

Библиографический список

1. Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методы интерпретации данных мониторинга загрязнения снежного покрова / Химия в интересах устойчивого развития. - 2002. - Т. 10. - С. 669-682.
2. Mishra S., Siddiqui N.A. A Review On Environmental and Health Impacts Of Cement Manufacturing Emissions / International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences. - 2014. - V. 2, Iss. 3. - P. 26 – 31.
3. Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В., Рязанов М.А., Казаков В.Г. Состояние снежного и почвенного покрова вблизи цементного завода / Вода: химия и экология. – 2010. – № 10. – С. 46-51.
4. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный порыв как индикатор кумулятивного техногенного загрязнения в сфере влияния городов и дорог / Метеорология и гидрология. – 2013. – № 3. – С. 94-106.
5. Лучицкая И.О., Белая Н.И., Арбузов С.А. Климат Новосибирска и его изменения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 224 с.
6. Вода. Нормы погрешности измерения показателей состава и свойств, ГОСТ 27384. 2002, Межгосударственный совет по стандартам, метрологии и сертификации. – Минск, 2002. – 8 с.

Kokovkin V.V.¹, Raputa V.F.²,

¹ Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk,

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk

DATABASE FOR CONTAMINATION OF AGRICULTURAL GROUNDS IN VICINITY OF INDUSTRIAL PLANTS OF NOVOSIBIRSK REGION

The results of field and chemical-analytical investigation of multicomponent snow cover contamination in vicinity of Iskitim cement and Novosibirsk electrode making plants fulfilled in 2016 - 2018 are presented. Correlation analysis of aerosol impurities intercomponent composition was done. It was shown that the main emission sources of heavy metals, PAH etc. are produced by the high-altitude pipes of these plants. The impact of industrial plant gas-aerosol emissions on agricultural objects is discussed.

Keywords: atmosphere, snow cover, contamination, polyaromatic hydrocarbons, model of impurity transference, assessment.

УДК 551.511.61

Ярославцева Т.В.¹, Рапута В.Ф.²,

*¹ Научно-исследовательский институт гигиены Роспотребнадзора,
Новосибирск,*

*² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск*

МОДЕЛИ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАБОТОК СЕЛЬХОЗПОЛЕЙ

Методами постановок обратных задач переноса примеси в приземном слое атмосферы для линейного источника построены модели оценивания качества аэрозольных обработок сельскохозяйственных культур. Рассмотрены случаи источников легкой, моно- и полидисперсной примеси. Проведена апробация модели оценивания на данных экспериментов по оседанию полидисперсных аэрозольных препаратов на пшеничном поле.

Ключевые слова: приземный слой атмосферы, аэрозоль, дисперсный состав, аэрозольный генератор, параметр, модель оценивания.

Одним из наиболее распространенных способов применения средств защиты растений является их использование в виде аэрозолей. Применение аэрозольных препаратов наземным или авиационным способом производится путем создания генератором облака частиц определенного размера, сносимого затем боковым ветром на обрабатываемый участок. При этом имеется возможность управления рядом параметров, позволяющих оптимизировать расход препарата, уменьшить вынос аэрозоля за пределы поля и т.д. [1–3].

Применение аэрозольных средств защиты от насекомых, сорняков, возбудителей болезней предусматривает процессы диспергирования рабочего вещества и его нанесение на обрабатываемый объект. От того, насколько удачно решаются эти задачи, будет зависеть эффективность применения препарата, степень его использования, загрязнение окружающей среды

и технико-экономические показатели защиты растений. Свойства аэрозольных систем, образующихся при распылении жидкостей, в значительной степени зависят от размера частиц. Крайне желательно проводить различные эксперименты: физические, технические, биологические, сельскохозяйственные с капельками регулируемого размера. При этом важно решить проблему равномерного нанесения препарата на растительность, обеспечить достаточную ширину захвата, уменьшить опасный снос капелек ветром за пределы сельхозмассива и тем самым повысить эффективность аэрозольной обработки.

В основе моделей оптимизации применения аэрозольной технологии лежит следующий критерий: исходя из условий работы, вида растительности и вредителей, токсичности ядохимиката, метеоусловий, по определенной математической модели переноса примеси оценить положения источников и оптимальные режимы работы аэрозольного генератора - требуемые размеры аэрозольных частиц и мощности их генерации.

