9. Чернобыль: Радиоактивное Загрязнение Природных Сред, Ю.А. Израель, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров, В.Н. Петров, Ф.Я. Ровинский, Е.Д. Стукин, Гидрометеиздат 1990 с 223
10. Чернобыль: Десять Лет Спустя. Радиоактивное Воздействие и Последствие Для Здоровья Населения: Оценочный Доклад Комитета По Радиационной защите И Здравоохранению Агенство По Ядерной Энергии, 1995 (<http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/bookcase14/bookcase14.htm>)