



УДК 551.511.42.001.572(571.14)

Экспериментальные и численные исследования загрязнения снежного покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций

В. Ф. Рапута (raputa@sscc.ru)

А. А. Леженин (lezhenin@ommfao.sccc.ru)

Т. В. Ярославцева (tani-ta@list.ru)

А. Ю. Девятова (devyatovaay@ipgg.sbras.ru)

Аннотация. На основе решений уравнения переноса примеси в нижней атмосфере предложена модель реконструкции полей концентрации от непрерывных высотных источников. С использованием разработанной модели и данных мониторинга загрязнения снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска проведено численное восстановление полей выпадения пыли. Рассмотрено влияние эффектов поворота ветра в пограничном слое атмосферы на формирование поля длительных выпадений аэрозольной примеси. Представлены оценки суммарных выпадений пыли по территории города от труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3.

Ключевые слова: атмосфера, снежный покров, мониторинг, загрязнение, пыль, численное моделирование, реконструкция.

Введение

При сжигании углеводородного топлива энергетическими установками происходит значительное загрязнение атмосферы городов. Этому способствует также неблагоприятные метеорологические условия (слабые ветры, температурные инверсии, туманы и т. д.), приводящие к появлению смога, что представляет большую опасность для здоровья населения [1; 2; 5; 6; 10; 12].

Отрицательное влияние тепловых электростанций (ТЭЦ) на окружающую среду в значительной степени связано с расходом больших количеств кислорода на горение топлива и поступлением в атмосферу окислов азота, серы, углерода, полиароматических углеводородов. В выбросах ТЭЦ содержатся тяжелые металлы и их соединения, присутствуют также радиоактивные элементы [17; 19]. Их наличие приводит к возникновению проблемы долговременного заражения местности и может стать причиной роста заболеваемости населения. Поэтому встает необходимость изучения состава загрязняющих веществ и закономерности их распространения в воздушном бассейне городов.

Численному восстановлению полей аэрозольных выпадений примесей по данным точечных измерений концентраций посвящено значительное количество работ [13; 14; 18; 16; 19]. В них в основном обсуждаются проблемы реконструкции полей наземных концентраций от одиночного источника или от близкорасположенных источников выбросов оседающих в атмосфере примесей. Исследование случаев достаточно удаленных друг от друга источников, допускающих взаимное наложение полей выпадений, существенно сложнее как в экспериментальном плане, так и в последующей численной интерпретации результатов наблюдений. В этом случае при проведении натурных исследований необходимо более тщательное планирование размещения точек отбора проб с учетом геометрических и динамических параметров источников, априорных сведений о характеристиках дисперсного состава, текущих гидрометеорологических условий, пространственных ограничений на размещение системы наблюдений в условиях города и т. д. В теоретическом плане происходит заметное увеличение в моделях реконструкции количества оцениваемых параметров, даже с использованием малопараметрических описаний процессов распространения примесей [16; 18; 19]. Это приводит к необходимости разработки алгоритмов решения возникающих оптимизационных задач, привлечения методов теории планирования экспериментов, учёта априорных сведений о размещении и характеристиках источников примеси [16; 20].

Объекты исследования

Топливо-энергетический комплекс г. Новосибирска включает в себя несколько крупных ТЭЦ, а также около 200 мелких и средних котельных [15]. Новосибирские ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 входят в объединенную энергосистему Сибири. Они расположены в Ленинском районе г. Новосибирска в пределах городской застройки.

Основным топливом для ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 является каменный и бурый уголь, растопочным – мазут топочный. Проектным топливом является:

– для ТЭЦ-2 – каменный уголь марок «Т» и «СС» Кузнецкого месторождения;

– для ТЭЦ-3 – каменный уголь марки «Т» Кузнецкого месторождения и бурый уголь марки «БР» Канско-Ачинского бассейна.

Характеристика углей Кузнецкого бассейна. В Кузнецком бассейне распространены каменные угли разнообразного качества, для которых характерны: невысокая зольность (15 %) и низкое содержание серы (0,4–0,6 %). Зола углей Кузнецкого бассейна, содержащая много кремнезема (до 60 %) и мало окислов железа (< 10 %), обладает повышенной тугоплавкостью. Часть топок, сжигающих кузнецкий уголь такого качества, работает на жидком шлакоудалении. Зола углей отдельных резервов с открытой добычей имеет повышенное содержание окиси кальция (до 20 %), в связи с чем отмечается более низкими температурами плавкости.

Характеристика углей Канско-Ачинского бассейна. Угли месторождений бассейна отличаются низкой зольностью. Результаты химического

анализа показывают, что зола углей Канско-Ачинского бассейна характеризуется повышенным содержанием окиси кальция (25–45 %), температура плавления составляет 1100–1450°C.

На ТЭЦ-2 выброс отходящих газозвдушных смесей происходит через две близко расположенные дымовые трубы высотой 100 и 120 м соответственно диаметрами 5,1 и 8 м. Северо-западнее от ТЭЦ-2 на расстоянии 1,6 км находится промплощадка ТЭЦ-3. Выброс отходящих газозвдушных смесей происходит в основном через трубу высотой 120 м и диаметром 8,2 м. Расчетные выходы золы и шлака по ТЭЦ-2 в среднем составляют 120 тыс. т/год, по ТЭЦ-3 – 130 тыс. т/год.

