

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

Эльза Андреевна Пьянова

*Институт вычислительной математики и математической
геофизики СО РАН*

Лариса Михайловна Фалейчик

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН



Рис. 1. Распределение концентрации SO_2 по маршруту Большие Коты — Иркутск утром (1) и вечером (2) 22 июля 2013 г.

В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, В.Л. Макухина, Е.В. Чипанина, И.И. Маринайте

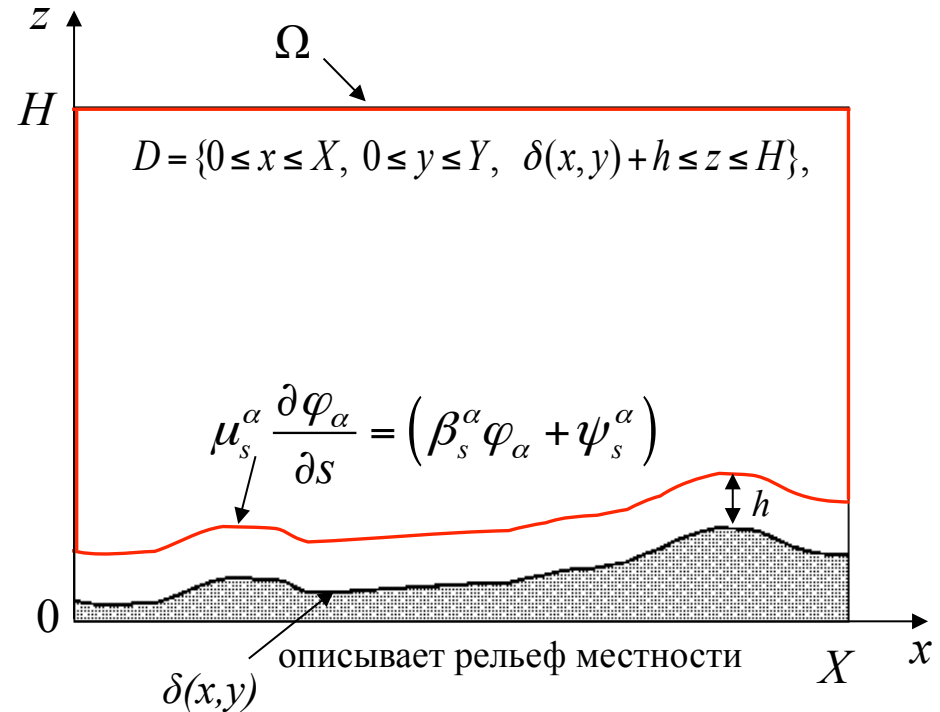
Особенности пространственного распределения диоксида серы в Прибайкалье по данным маршрутных измерений и численных экспериментов // *Метеорология и гидрология*, №12, 2014 2

Уравнения модели динамики атмосферы

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div} \rho u \mathbf{r} &= -\frac{\partial p'}{\partial x} + l \rho v + \Delta_u u, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div} \rho v \mathbf{r} &= -\frac{\partial p'}{\partial y} - l \rho u + \Delta_v v, \\ \frac{\partial \rho w}{\partial t} + \operatorname{div} \rho w \mathbf{r} &= -\frac{\partial p'}{\partial z} + \lambda \rho \vartheta' + \Delta_w w, \\ \frac{\partial \rho \vartheta'}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \vartheta' \mathbf{r} &= -S \rho w - \frac{\rho L_w \Phi_v}{c_p} + \Delta_\theta \vartheta', \\ \frac{\partial \rho q'}{\partial t} + \operatorname{div} \rho q' \mathbf{r} &= \rho \Phi_v - \rho w \frac{\partial \bar{Q}}{\partial z} + \Delta_q q', \\ \operatorname{div} \rho \mathbf{r} &= 0,\end{aligned}$$

$$p = \rho R T (1 + 0.608 q), \quad \theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{R/c_p}.$$

$$\Delta_\alpha = \frac{\partial}{\partial x} \mu_{\alpha x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_{\alpha y} \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_{\alpha z} \frac{\partial}{\partial z}$$



$$\varphi_\alpha (\alpha = \overline{1,5}) = u, v, w, \vartheta', q',$$

$\mu_s^\alpha, \beta_s^\alpha, \psi_s^\alpha$ – функции заданного вида

Уравнения интегрируются в области $D_t = D \times [0, \bar{t}]$, $[0, \bar{t}]$ – интервал времени ₃

Модель переноса пассивной примеси

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + (w - w_c) \frac{\partial c}{\partial z} = \Delta_c c + f_c,$$

$$c(\vec{x}, 0) = c^0(\vec{x}), \quad t = 0,$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = 0, \quad x = 0, X, \quad \frac{\partial c}{\partial y} = 0, \quad y = 0, Y, \quad \frac{\partial c}{\partial z} = 0, \quad z = H,$$

$$\mu_{cz} \frac{\partial c}{\partial z} = (\beta_c - w_c) c - f_0(x, y, t), \quad z = \delta(x, y),$$

$$\Delta_c = \frac{\partial}{\partial x} \mu_{cx} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_{cy} \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_{cz} \frac{\partial}{\partial z}$$

$\delta(x, y)$ — функция, описывающая рельеф местности

Модели были адаптированы к орографическим условиям Байкальского региона. Подготовка и обработка исходных данных о моделируемой области, визуализация и анализ результатов сценарных расчетов осуществлялась в геоинформационной среде ArcGIS.

