

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Выводы. Ракетно-космическая деятельность сопоставима по своим последствиям для охраняемых экосистем с запрещенными видами использования территорий. Подтверждается наличие рискованной ситуации для отдельных видов растений, внесенных в Красные книги. Поскольку невозможно исключение ракетно-космической деятельности как фактора риска для природных комплексов ООПТ и их компонентов, то целесообразно наряду с плановой деятельностью научных отделов заповедников и заказников дополнительно планировать и осуществлять программы биологического мониторинга с периодической инвентаризацией редких и исчезающих видов растительности с приоритетом для видов с единичными местообитаниями и численностью. Для предупреждения вероятной их утраты рассмотреть возможность расширения на территории за пределами зоны возможного риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворожейкин А.П., Касимов Н.С., Королева Т.В., Проскуряков Ю.В. // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: «Ойкумена», 2002.
2. Проскуряков Ю.В. // Матер. межд. науч.-практ. конф. «Теоретические и прикладные проблемы географии на рубеже столетий». – Алматы, 2004. – С.15-17.
3. Пузанов А.В., Горбачев, Бабошкина С.В., Олейников Б.Д., Бурлака Н.М. // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4, Ч. 2. – С. 194-196.
4. Пузанов А.В., Горбачев И.В., Архипов И.А. Оценка воздействия РКД на экосистемы Алтае-Саянской горной страны (1998-2010 годы). – Мир науки, культуры, образования. – 2010. – №5 (24). – С. 262-265.
5. Кондратьев А.Д., Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В. Космодром «Байконур» как объект природопользования. – М.: Издательство «Пеликан», 2008. – 176 с.
6. Бурков В.А. Проблемы эксплуатации районов падения РН на территории Томской области // Проблемные вопросы открытия и эксплуатации трасс запусков космических аппаратов, баллистического и метеорологического обеспечения пусков ракет-носителей. Матер. научно-техн. конф. – М.: ФГУП «ЦЭНКИ», 2010.
7. Шойхет Я.Н., Колядо И.Б., Колядо В.Б., Богданов С.В., Трунова Л.Н. // Проблемы клинической медицины. – 2005. – № 4. – С. 102-112.
8. Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В., Дианова Т.М. Экологическое нормирование в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей. – Мир науки, культуры, образования. – 2010. – №5 (24). – С. 254-257.
9. Воробьев С.И., Бурков В.А. Опыт проведения разъяснительной работы среди населения о ракетно-космической деятельности. – Мир науки, культуры, образования. – 2010. – №5 (24). – С. 246-247.
10. Государственный доклад Минприроды РФ «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», <http://www.mnr.gov.ru>.
11. Красная книга Республики Алтай (растения). – Горно-Алтайск, 2007. – 271 с.
12. Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений. – Барнаул: ОАО «ИПП «Алтай», 2006. – 262 с.
13. Красная книга Алтайского края. Особо охраняемые природные территории. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. – 339 с.
14. Шойхет Я.Н., Колядо И.Б., Плагин С.В., Пузанов А.В. Экологическая ситуация и распространность болезней среди населения Алтайского края, проживающего вблизи зон влияния ракетно-космической деятельности. – Барнаул: Азбука, 2008. – 292 с.

МОДЕЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛЕЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

В.Ф. Рапута

Обсуждаются математические модели реконструкции полей выпадений полидисперсных примесей от мгновенных источников применительно к следам ядерных взрывов. В приближении полукинематической модели оседания аэрозольных примесей в атмосфере получены соотношения для оценивания полей осевых концентраций. На данных натурных наблюдений радиоактивного загрязнения территорий проведена апробация предложенной модели оценивания применительно к наземному ядерному взрыву, произведенного 29 августа 1949 года на Семипалатинском полигоне. С помощью предложенных асимптотических соотношений выполнен численный анализ следов, образованных подземным ядерным взрывом "Чеган".

Ключевые слова: модель, аэрозольная примесь, ядерный взрыв, радиоактивное загрязнение, реконструкция.

Проблема определения количественных характеристик радиоактивного загрязнения природных сред в результате ядерных взрывов и аварий является весьма актуальной.