Модель оценивания в приближении легкой примеси

Рассмотрим линейный источник конечной длины, расположенный на оси y в интервале (L_1, L_2) . Пусть горизонтальное направление ветра составляет с осью x угол β (отсчет ведется от оси x против часовой стрелки). Тогда распространение слабооседающей примеси от точечного источника, расположенного в точке $\eta \in (L_1, L_2)$ можно описать следующим соотношением [4]

$$q = \frac{M}{(1+n)k_1\varphi_0 x_P^2 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u_1 \cdot H^{1+n}}{k_1(1+n)^2 x_P} - \frac{y_P^2}{2\varphi_0^2 x_P^2}\right), \quad (1)$$

где M - мощность источника, φ_0 - дисперсия отклонений направления скорости ветра, k_1 , u_1 - коэффициент вертикального турбулентного обмена и скорость ветра на высоте 1 м соответственно, H - эффективная высота источника, n - показатель степени в аппроксимации скорости ветра степенным профилем; $x_P = a - \eta \sin \beta$, $y_P = b - \eta \cos \beta$
 $a = x \cos \beta + y \sin \beta$, $b = -x \sin \beta + y \cos \beta$.

В силу принципа суперпозиции концентрация q_{JI} для линейного источника определяется равенством

$$q_{JI}(x, y, \beta) = \theta_0 \cdot \int_{L_1}^{\eta_P} e^{-\frac{\alpha}{x_P} - \frac{y_P^2}{2\varphi_0^2 x_P^2}} \frac{d\eta}{x_P^2}, \quad (2)$$

$$\theta_0 = \frac{M}{(1+n)k_1\varphi_0\sqrt{2\pi}}, \quad \alpha = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}, \quad \eta_P = \begin{cases} L_2, & \text{при } y + x \operatorname{ctg} \beta \geq L_2 \\ y + x \operatorname{ctg} \beta, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В результате интегрирования выражения (2) получим

$$q_{JI} = \frac{\theta}{x} e^{-\frac{\alpha \cos \beta}{x} + \frac{\alpha^2 \varphi_0^2 \sin^2 \beta}{2x^2}} \cdot (\operatorname{erf} S_2 - \operatorname{erf} S_1), \quad (3)$$

$$\theta = \frac{M}{2k_1(1+n)}, \quad \operatorname{erf} S = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^S e^{-\xi^2} d\xi, \quad A_1 = L_1, \quad A_2 = \eta_P,$$

$$S_i = \frac{\varphi_0 \alpha \sin \beta}{x \sqrt{2}} - \frac{\cos \beta}{\varphi_0 \sqrt{2} \sin \beta} + \frac{x}{\varphi_0 \sqrt{2} \sin \beta (\alpha - A_i \sin \beta)}, \quad i = 1, 2.$$

Аналитическое выражение поля концентрации (3) с использованием агрегированных параметров θ и α вместо исходных u_1, k_1, H, n, M позволяет существенно упростить анализ данных наблюдений загрязнения приземного слоя воздуха. Параметры θ, α , а также φ_0 могут быть найдены с использованием (3) и данных наблюдений методом наименьших квадратов. Для повышения точности оценивания целесообразно использование математических методов планирования наблюдений.

При $L_1 \rightarrow -\infty, L_2 \rightarrow \infty$ из соотношения (3) вытекает формула для поля концентрации, создаваемого бесконечным линейным источником

$$q_\infty(x, \beta) = \frac{\theta}{x} e^{-\frac{\alpha \cos \beta}{x} + \frac{\alpha^2 \varphi_0^2 \sin^2 \beta}{2x^2}} \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{r(x, \beta)} e^{-\xi^2} d\xi \right). \quad (4)$$

$$\text{Здесь } r(x, \beta) = \frac{\varphi_0 \alpha \sin \beta}{x\sqrt{2}} - \frac{\cos \beta}{\varphi_0 \sqrt{2 \sin \beta}}.$$

Формула (4) позволяет получить ряд полезных соотношений. В частности, из (4) следует

$$q_\infty(x, \beta)|_{\beta=0} = \frac{2\theta \cdot e^{-\alpha/x}}{x}, \quad (5)$$

причем максимум выражения (5) достигается при $x_{\max} = \alpha$.

