

А.В. Аргучинцева, Н.В. Сирина

Моделирование распределения загрязняющих веществ в окрестности действия алюминиевых заводов

Иркутский государственный университет

Поступила в редакцию 27.11.2001 г.

Рассматриваются основные специфические вещества, выбрасываемые в атмосферу источниками алюминиевого завода. С учетом климатических особенностей местности моделируются зоны рискованного загрязнения с точки зрения нарушения установленных критериев. Приводятся данные о заболеваемости.

Среди 1000 городов Российской Федерации г. Шелехов входит в список 45 наиболее загрязненных. Несмотря на то что общая тенденция к уменьшению выбросов (за исключением оксидов азота) прослеживается (рис. 1), ежегодный индекс загрязнения атмосферного воздуха постоянно остается выше, чем в гг. Иркутске, Ангарске, Братске, и во много раз превышает средний индекс загрязнения по стране. Такой высокий уровень загрязнения обусловлен прежде всего спецификой производства алюминиевого завода,

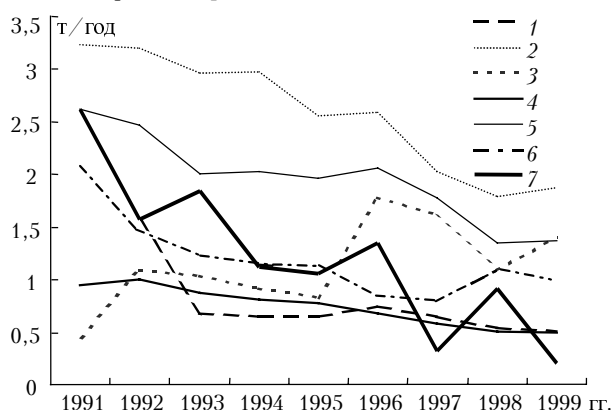


Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ: 1 — фториды; 2 — SO₂; 3 — NO_x; 4 — фтористый водород (HF); 5 — твердые выбросы × 10⁻¹; 6 — CO × 10⁻¹; 7 — пыль неорганическая × 10⁻¹

проблемы которого (как и для всех алюминиевых заводов страны) заключены в низком уровне утилизации вредных веществ, преобладании технологий самообжигающихся анодов, в отсутствии жесткого нормативного контроля и пр. Ситуация существенно осложняется выбросами предприятий теплоэнергетического комплекса, загруженностью центральных магистралей, выполняющих роль шоссе (трактовых) дорог, а также тем, что контролирующие организации могут иногда выдавать разрешения на временные согласованные выбросы загрязняющих веществ, превышающие по многим ингредиентам в несколько раз нормативы предельных допустимых выбросов.

Основными загрязнителями городской среды являются такие опасные ингредиенты, как, например, фтор, бериллий, алюминий, калий, кремний, литий, медь, натрий, никель, свинец, пятиокись ванадия, углеводороды и др.

Ответная реакция всего живого на качество среды обитания может быть не только на временные критически повышенные концентрации ингредиентов, причинами возникновения которых являются, например, неблагоприятные метеорологические условия, залповые и аварийные выбросы, химические реакции. Долговременное воздействие многих специфических веществ, даже в относительно малых концентрациях, также может приводить к постепенному их накоплению как в живых организмах (провоцируя проявления отдаленных канцерогенных, мутагенных и токсических последствий), так и на подстилающей поверхности (угнетая растительный покров, изменяя качество поверхностных вод). Поэтому наряду с абсолютными концентрациями ингредиентов, которые, как правило, измеряются или рассчитываются при определенных гидрометеорологических характеристиках, весьма важно знать дозу или время воздействия отравляющих веществ на постоянно проживающее население и окружающие ландшафты в зависимости не только от производственных параметров, но и климатических и орографических особенностей местности. С этой целью проанализированы климатические условия города, рассматриваемые как способность атмосферы к рассеянию примесей. Самыми неблагоприятными месяцами с точки зрения рассеивающей способности являются декабрь и январь, обеспеченность которых застойными явлениями, сопровождающимися приземными и мощными приподнятыми инверсиями, составляет не менее 40%.

По данным срочных многолетних метеорологических наблюдений рассчитывались функции корреляционных флуктуаций и плотностей вероятностей реализации ветров за интересующий отрезок времени (например, многолетний месяц). Эволюционная средняя концентрация \bar{c} рассматриваемого ингредиента рассчитывалась из уравнения

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{u}_i \bar{s}}{\partial x_i} + \frac{\partial w_g \bar{s}}{\partial x_3} + \bar{F} +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_i} \left(N_{ji}^{(1)} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x_j} - Q^{(1)} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \bar{v}_{ij} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x_j},$$

вывод которого приведен в работах [1–3].