Применение методов прямого моделирования переноса загрязняющих примесей в принципе даёт возможность вполне корректного описания полей концентраций, но в ряде

случаев этот подход сталкивается со значительными затруднениями. В первую очередь это возможность обеспечения используемых моделей необходимой входной информацией, так как практически всегда существует неопределённость в высоте и мощности взрыва, распределении радиоактивных частиц по размерам, определении текущих метеорологических условий. Привлечение же дополнительной экспериментальной информации о полях радиоактивного загрязнения приводит к необходимости создания моделей реконструкции [1, 2]. Принципы построения такого типа моделей достаточно разнообразны и носят обычно компромиссный характер между модельными описаниями процессов загрязнения и данными наблюдений [3, 4].

К настоящему времени в открытой печати опубликован значительный объём данных экспериментальных исследований по радиоактивному загрязнению территорий в результате проведённых испытательных ядерных взрывов. Численный анализ этой информации на основе модельных представлений процессов распространения примесей несомненно представляет интерес как для решения многих практических задач, так и для изучения турбулентных свойств атмосферы.

Постановка обратной задачи переноса полидисперсной примеси. Для описания процесса распространения примеси используется полукинематическое приближение, т.е. принимается, что турбулентное рассеяние происходит лишь в горизонтальных направлениях, а по вертикали движение частиц происходит с постоянной стоксовой скоростью. Предварительный анализ данных экспериментальных исследований следов выпадений радиоактивных примесей, образованных ядерными взрывами, показывает, что весьма важным моментом является количественное описание распределения дисперсного состава частиц в начальном облаке. Начальное распределение аэрозольной примеси в источнике по скоростям оседания w удобно задавать в виде следующей двухпараметрической функции [5, 6].

$$N(w) = \frac{a^{n+1}}{\Gamma(n+1)} w^n e^{-aw}, \quad (1)$$

$$n \geq -1, \quad a = \frac{n}{w_m}$$

где параметр w_m характеризует скорость оседания преобладающей по количеству частиц фракции примеси, n - степень однородности распределения частиц

примеси по скоростям w , $\Gamma(x)$ - гамма-функция Эйлера.

В этом случае поверхностная концентрация полидисперсной примеси находится из выражения

$$P(x, y) = \int_0^\infty \int_0^\infty w q(x, y, 0, t) N(w) dw dt, \quad (2)$$

где $q(x, y, z, t)$ - объёмная концентрация описывается уравнением

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u(z) \frac{\partial q}{\partial x} - w \frac{\partial q}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 q}{\partial y^2}, \quad (3)$$

с начальными и граничными условиями

$$q|_{t=0} = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H), \quad (4)$$

$$q|_{z>H} = 0; \quad q \rightarrow 0, \quad |x|, |y| \rightarrow \infty, \quad t \rightarrow \infty.$$

Здесь $u(z)$ - горизонтальная составляющая скорости ветра, K_x , K_y - коэффициенты турбулентного обмена по осям x, y ,

$$K_x = \alpha \bar{U}_z^2 \frac{H-z}{w}, \quad K_y = \beta \bar{U}_z^2 \frac{H-z}{w}, \quad (5)$$

$$\bar{U}(z) = \frac{1}{H-z} \int_z^H u(\xi) d\xi$$

Непосредственное вычисление функционала (2) с помощью (1), (3)-(5) достаточно затруднительно. Необходимы дополнительные упрощения. В частности, если ограничиться рассмотрением асимптотических представлений для осевых концентраций, то при больших x главная часть выражения (2) представляется в виде [6]

$$P(x, 0) = \frac{Q \cdot H \cdot \bar{U}_0 \cdot N\left(\frac{H \bar{U}_0}{x}\right)}{\sqrt{2\pi\beta} \cdot x^3}. \quad (6)$$