Тогда:

$$q_\infty(x_{\max}, 0) = \frac{(1+n)M}{eu_1 H^{1+n}}. \quad (6)$$

Рассмотрим другой крайний случай $\beta = \frac{\pi}{2}$. При $x \rightarrow 0$ получим:

$$q_\infty\left(x, \frac{\pi}{2}\right) = \frac{(1+n)M}{\sqrt{2\pi} \varphi_0 u_1 H^{1+n}}. \quad (7)$$

Из (7) вытекает, что при ветре, направленном вдоль линии хода аэрозольного генератора, концентрация существенно возрастает по сравнению с (1), поскольку, обычно $\varphi_0 < 0.15$.

Аэрозольный линейный источник

При ветре, направленном поперек источника монодисперсного аэрозоля, концентрация примеси определяется соотношением [4].

$$q_w(x, 0) = q_{JI}(x, 0) \cdot \chi(x, w). \quad (8)$$

Здесь:

$$q_{JI}(x, 0) = \frac{M}{2(n+1)k_1 x} e^{\frac{-u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1 x}}, \quad (9)$$

$$\chi(x, w) = \frac{\left[\frac{u_1 H^{(1+n)}}{(1+n)^2 k_1} \right]^\omega}{\Gamma(1+\omega) x^\omega}, \quad \omega = \frac{w}{(1+n)k_1}, \quad \Gamma(1+\omega) - \text{гамма-функция.}$$

Для полидисперсного аэрозоля плотность осадка препарата рассчитывается по формуле

$$p(x) = \sum_{i=1}^K \lambda(w_i) v(w_i) q_{w_i}(x), \quad (10)$$

где $\lambda(w)$ - заданная функция распределения спектра размеров аэрозольных частиц, $v(w)$ - функция, описывающая взаимодействие аэрозольных частиц с подстилающей поверхностью.

Введем следующие обозначения:

$$\theta_1 = \frac{G}{2(1+n)k_1}, \quad \theta_2 = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}, \quad \theta_3 = \frac{1}{(1+n)k_1}. \quad (11)$$

Тогда, с учетом (11), выражение (10) примет вид

$$p(x, \vec{\theta}) = \frac{\theta_1 \cdot e^{-\theta_2/x}}{x} \cdot \sum_{i=1}^K \left[\lambda(w_i) v(w_i) \frac{\theta_2^{w_i} \theta_3}{\Gamma(1+w_i \theta_3) x^{w_i \theta_3}} \right]. \quad (12)$$

Пусть данные измерения плотности осадка аэрозоля представляются в виде

$$y_n = p(x_n, \vec{\theta}) + \xi_n, \quad (13)$$

где ξ_n - ошибки измерения; $E[\xi_n] = 0$, $E[\xi_n \xi_{n'}] = \delta_{nn'} \sigma_n^2$, $n, n' = \overline{1, N}$.

Под решением обратной задачи (12), (13) будем понимать оценки метода наименьших квадратов для неизвестных параметров $\vec{\theta}^T = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ и функцию $p_N = p(x, \vec{\theta}_N)$ [5].

Анализ данных аэрозольного эксперимента

Апробация задачи оценивания (12, 13) проводилась на данных экспедиционных исследований распространения аэрозольного облака, создаваемого аэрозольным генератором регулируемой дисперсности (ГРД), над пшеничным полем. Аэрозольный генератор двигался с постоянной скоростью перпендикулярно направлению ветра. Плотности отложения вещества на растительности после прохождения аэрозольного облака определялись на различных расстояниях от линии хода генератора. Спектр размеров аэрозольных частиц для рассматриваемого опыта характеризовался следующими параметрами логнормального распределения:

$$d_m = 12.7 \text{ мкм}, \quad \sigma_g = 2.6$$

Здесь d_m – медианно-массовый размер частиц, σ_g – среднегеометрическое отклонение.

На рисунке 1 приведены результаты численного оценивания по трем опорным точкам измерений (светлые кружки) плотности выпадений препарата. Контроль точности численного восстановления поля концентрации выполнялся по остальным точкам измерений (темные кружки).

Анализ рисунка 1 показывает высокий уровень согласия измеренных и численно восстановленных концентраций препарата. Максимум концентрации обеспечивается, в основном, крупными аэрозольными фракциями. Дальняя зона поля концентрации формируется за счет мелких фракций аэрозоля.