Здесь введены следующие обозначения:

$$N_{ji}^{(1)} = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} u'_j(t + \tau) \int_t^{t+\tau} u'_i(t_1) dt_1 dt;$$

$$Q_{ji}^{(1)} = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} u'_j(t + \tau) \int_t^{t+\tau} F'(t_1) dt_1 dt,$$

u_i – компонента скорости среды по соответствующей координате x_i ($i = 1, 3$); w_g – скорость гравитационного осаждения, изменяющаяся в зависимости от фракции частиц; \bar{F} – средняя интенсивность источников примеси; t – время; \bar{v}_{ij} – коэффициенты турбулентной диффузии ($i, j = 1, 3$); τ – интервал между наблюдениями; T – рассматриваемый временной отрезок. Штрихи означают флуктуации вокруг соответствующих средних характеристик. По повторяющимся индексам производится суммирование.

Оценка вероятности появления опасных концентраций ингредиентов за рассматриваемый интервал времени ведется на основе численного решения второго уравнения Колмогорова, записанного в фазовой координате s :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial s} [A(t, s) p] + \frac{\partial^2}{\partial s^2} [B(t, s) p]$$

для начального состояния $p(0, s) = p_0(s)$ и граничных

условий $\frac{\partial(Bp)}{\partial s} - Ap = 0$ при $s \rightarrow \infty$ и $\int_0^\infty p(t, s) ds = 1$.

Здесь $p = p(t, s)$ – дифференциальный закон распределения величины s ; $A = \frac{\partial \bar{s}}{\partial t}$ и $B = \frac{1}{2} \frac{\partial \bar{s}^2}{\partial t}$.

Было рассмотрено более 30 опасных ингредиентов, выбрасываемых в атмосферу города свыше 160 источниками алюминиевого завода. На основе математических моделей [1–3] рассчитаны и картированы области рискованного (с точки зрения нарушения допустимых норм и времени воздействия отравляющих веществ на живые организмы) загрязнения окружающей среды различными ингредиентами с учетом вероятностной реализации всех ветров, имевших место в рассматриваемом интервале времени.

Приведем отдельные результаты расчетов для одного из неблагоприятных для рассеяния примесей месяцев – января. Выбросы многих веществ, например ацетон, древесная пыль, бутилацетат, оксиды хрома, этилацетат, формальдегид, масла аэрозольные, соединения марганца, едкий натр, пыль металлическая, этилцеллозоль, соединения свинца, этиловый и бутиловый спирты, толуол, сажа, пентаоксид ванадия, не создают опасных концентраций для населения. В таб-

лице приведены ингредиенты, по которым в одном из рассматриваемых месяцев могут быть превышения соответствующих им предельных допустимых концентраций.

Ингредиент	ПДК _{ср.сут}	Максимальная частота превышения ПДК в январе, ч
Бенз(а)пирен	0,000001	744
СО	3,0	85
Оксид хрома	0,002	85
Неорганическая пыль	0,15	576
Пыль алюминия	0,001*	704
Пыль абразивно-металлическая	0,04	576
Фтористый водород	0,005	558
NO _x	0,04	415
SO ₂	0,05	28
Твердые фториды	0,03	246
Пыль SiO ₂ >70%	0,05	207

* – max раз., мг/м³.

На рис. 2 приведены распределения твердых фторидов. Изолиния 1 охватывает область, в которой не менее 48 ч (в месяц) концентрация твердых фторидов превышает установленную ПДК. Изолинии проведены с шагом 48 ч. Особо опасная зона – зона промплощадки, где превышение ПДК может достигать почти 300 ч в месяц (см. таблицу и рис. 2).



Рис. 2. Частота превышения ПДК твердых фторидов в январе

Особое внимание уделено полициклическим ароматическим углеводородам, одним из распространенных индикаторов которых является бенз(а)пирен – вещество I класса опасности, представляющее собою бледно-желтые кристаллы, не растворимые в воде, и являющееся достаточно сильным и устойчивым канцерогеном, вызывающим злокачественные опухоли. В модели учтено 29 источников бенз(а)пирена. На рис. 3 иллюстрируется зона пятикратного превышения в январе установленной нормативами ПДК. Опасная

зона имеет радиус более 6 км. Изолинии проведены так же, как и на рис. 2.