Полагая мощность источника Q функцией высоты z , с учётом (1), (6) получим следующее соотношение для вычисления плотности выпадения полидисперсной примеси по оси следа от распределённого по высоте источника

$$P(x, \bar{\theta}) = \frac{\theta_1}{x^2} \int_{H_1}^{H_2} Q(z) \left(\frac{z}{x}\right)^{\theta_2} \exp\left(-\theta_3 \frac{z}{x}\right) dz, \quad (7)$$

$$\text{где } \theta_1 = \frac{(a \bar{U}_0)^{n+1}}{\sqrt{2\pi\beta} \cdot \Gamma(n+1)}, \quad \theta_2 = n+1, \quad \theta_3 = a U_0.$$

Оценка вектора неизвестных параметров $\bar{\theta}$ проводится методом наименьших квадратов на основании критерия

МОДЕЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛЕЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

$$J(\bar{\theta}) = \sum_{m=1}^M \sigma_j^{-2} [r_j - P(x_j, \bar{\theta})]^2 \rightarrow \min_{\bar{\theta} \in \Omega} \cdot (8)$$

Здесь r_j измеренный уровень аэрозольного загрязнения в точке x_j .

Численная реконструкция осевой части следа ядерного взрыва 29 августа 1949 г. Для восстановления плотности радиоактивных выпадений по оси следа первого в СССР ядерного испытания использовалась информация, приведённая в [7, 8]. Взрыв был произведён на высоте 30 м и его мощность составила примерно 22 кт. Облако взрыва своей верхней кромкой достигло высоты 7,5-9 км. По имеющимся данным воздушной и наземной радиационных разведок был построен график изменения мощности дозы гамма-излучения вдоль оси следа, из которого следует, что максимум радиоактивного загрязнения местности расположен в 4-5 км от места взрыва. Дальше мощность дозы в основном уменьшалась.

На основе имеющихся данных наблюдений и модели (7), (8) по ограниченному числу опорных точек была проведена реконструкция осевой концентрации, представленная на рисунке 1. Относительное распределение активности по высоте в облаке взрыва задавалось следующим соотношением:

$$Q(z) = \begin{cases} 1 & \text{при } z \in (0, 0.4 \text{ км}) \\ 4 & \text{при } z \in (0.4 \text{ км}, 1.5 \text{ км}) \\ 10 & \text{при } z \in (1.5 \text{ км}, 8 \text{ км}) \end{cases} \quad (9)$$

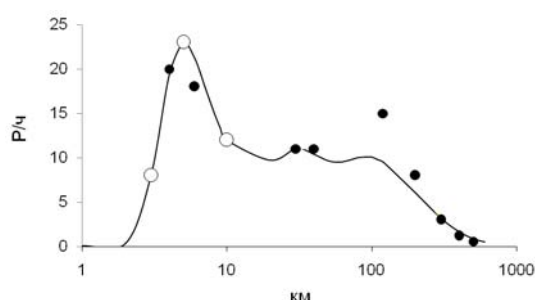


Рисунок 1. Реконструкция оси следа взрыва 29.08.1949 г. О — опорные, ● — контрольные точки наблюдений, — — результат численного моделирования.

Наиболее значительное отклонение наблюдается в точке, удалённой от места взрыва примерно на 120 км (с. Долонь), что может быть связано с дополнительным вымыванием дождём продуктов ядерного взрыва из проходящего шлейфа облака. Следует отметить, что другой возможной

причиной имеющегося отклонения может быть также и не вполне адекватное описание в модели активности по высоте.