Основными загрязняющими веществами, которые выбрасываются в атмосферу при работе ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, являются бенз(а)пирен, предельные углеводороды, зола углей, окислы азота, серы, углерода, сероводород, мазутная зола (в пересчете на ванадий), пыль неорганическая – от 70 до 20 % двуокиси кремния.

Экспериментальные исследования

Снежный покров является удобным индикатором аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха. Изучение пространственного распределения загрязнения в снеге позволяет произвести многие исследования: выявить источники выбросов аэрозольных примесей, дифференцировать зоны интенсивности воздействия и дальность распространения, оценить суммарный выброс и характеристики дисперсного состава примеси [7].

При эмиссии горячих газов из высоких труб происходит их дополнительный подъём относительно источника за счет сил плавучести и динамического импульса. Выбросы газоаэрозольной смеси из труб рассматриваемых ТЭЦ производятся на высотах более 120 м. Известно, что сила Кориолиса обуславливает правый поворот ветра с высотой в нижней атмосфере. Угол поворота зависит от многих факторов, а его теоретическое значение составляет около 30° [1; 4; 8]. Чем больше высота выброса и выше температура смеси, тем значительнее проявляется эффект поворота скорости ветра. Тяжелые частицы, попав в атмосферный поток, наряду с горизонтальным дрейфом испытывают смещение по вертикали и вследствие этого меняют направление переноса в соответствии с локальным направлением вектора скорости. Это обуславливает сложную трехмерную структуру траекторий седиментирующей примеси и своеобразие следа выпадений, которое выражается в существенном различии между осью следа и ориентацией преобладающего направления приземного ветра. Заметим, что у низкорасположенных источников эмиссии, где поворот ветра не играет серьезной роли, обычно выдерживается высокая корреляция между директрисой основного переноса и осью шлейфа.

Для характеристики ветрового режима в пограничном слое атмосферы для зимнего периода времени использовались климатические данные с аэрологической станции г. Новосибирска [9], приведенные на рис. 1. С учетом

высоты труб и повторяемости направлений ветра преобладающие выпадения аэрозольных примесей в зимнее время следует ожидать в северо-восточном направлении.

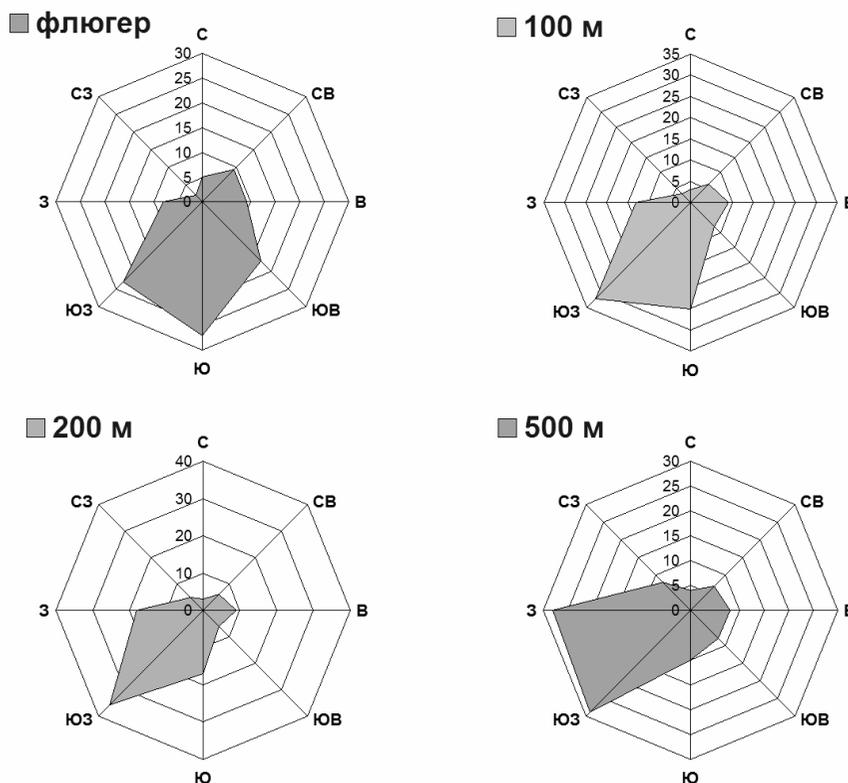


Рис. 1. Среднезимние розы ветров для г. Новосибирска на высоте флюгера и на высотах 100, 200, 500 м, по данным аэрологического зондирования

Для оценки влияния ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска на состояние атмосферного воздуха и территорий города использовались снеговые пробы, отобранные с учетом условий переноса и рассеяния загрязняющих веществ. Маршрутный отбор проб снега в окрестностях ТЭЦ проводился 12 марта 2014 г. Схема отбора проб представлена на рис. 2. Точки наблюдений располагались на открытых участках местности с учетом застройки, ближайших локальных источников (автодороги, частный сектор, мелкие котельные), лесной и парковой зоны. Выполнение перечисленных условий в пределах города является непростой задачей, и как правило, успешность ее решения устанавливается на более поздних стадиях исследования при интерпретации данных наблюдений.

Керны снега отбирались при помощи пластмассовой трубы на участках, где сохранился неповрежденный снеговой покров. Лабораторная обработка снеговых проб заключалась в фильтровании снеготалой воды и после-

дующем определении массы сухого осадка. Результаты лабораторных исследований и расчеты концентрации пыли в районе ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Твердый осадок в пробах, взятых в окрестностях ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3
(12 марта 2014 г.)