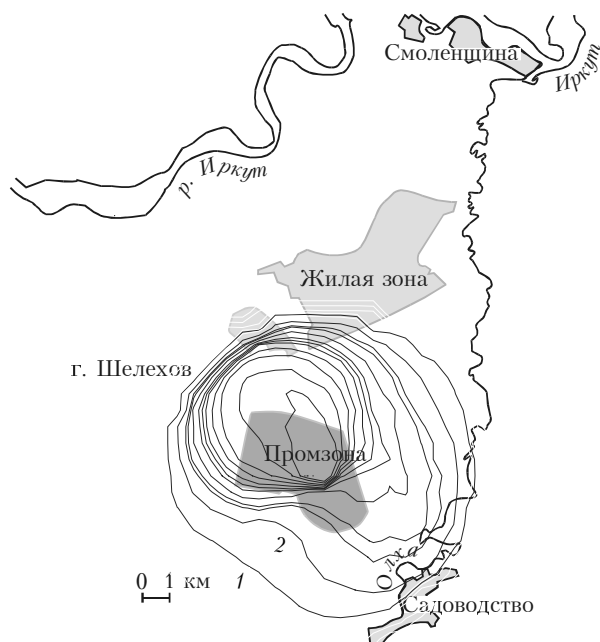


Рис. 3. Частота превышения 5 ПДК бенз(а)пирена в январе

Хорошее согласование показало сравнение результатов математического моделирования с данными наблюдений, проводимых ежедневно по отдельным ингредиентам (пыль, оксиды углерода и азота, твердые фториды, фтористый водород, формальдегид) на двух стационарных постах слежения за состоянием атмосферного воздуха. Моделирование помогло выявить вклад предприятий алюминиевого завода в общее загрязнение атмосферы, а также дать диагностику по различным ингредиентам, за которыми не ведутся систематические наблюдения. Проигрывание различных прогностических модельных вариантов изменения экологической обстановки и выбор из них наиболее оптимального возможны при условии предоставления данных о реорганизации промышленных предприятий.

Надо отметить, что в нашей стране по некоторым ингредиентам, к сожалению, нет четких ограничительных нормативов. Очень расплывчато понятие средней суточной предельной допустимой концентрации. До сих пор в полной мере не разработаны критерии воздействия загрязняющих веществ на растительность, отдельные виды которой подвержены угнетению даже при весьма низких концентрациях. Назрела необходимость рассматривать интегральные допустимые нормы воздействия различных сред на

живые организмы с учетом времени выведения и накопления отравляющих веществ.

Выбрасываемые предприятиями цветной металлургии вещества в атмосферный воздух могут при длительном воздействии вызывать различные заболевания: аллергию (этилацетат, формальдегиды), иммунные изменения (экологически загрязненные продукты), кардиологические нарушения (спирт этиловый, оксиды марганца, фтористый водород), гастроэнтерологические проявления (медь, этиловый спирт, фтористый водород, тяжелые металлы), болезни дыхательных путей (ванадий и его соединения, оксиды хрома, железа, кремния, серы, алюминия и пр.), нарушение эндокринной системы и осанки (например, соли тяжелых металлов), невралгию (соединения свинца, этиловый спирт, ацетон, оксиды марганца и пр.). Основываясь на данных [4], построен график (рис. 4) детской заболеваемости (возраст от 2 до 17 лет) в зависимости от пола ребенка.

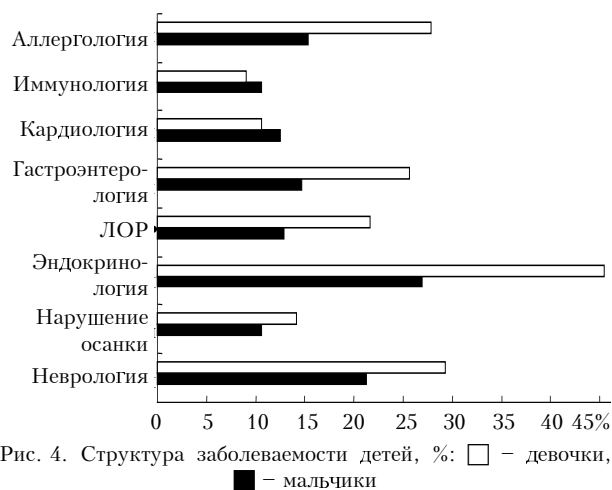


Рис. 4. Структура заболеваемости детей, %: □ – девочки, ■ – мальчики

1. *Аргучинцева А.В.* Вероятностный подход к моделированию задач рационального природопользования // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 499–502.
2. *Аргучинцева А.В.* Моделирование накопления на подстилающей поверхности полидисперсных аэрозолей антропогенного происхождения // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 865–870.
3. *Моделирование* и управление процессами регионального развития / Под ред. С.Н. Васильева. М.: Наука, 2001. 432 с.
4. *Отчет* «Оценка эффективности реализации комплекса медико-профилактических и лечебных мероприятий по оздоровлению детского населения Шелехова в 1996–2000 гг. и обоснование медико-профилактических мероприятий в проект программы на 2002–2007 гг.» / Л.И. Колесникова. Иркутск, 2001. 16 с.

A.V. Arguchintseva, N.V. Sirina. Simulation of pollutant distribution in areas near aluminum factories.

The article is devoted to basic specific substances emitted to the atmosphere by an aluminum factory. Taking into consideration climatic features of a territory, areas of hazardous pollution are simulated depending on violation of accepted standards. The data on sickness rate among children living in these areas are presented.