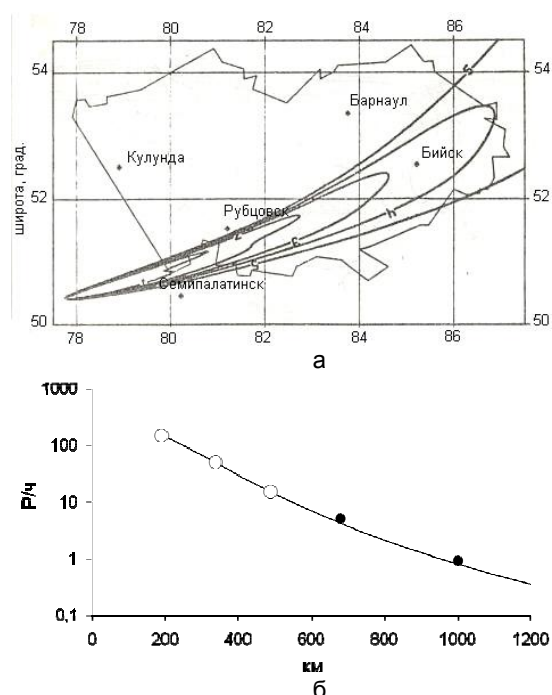


Рисунок 2. Приведённое на момент взрыва поле плотности загрязнения территории Алтай Cs^{137} (а): 1 — 150 мКи/км²; 2 — 50 мКи/км²; 3 — 15 мКи/км²; 4 — 5 мКи/км²; 5 — 1 мКи/км² [8]. Реконструкция дальней осевой части следа (б).

С использованием данных работы [8] на рисунке 2 представлены результаты численного восстановления на основе модели (7), (8). Анализ результатов моделирования показывает вполне удовлетворительное согласие измеренных и вычисленных значений активности в контрольных точках измерений, приведённой на момент взрыва плотности загрязнения территории Алтай Cs^{137} .

Численный анализ следов, образованных подземным ядерным взрывом "Чеган" (1004). Взрыв был произведён в промышленных целях для получения информации об образовании глубоких воронок. В результате механического эффекта взрыва ядерного заряда мощностью 140 кт, заложенного на глубине 178 м образовалась воронка глубиной 100 м, диаметром по гребню навала грунта 520 м. Облако взрыва, поднявшись на высоту до 5 км, разделилось на две части в соответствии с различным направлением ветра на разных высотах, образовав "северную" и "южную" ветвь радиоактивных выпадений [9]. Значительный разворот ветра по направлению с увеличением высоты привёл к

образованию радиоактивного следа сложной конфигурации. Нижняя часть облака взрыва, находившаяся в слое от 250 м до 2500 м, образовала “северную ветвь” следа, а верхняя его часть сформировала “южную часть”. На рис. 3 с использованием модели (7), (8) приведены результаты реконструкции мощности доз гамма-излучения по осям этих следов.

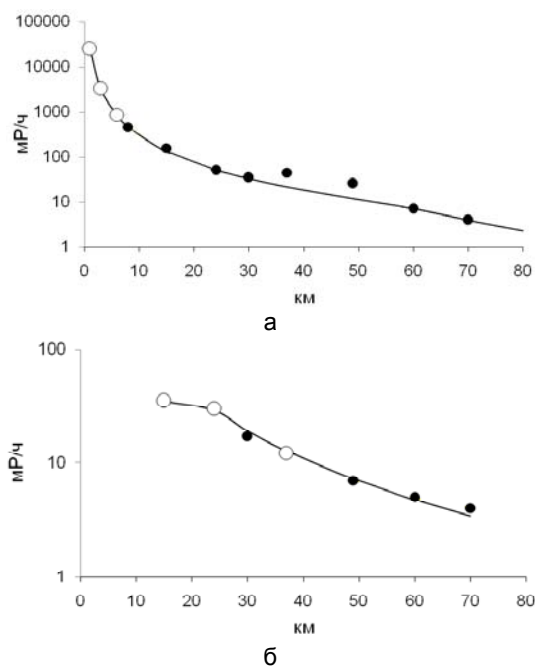


Рисунок 3. Реконструкция оси следа взрыва 1004 (15.01.1965 г.). а) – северная ветвь; б) – южная ветвь.

Относительное распределение активности в облаке взрыва задавалась следующим соотношением

$$Q(z) = \frac{1}{z}, \quad z \geq 0.1 \text{ км}.$$

Анализ результатов моделирования показывает достаточно высокий уровень согласия с данными измерений. Согласно полученным оценкам параметров зависимости (7) дисперсный состав выпавших частиц варьируется в широких пределах. Ближняя зона выпадений сформирована фракциями частиц с весьма значительными скоростями оседания.

Следует отметить, что для взрыва 1004 проводились также измерения выпадений трития в зоне дальнего следа [10]. Закономерности его выпадений в дальней осевой части следа вполне удовлетворительно описывается следующей зависимостью

$$P(x, \theta) = \frac{\theta}{x}. \quad (10)$$

Здесь x – расстояние от источника, θ – неизвестный параметр, оцениваемый по данным наблюдений.