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
мг/л	50	146	87	80	102	58	63	20	93	68	79	67
г/м ²	4,1	13,1	7,5	6,3	7,6	4,4	5,8	2,1	9,1	5,6	4,9	5,8

Примечание. Измеренное содержание осадка в растопленной снеговой пробе, взятой у поста 1 Росгидромета (центр города), составило 115 мг/л.

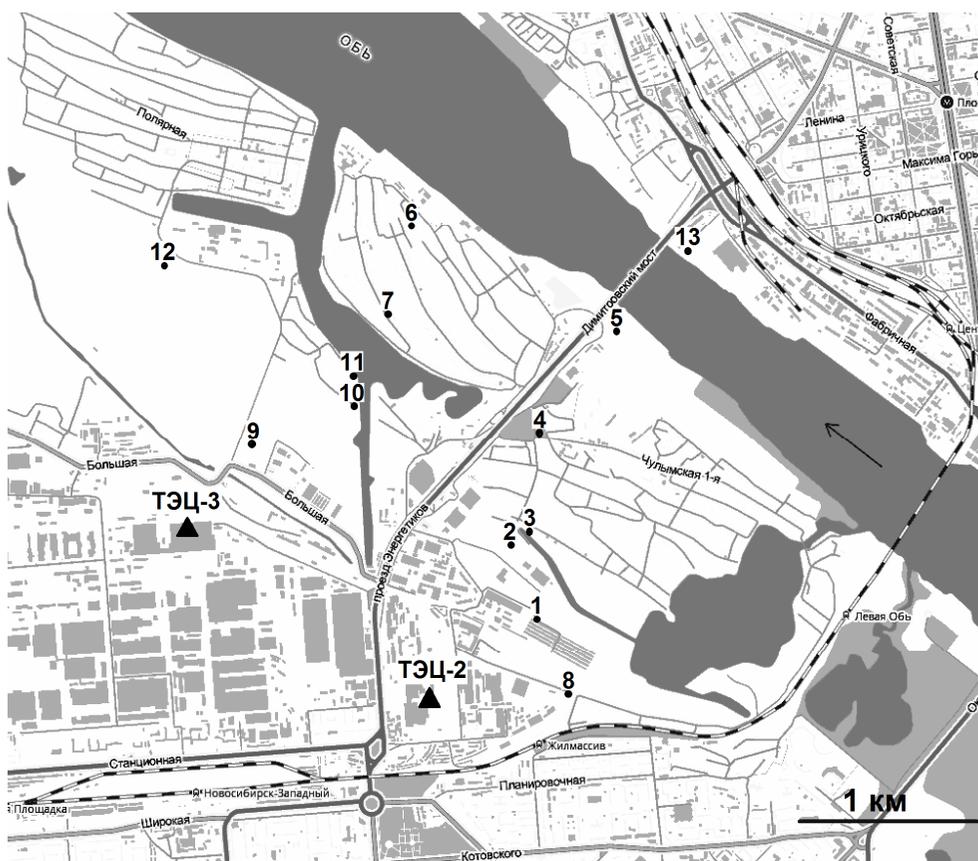


Рис. 2. Схема отбора проб снега. Чёрный треугольник – положение источника

Результаты измерений анионного состава снежных проб представлены в табл. 2. Измерения проводились потенциометрическим методом определения значений концентраций ионов Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , F^- , NH_4^+ на приборе «Эксперт-001». Метод определения концентраций этих ионов основан на изме-

рении потенциала соответствующего ионоселективного электрода, который зависит от концентрации определяемого иона в растворе. Измерение проводят относительно электрода сравнения, потенциал которого не зависит от состава раствора. По величине измеренного потенциала прибор автоматически определяет концентрацию иона в водном растворе. Для этого предварительно выполнялась градуировка прибора и электродной системы по стандартным растворам (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} и 10^{-5} моль) определяемого иона. Если концентрация иона в растворе превышала верхнее значение диапазона измеряемых концентраций, то производили уменьшение концентрации путем последовательного разбавления раствора [11].

Таблица 2

Результаты химико-аналитических исследований ионного состава снеготалой воды

№ пробы	рН	Ионный состав снеготалой воды					
		SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	F ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
ПДК для воды		500	350	1,5	2	3	45
1	5,75	7,7	1,5	0,22	0,68	0,33	1,3
2	7,18	9	0,6	0,09	0,22	0,19	0,66
3	7,17	12	0,75	0,09	0,52	0,28	0,55
4	7,20	13	2,6	0,12	1,20	0,69	0,76
5	7,51	9	4,3	0,12	0,37	0,82	0,79
6	7,09	7,9	0,33	0,065	0,30	0,36	0,51
7	7,24	6,9	0,18	0,05	0,19	0,45	0,40
8	5,58	7,2	0,3	0,05	0,37	0,38	0,39
9	7,43	11	0,5	0,082	0,18	0,60	0,57
10	7,07	7	0,34	0,09	0,69	0,70	0,55
11	7,13	7	0,35	0,06	0,39	0,59	0,37
12	7,18	8,7	0,11	0,031	0,15	0,54	0,39
13	7,52	15	2,5	0,11	0,26	0,94	0,77