Заключение

Построены модели контроля качества аэрозольных обработок сельскохозяйственных культур. В приближении моделей легкой, моно- и полидисперсной примеси методами постановок обратных задач переноса примеси в атмосфере по ограниченному числу точек отбора проб проведено оценивание плотности осадка аэрозольного препарата на растительности.

Анализ результатов моделирования для различных приближений показывает вполне удовлетворительное согласие измеренной и восстановленной плотности осадка аэрозоля. Наилучшее соответствие было получено на модели полидисперсного аэрозоля. Расчет плотности осадка с использованием модели легкой примеси требует значительно меньшего объе-

ма входной информации и представляется полезным при проведении предварительных оценок. Предложенные модели при выборе определенных критериев в тех или иных условиях могут быть использованы для оптимального выбора режимов работы аэрозольных источников в приземном слое атмосферы.

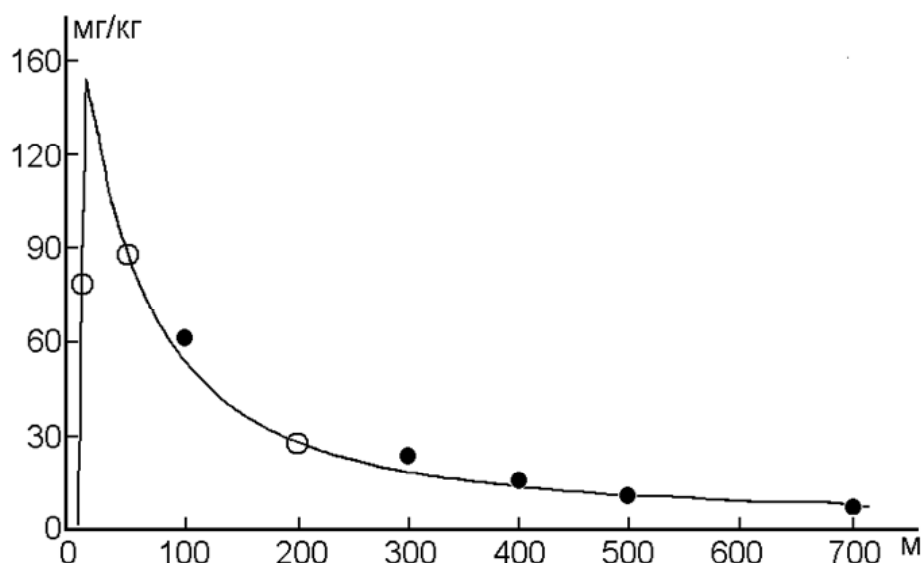


Рисунок 1 – Восстановленная плотность осадка на пшенице по модели оценивания в полидисперсном приближении. ○ – опорные, ● - контрольные точки измерений

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-47-540342; Программы Президиума РАН № 51 (проект 0315-2018-0016); государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0004).

Библиографический список

1. Горбачев И.В., Марченко Л.А., Кузьмин А.Ю. Технологические аспекты внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 6. – С. 13-16.
2. Ревякин Е.Л., Краховецкий Н.Н. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: научно-аналитический обзор. – М.: Росинформагротех, 2010. – 124 с.
3. Асовский В.П. Актуальные вопросы авиационной защиты растений // Защита растений. – 2008. – № 3. – С. 3-5.
4. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 448 с.
5. Рапута В.Ф., Шлычков В.А., Леженин А.А., Романов А.Н., Ярославцева Т.В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 8. – С. 713-718.

Yaroslavtseva T.V.¹, Raputa V.F.²,

¹ *Novosibirsk Institute of Science Research in Hygiene, Novosibirsk*

² *Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk*

MODELS OF THE ANALYSIS AND CONTROL OF THE PROCESSES OF AEROSOL TREATMENTS OF AGRICULTURAL FIELDS

Models for evaluating the quality of aerosol treatments of agricultural crops are constructed by using methods of inverse problems of impurity transfer in the surface layer of the atmosphere for a linear source. The cases of light sources, mono- and polydisperse impurities are considered. The approbation of the assessment model was carried out on the data of experiments on the sedimentation of polydisperse aerosol preparations in a wheat field.

Keywords: atmospheric surface layer, aerosol, dispersed composition, aerosol generator, parameter, estimation model.