Соотношение (10) выражает динамику изменения концентрации слабо оседающей примеси в слое перемешивания на больших удалениях от источника [11]. В данном случае параметр θ зависит от сравнительно небольшого числа факторов, включающих мощность источника, толщину слоя перемешивания и среднюю скорость ветра в нём.

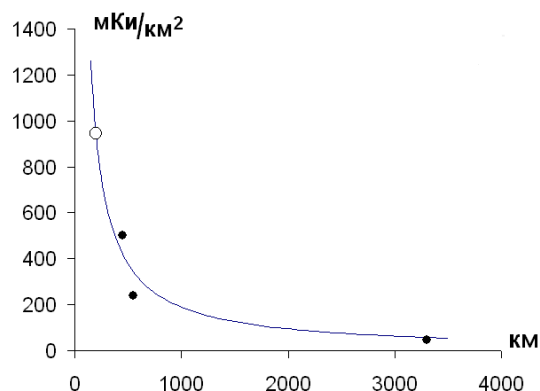


Рисунок 4. Измеренные и численно восстановленные по зависимости (10) выпадения трития в дальней осевой части следа взрыва 1004.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе решений уравнений переноса и диффузии примеси в атмосфере разработана малопараметрическая модель реконструкции осевой части следа полидисперсной примеси, что даёт возможность численного анализа данных наблюдений практически по всей оси следа. Апробация модели показала вполне удовлетворительное согласие с данными наблюдений следов наземных и подземных ядерных взрывов. Показано, что влияние вертикального распределения активности в облаке взрыва весьма существенно и для её учёта необходимо привлечение дополнительной априорной информации о мощности взрыва и соответственно положения нижней и верхней кромки облака взрыва.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект № 4.4, интеграционного проекта СО РАН № 84.

МОДЕЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛЕЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Цатуров Ю.С., Назаров И.М., Петров В.Н., Стукин Е.Д., Фридман Ш.Д., Кантарович Р.С., Федоткин А.Ф., Керцман В.М. // Метеорология и гидрология. - 1994. - № 8. - С. 5-18.
2. Израэль Ю.А., Стукин Е.Д., Цатуров Ю.С. // Метеорология и гидрология. - 1994. - № 12. - С. 5-14.
3. Седунов Ю.С., Борзилов В.А., Клепикова Н.В., Чернокожин Е.В., Троянова Н.И. // Метеорология и гидрология. - 1989. - № 9. - С. 5-10.
4. Рапута В.Ф. // Вычислительные технологии. - 2006. - Т. 11, Ч. 2. - Спецвыпуск. - С. 10-16.
5. Прессман А.Я. // Инженерно-физический журнал. - 1959. - Т. 2, № 3. - С. 78-87.
6. Петров В.Н., Прессман А.Я. // ДАН СССР. - 1962. - Т. 146, № 1. - С. 86-88.
7. Андрюшин И.А., Чернышев А.К., Логачёв В.А., Михалихина Л.А., Степанов Ю.С., Красилов Г.А., Матущенко А.М., Дубасов Ю.В. // Вестник научной программы "Семипалатинский полигон - Алтай". - 1995. - № 2. - С. 102-108.
8. Лоборев В.М., Замышляев Б.В., Судаков В.В., Зеленов В.И., Габбасов М.Н., Марковцев А.С., Бочаров М.В., Басиков О.Т. Оценка уровней радиоактивного загрязнения территории Алтая и эффективных доз облучения населения от ядерных взрывов, проведённых на Семипалатинском полигоне / Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края. – Барнаул, 1993. – Т. 1. – Кн. 2. – С. 5-125.
9. Ядерные испытания СССР: современное радиозоологическое состояние полигонов. / Кол. авторов под рук. проф. В.А. Логачева – М.: Изд.АТ, 2002. – 639 с.
10. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. – СПб: «Прогресс-погода», 1996. -355 с.
11. Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Резникова И.К. // Оптика атмосферы и океана. - 2008. – Т. 21, № 6. - С. 558-562.