Определение Cl⁻ проводилось с помощью ионоселективного электрода «Элит-261» и электрода сравнения «ЭСр-10101», заполненного трехмолярным раствором KNO₃. Диапазон измеряемых концентраций – от 0,4 до 3550 мг/л. Измерение анионов NO₂⁻ выполнялось с помощью ионоселективного электрода «Элит-071» и электрода сравнения «ЭСр-10101», заполненного трехмолярным раствором KCl. Диапазон измеряемых концентраций – от 0,4 до 4600 мг/л. Анализ концентраций NO₃⁻ проводился с помощью ионоселективного электрода «Элит-021» и электрода сравнения «ЭСр-10101», заполненного трехмолярным раствором KCl. Диапазон измеряемых значений – от 0,6 до 6200 мг/л. Определение F⁻ выполнено с помощью ионоселективного электрода «Элит-221» и электрода сравнения «ЭСр-10101», заполненного трехмолярным раствором KCl. Диапазон измеряемых величин – 0,02–1900 мг/л. Определение NH₄⁺ проведено с помощью ионоселективного электрода «Элит-051» и электрода сравнения «ЭСр-10101», заполненного трехмолярным раствором KCl. Диапазон измеряемых концентраций – от 0,2

до 1800 мг/л. Точность используемых методик определения концентраций ионов составляет 10–20 %.

Снег обладает высокой сорбционной способностью. В результате химической трансформации в нём происходит превращение ряда газовых примесей в соответствующие анионные компоненты. Газовыми предшественниками сульфатов, нитратов, нитритов являются окислы серы и азота.

Изученная снеготалая вода по водородному показателю (рН) относится к нейтральной и слабокислой. Снег, отобранный в зоне влияния ТЭЦ, отличается повышенными содержаниями азотсодержащих соединений. Анализ табл. 2 показывает, что изменения нитритов и нитратов имеют одинаковую направленность изменения концентраций по мере удаления от ТЭЦ. Следует также отметить, что концентрации азотсодержащих соединений (иона аммония, нитрата и нитрита ионов) в талых пробах снега не превышают ПДК для водных и рыбохозяйственных объектов.

Динамика изменений концентраций сульфатов и хлоридов с удалением от ТЭЦ менее характерна, что может быть обусловлено наличием дополнительных источников этих примесей. В частности, наличие хлоридов связано с интенсивностью применения антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период, основой которых в г. Новосибирске является песчано-соляная смесь, содержащая катионы щелочных и щелочно-земельных металлов и анионы соляной кислоты. Оксиды серы, содержащиеся в выбросах автотранспорта, в снежном покрове преобразовываются в сульфаты и сульфиты. Максимальные значения хлоридов и сульфатов в снеготалой воде зафиксированы в точках 4, 5, 13 (табл. 2), что объясняется их близостью к крупной автомагистрали города – Димитровскому мосту (см. рис. 2). Отметим, что содержания этих веществ в изученных пробах не превышает ПДК.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие предварительные выводы:

- согласно приземной розе ветров в зимнем сезоне преобладают ветры южного и юго-западного направлений, однако следует учитывать, что выброс осуществляется на достаточно большой высоте, поэтому в расчетах следует использовать розу ветров, осреднённую в слое до высот 150–200 м;

- из данных наблюдений, представленных в табл. 1, 2, и повторяемости ветра на различных высотах в зимнее время (рис. 1) следует, что наибольший вклад в аэрозольное загрязнение территорий города вносит ТЭЦ-2;

- водородный показатель для большинства проб находится в пределах $\text{pH} = 7,07 - 7,52$, что говорит о нейтральной среде. Только в двух пробах, а именно 1 и 8 (площадке в непосредственной близости к ТЭЦ-2), $\text{pH} = 5,58$ и $5,75$, что соответствует слабокислой среде;

- вес осадка пыли в точках наблюдений имеет тенденцию к уменьшению при удалении как от ТЭЦ-2, так и от ТЭЦ-3, и лишь для некоторых исследованных проб снега выявлены заметно большие значения, что можно объяснить локальным влиянием близко находящихся пылящих источников;

– по мере удаления от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 прослеживается характерная динамика изменения концентраций нитритов и нитратов. Помимо выбросов ТЭЦ, дополнительными источниками поступления сульфатов и хлоридов могут быть выбросы автотранспорта и антигололедные средства. В пространственном распределении фторидов и аммония не просматривается отчетливых тенденций.

Реконструкция поля выпадений примеси от одиночной трубы

Исходным для построения моделей восстановления загрязнения снега по данным наблюдений концентраций является соотношение [3]

$$\bar{q}_{\bar{\tau}} = \int_0^{\infty} q \rho_{\tau, \bar{\tau}}(q) dq, \quad (1)$$

выражающее связь между $\bar{q}_{\bar{\tau}}$ – средней концентрацией за длительный период $\bar{\tau}$ и q – разовыми концентрациями, относящимися к интервалу времени $\tau, \bar{\tau}$, $\rho_{\tau, \bar{\tau}}$ – плотность вероятности для разовых концентраций.

Значения q находятся на основании решений стационарного уравнения турбулентной диффузии [2; 6].

При расчете средних концентраций в приземном слое атмосферы определяющее значение имеют часто встречающиеся метеорологические условия. К ним относятся так называемые нормальные метеоусловия, для которых применимы следующие степенные аппроксимации скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена [2]

$$u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n, \quad K_z = K_1 \frac{z}{z_1}, \quad (2)$$

где u_1 и K_1 – значения u и K_z при $z = z_1$.

С учетом вышесказанного, переходя в (1) к полярным координатам, получаем следующее представление для средней приземной концентрации [3]:

$$\bar{q}(r, \varphi) = \int_{\Omega} \int q(r, \phi, K_1, u_1) P_1(K_1, u_1) dK_1 du_1, \quad (3)$$

где r, φ – полярные координаты, $P_1(K_1, u_1)$ – совместная плотность вероятности K_1 и u_1 за период осреднения,

$$q(r, \varphi, K_1, u_1) = \frac{P(\varphi + 180^\circ) \cdot q_{\Lambda}(r, K_1, u_1)}{r}. \quad (4)$$

Здесь $P(\varphi)$ – приземная роза ветров, q_{Λ} – разовая концентрация от линейного источника.

Использование степенных аппроксимаций (2) скорости ветра и коэффициента турбулентного обмена дает возможность представить $q_{\Lambda}(r, K_1, u_1)$ в аналитической форме [2]

$$q_{\Delta} = \frac{Q}{(1+n)K_1 \varphi_0 r \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u_1 H^{1+n}}{K_1 (1+n)^2 r}}, \quad (5)$$

где Q, H – мощность и эффективная высота источника, φ_0 – дисперсия направлений ветра.

Полагая, что концентрация примеси в снеге $\Phi(r, \varphi)$ пропорциональна ее концентрации в атмосфере, с учетом (3)–(5) приходим к следующей регрессионной зависимости

$$\Phi(r, \varphi, \bar{\theta}) = B(r, \bar{\theta}) \cdot P(\varphi + 180^\circ), \quad (6)$$

где

$$B(r, \bar{\theta}) = \theta_1 \cdot r^{\theta_2} \cdot e^{-\frac{2r_m}{r}}. \quad (7)$$

Оценки неизвестных параметров θ_1, θ_2 могут быть найдены с использованием данных наблюдений, например по методу наименьших квадратов. Параметр r_m определяется через геометрические характеристики источника [2].

Регрессионная зависимость (6) позволяет проводить восстановление полей аэрозольных выпадений примесей по сравнительно небольшому числу опорных точек измерения [18; 20]. Остальные точки пробоотбора могут использоваться для проверки адекватности предложенной модели восстановления.

Численная модель оценивания суперпозиции полей выпадений пыли в случае двух источников

Пусть в плоскости (x, y) расположены два источника с координатами (x_1^0, y_1^0) и (x_2^0, y_2^0) . Тогда с учетом соотношения (6), (7) суммарное поле выпадений примеси от обоих источников можно представить в виде

$$\Phi(x, y, \bar{\theta}, \bar{S}) = \theta_1 \Phi_1(r, \varphi, \theta_2) + S_1 \Phi_2(\rho, \psi, S_2), \quad (8)$$

где $\Phi_1(r, \varphi, \theta_2) = r^{\theta_2} e^{-\frac{2r_{\max}}{r}} P(\varphi + 180^\circ)$, $\Phi_2(\rho, \psi, S_2) = \rho^{S_2} e^{-\frac{2r_{\max}}{\rho}} P(\psi + 180^\circ)$,

$$r = \sqrt{(x - x_1^0)^2 + (y - y_1^0)^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{y - y_1^0}{x - x_1^0},$$

$$\rho = \sqrt{(x - x_2^0)^2 + (y - y_2^0)^2}, \quad \psi = \arctg \frac{y - y_2^0}{x - x_2^0}.$$

Если использовать данные наблюдений в четырех точках местности, то для определения неизвестных параметров $(\theta_1, \theta_2, S_1, S_2)$ необходимо решить следующую систему четырех нелинейных уравнений

$$\Phi(x_j, y_j, \bar{\theta}, \bar{S}) = C_j, \quad j = \overline{1, 4}, \quad (9)$$

где C_j – концентрация примеси в точке (x_j, y_j) .

При численном решении системы уравнений (9) следует в первую очередь исключить параметры θ_1 и S_1 , входящие в нее линейно. В результате задача сводится к системе двух нелинейных уравнений для нахождения θ_2 и S_2 , решение которой можно найти стандартными методами [20].

Численный анализ данных измерений выпадений пыли в окрестностях ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3

С использованием моделей (6), (8) и данных наблюдений проведена реконструкция полей выпадений пыли на территории г. Новосибирска за зимний сезон 2013/14 гг. На рисунках 3–7 представлены результаты численного моделирования.

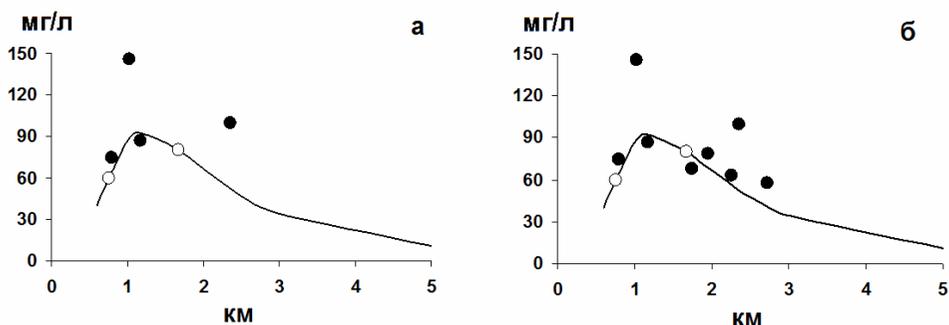


Рис. 3. Измеренная и восстановленная по модели (6) для ТЭЦ-2 концентрация пыли (мг/л), приведенная к зимней повторяемости ветров юго-западного направления. Светлые кружки – измеренные концентрации в точках 4 и 8 (опорные точки). Темные кружки (контроль) – концентрации, измеренные в точках 1, 2, 3, 5 (а) и в дополнительных точках 6, 7, 10, 11 (б)

Сравнительный анализ полученных результатов численного моделирования с данными наблюдений показывает их вполне удовлетворительное согласие. Заметные расхождения между измеренными и вычисленными концентрациями пыли в точках 2, 5, 12 на рис. 3 и 7 могут быть обусловлены влиянием локальных источников (автотрассы, частного сектора, пылящих поверхностей и др.). Тем более что эти отклонения носят мажорантный характер. В соответствии с розой ветров максимумы выпадений пыли расположены в северо-западных направлениях от ТЭЦ на расстояниях около 1 км, что указывает на заметную неоднородность в зимнее время дисперсного состава выпадающей пыли.

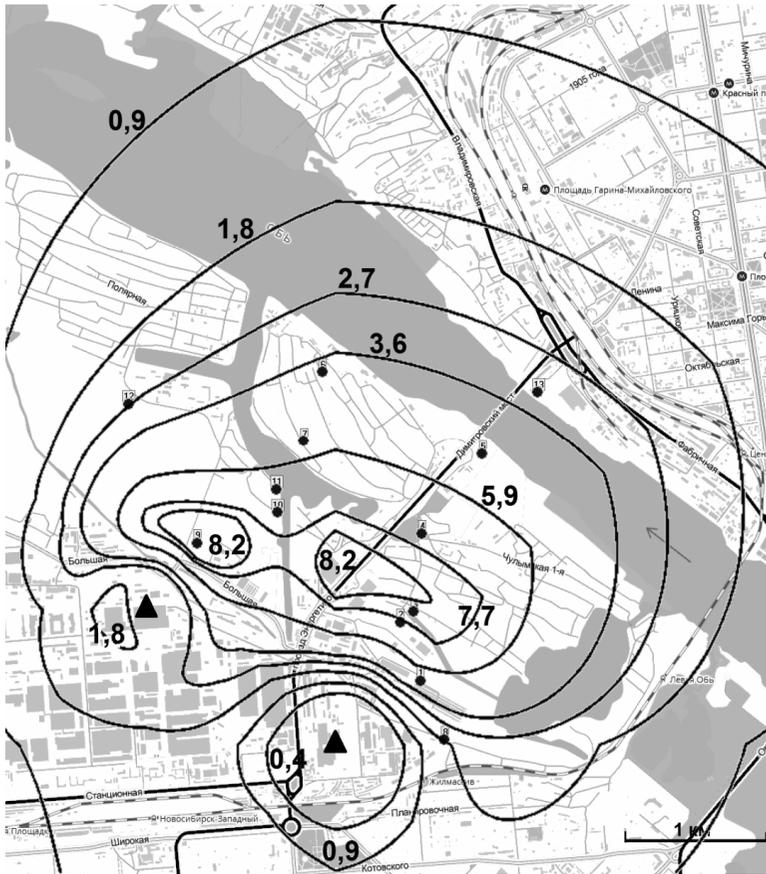


Рис. 6. Восстановленное с использованием зависимости (8) суммарное поле выпадений ($\text{г}/\text{м}^2$) пыли в снеге от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3

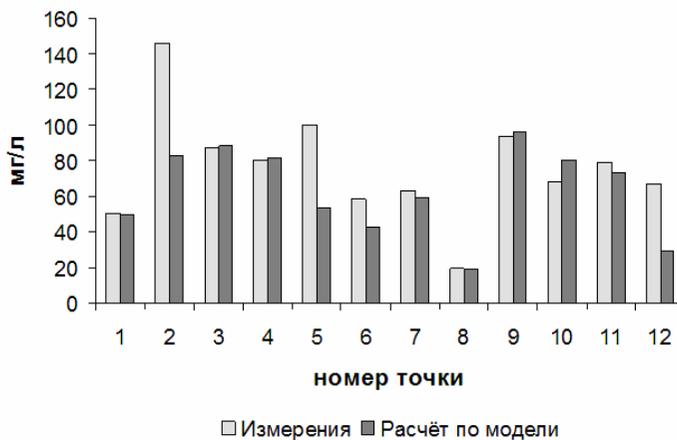


Рис. 7. Измеренные и восстановленные на основе модели (8) значения концентрации пыли в снеге ($\text{мг}/\text{л}$) от выбросов ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3

Оценка суммарных выпадений пыли

Одной из основных характеристик источника является выброс из него примеси за определённый промежуток времени. Если поле выпадений пыли количественно восстановлено по данным наблюдений, например с использованием зависимостей (6), (8), то возникает возможность оценить экономичным способом суммарный выброс пыли на основе следующего соотношения

$$Q_{sum} = \int_S \int \Phi(x, y) dx dy, \quad (10)$$

где S – область вокруг источника, на которую выпадает пыль, $\Phi(x, y)$ – плотность выпадений пыли, представленная в декартовых координатах.

Если область S является кольцеобразной относительно источника, то соотношение (10) с учётом (7) представляется в более удобном виде

$$Q_{sum} = \int_0^{2\pi} P(\varphi + 180^\circ) d\varphi \cdot \int_{R_1}^{R_2} B(r, \theta_1, \theta_2) r dr. \quad (11)$$

Соотношение (11) позволяет существенно упростить вычисление суммарных выпадений пыли в радиальных областях и оптимизировать количество точек отбора проб.

С использованием соотношений (10), (11) в табл. 3, 4 представлены оценки суммарных атмосферных выпадений пыли на различных территориях г. Новосибирска от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 за зимний сезон 2013/14 г. Расположение этих территорий приведено на рис. 8.

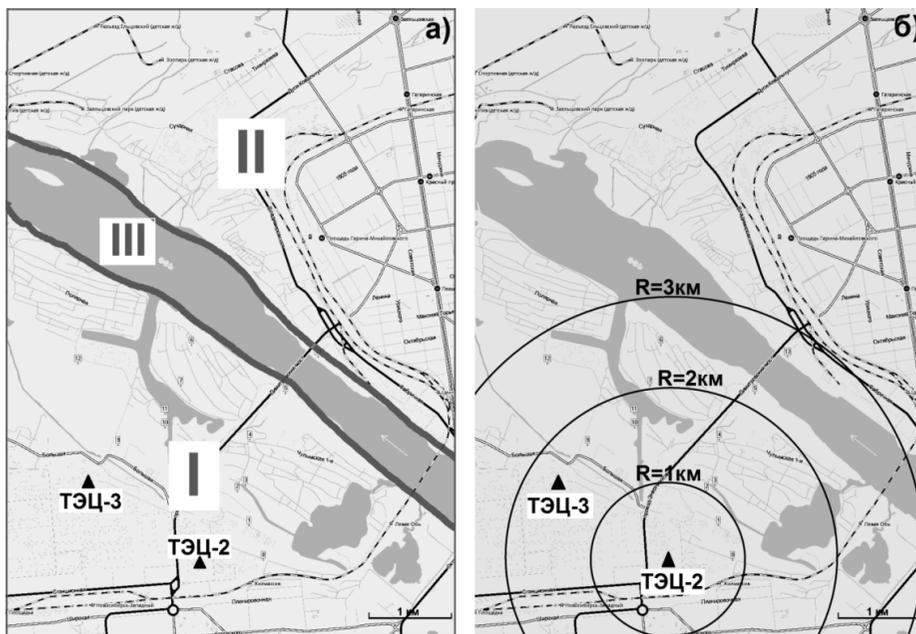


Рис. 8. Схемы размещения зон I–III (а) и радиальных областей (б)

Таблица 3

Оценки суммарных выпадений пыли на территориях I, II, III г. Новосибирска в зимнем сезоне 2013/14 г.

Источник пыли	Выпадения в I, т	Выпадения в II, т	Выпадения в III, т	Сумма, т
ТЭЦ-2	44,5	20,4	11,1	75
ТЭЦ-3	9	0,13	0,21	9,34

Таблица 4

Оценки суммарных выпадений пыли в радиальных областях на расстояниях 1, 2, 3 км от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 соответственно

Источник пыли	R = 1 км, т	R = 2 км, т	R = 3 км, т
ТЭЦ-2	5,3	33,7	60,8
ТЭЦ-3	5,4	9,4	10,1

Оценки суммарных выпадений пыли получены на основе монодисперсных моделей реконструкции (6), (8), диапазон применения которых зависит от разнородности дисперсного состава выбрасываемой в атмосферу пыли-зола из высотных труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3. Отметим, что в зимнее время на оседание пыли значительное влияние оказывают процессы вымывания ледяной крупой в факеле выброса [12]. Дальнейшее уточнение полей концентраций и оценок суммарных выпадений следует выполнять с использованием полидисперсных моделей реконструкции и более детальных систем мониторинга.

Заключение

Анализ результатов натурных исследований проб снега, взятых в районе ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска, показал, что загрязнение близлежащих территорий пылью, анионными компонентами относительно невелико. На маршрутах пробоотбора по мере удаления от ТЭЦ прослеживается характерная динамика изменения их концентраций. Эта динамика вполне согласуется с повторяемостью направлений ветра (розой ветров) в зимнее время.

На основе постановок обратных задач переноса примесей от совокупности источников и данных наблюдений по ограниченному числу опорных точек построена малопараметрическая модель реконструкции полей аэрозольных выпадений, предложен алгоритм ее численной реализации и метод оценивания суммарных выпадений пыли.

Численный анализ данных мониторинга снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска выявил существование достаточно простых закономерностей формирования полей длительного аэрозольного загрязнения местности. Согласие рассчитанных значений концентраций с измерениями в контрольных точках наблюдений является вполне удовлетворительным. Показана необходимость учета сведений о повторяемости направлений ветра во всём слое распространения примеси.

Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод о том, загрязнение от стационарных источников ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 проявляется на весьма обширной территории города, отчётливо прослеживаются зоны максимальных выпадений пыли от этих станций. Вынос пыли от ТЭЦ в правобережную часть города сравнительно небольшой. Однако следует отметить, что этот вклад представлен в основном мелкодисперсной фракцией пыли.

Список литературы

1. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф. Т. М. Ньистада, Х. Ван Допа. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 351 с.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 273 с.
3. Берлянд М. Е. Теоретические основы и методы расчетов поля среднегодовых концентраций примеси от промышленных источников / М. Е. Берлянд, Е. Л. Генихович, С. С. Чичерин // Тр. ГГО. – 1984. – Вып. 479. – С. 3–16.
4. Браун Р. А. Аналитические методы моделирования планетарного пограничного слоя / Р. А. Браун. – Л. : Гидрометеоздат, 1978. – 151 с.
5. Бызова Н. Л. Турбулентность в пограничном слое атмосферы / Н. Л. Бызова, В. Н. Иванов, Е. К. Гаргер. – Л. : Гидрометеоздат, 1989. – 263 с.
6. Бызова Н. Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси / Н. Л. Бызова, Е. К. Гаргер, В. Н. Иванов. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – 278 с.
7. Василенко В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 182 с.
8. Зилитинкевич С. С. Динамика пограничного слоя атмосферы / С. С. Зилитинкевич. – Л. : Гидрометеоздат, 1970. – 292 с.
9. Климат Новосибирска / под ред. С. Д. Кошинского, Ц. А. Швер. – Л. : Гидрометеоздат, 1979. – 221 с.
10. Ломакина Н. Я. Статистические модели высотного распределения температуры, влажности и ветра в пограничном слое атмосферы Восточной Сибири / Н. Я. Ломакина, В. С. Комаров, С. Н. Ильин // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, № 7. – С. 629–632.
11. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в природных водах титриметрическим методом РД 33-5.3.07-96 : утв. ком. РФ по водному хозяйству 28.06.1996 г. – М., 1996. – 15 с.
12. Некоторые закономерности загрязнения природной среды продуктами сгорания каменного угля на примере г. Кызыла / С. П. Беляев [и др.] // Метеорология и гидрология – 1997. – № 12. – С. 54–63.
13. Прессман А. Я. О распространении в атмосфере тяжёлой неоднородной примеси из мгновенного точечного источника / А. Я. Прессман // Инженер.-физ. журн. – 1959. – Т. 2, № 3. – С. 78–87.
14. Реконструкция фактической картины радиоактивного загрязнения местности в результате аварий и ядерных испытаний / Ю. А. Израэль [и др.] // Метеорология и гидрология – 1994. – № 8. – С. 5–18.
15. Состояние окружающей природной среды в Новосибирской области в 2000 г. Доклад Департамента природных ресурсов по Сибирскому региону / под ред. Г. В. Селиверстова, В. Ю. Александрова – Новосибирск, 2001. – 144 с.

16. Физико-математическое моделирование регионального переноса в атмосфере радиоактивных веществ в результате аварии на Чернобыльской АЭС / Ю. С. Седунов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 9. – С. 5–10.

17. Филимоненко Е. А. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) / Е. А. Филимоненко, А. В. Таловская, Е. Г. Языков // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, № 10. – С. 896–901.

18. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника / В. Ф. Рапута [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 8. – С. 713–718.

19. Экспериментальные и численные исследования длительного загрязнения снегового покрова ураном и торием в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) / А. В. Таловская [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 8. – С. 642–646.

20. Pitovranov S. E. Optimal sampler siting for atmospheric tracer experiments taking into account uncertainties in the wind field / S. E. Pitovranov, V. V. Fedorov, L. L. Edwards // Atmos. Environ. – 1993. – Vol. 27A, N 7. – P. 1053–1059.

Measurements and Numerical Studies of Snow Cover Pollution Near Thermal Power Stations in the City of Novosibirsk

V. F. Raputa, A. A. Lezhenin, T. V. Yaroslavtseva, A. Y. Devyatova

Abstract. A model based on a substance transport equation for the reconstruction of polydisperse substance fallout from a continuous high – altitude sources is proposed. A numerical reconstruction of dust cover in the vicinity thermal power stations (TPS) 2 and 3 in the city of Novosibirsk has been carried out with the model and the available pollution monitoring data. The effects of wind direction changes in the atmospheric boundary layer on the formation of long-term aerosol substance fallout are estimated. Estimates of total of dust fallout from TPS 2 and 3 over the city are presented.

Keywords: atmosphere, snow cover, monitoring, pollution, dust, numerical modeling, reconstruction.

Рапута Владимир Федотович
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник
Институт вычислительной
математики и математической
геофизики СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика
Лаврентьева, 6
тел.: 8(383)330-61-51

Raputa Vladimir F.
Doctor of Sciences (Physics and
Mathematics), Senior Research Scientist
Institute of Computational Mathematics
and Mathematical Geophysics SB RAS
6, Akad. Lavrentjeva pr., Novosibirsk,
630090
tel.: 8(383)330-61-51

Леженин Анатолий Александрович
кандидат физико-математических
наук, старший научный сотрудник

Lezhenin Anatoly Aleksandrovich
Candidate of Sciences (Physics and
Mathematics), Senior Research Scientist

*Институт вычислительной
математики и математической
геофизики СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика
Лаврентьева, 6
тел.: 8(383) 330-64-50*

*Institute of Computational Mathematics
and Mathematical Geophysics SB RAS
6, Akad. Lavrentjeva pr., Novosibirsk,
6630090
tel.: 8(383)330-64-50*

*Ярославцева Татьяна Владимировна
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Новосибирский НИИ гигиены
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека
630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7
тел.: 8(383)330-61-51*

*Yaroslavtseva Tatyana Vladimirovna
Candidate of Sciences (Technics),
Senior Research Scientist
Novosibirsk Scientific Research Institute
of Hygiene of Rospotrebnadzor
7, Parhomenko st., Novosibirsk, 630108
tel.: 8(383)330-61-51*

*Девятова Анна Юрьевна
кандидат геолого-минералогических
наук, старший научный сотрудник
доцент,
Институт нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика
Коптюга, 3
Новосибирский государственный
университет
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2
тел.: 8(383)330-23-12*

*Devyatova Anna Yurievna
Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Senior Research Scientist
Associate Professor,
Trofimuk Institute of Problem Geology and
Geophysics SB RAS
3, Akademika Koptuga pr., Novosibirsk,
630090
Novosibirsk State University
2, Pirogova st., Novosibirsk, 630090
tel.: 8(383)330-23-12*