Моделирование проводилось над территорией $666 \times 710 \text{ км}^2$.
Высота расчетной области 6 км.



По модели атмосферной динамики рассчитывался суточный ход метеорологических элементов, соответствующий типичным ситуациям для июля.

Два сценария:

стратификация нижних слоев фоновой атмосферы

- устойчивая;
- безразличная.

На **верхней границе** расчетной области задавался северо-западный внешний фоновый поток **4 м/с**.

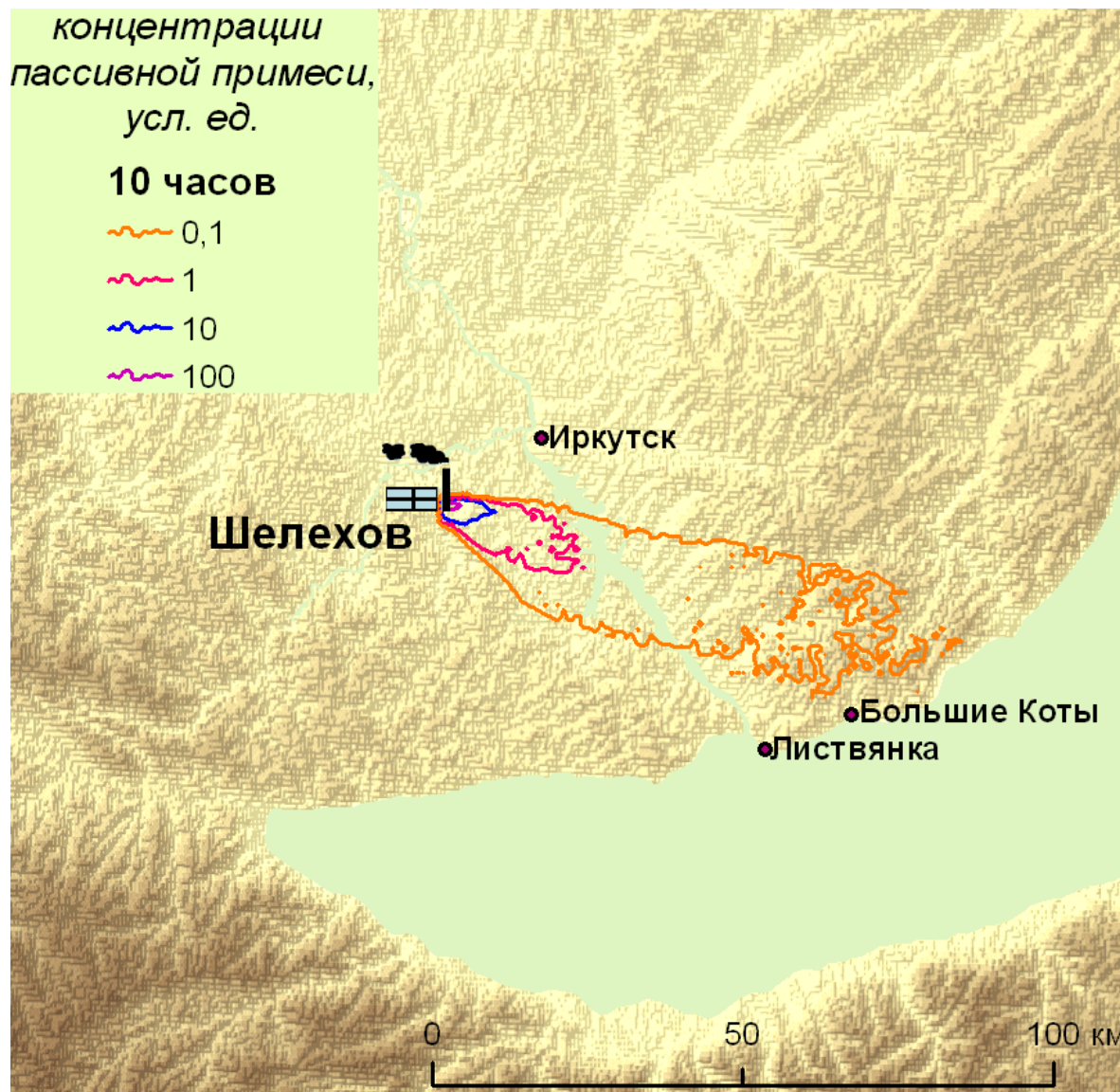
Численные расчеты проводились на сетке **667 x 711 x 50** узлов с

горизонтальными шагами **$\Delta x = \Delta y = 1000$ м**

и вертикальным шагом $\Delta z_k = \begin{cases} 100 \text{ м, } k=1, \dots, 35; \\ 150 \text{ м, } k=36, \dots, 40; \\ 200 \text{ м, } k=41, \dots, 50; \end{cases}$



Результаты расчетов на момент **8 ч утра** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**устойчивая** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **10 ч утра** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**устойчивая** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **12 ч** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**устойчивая** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **16 ч** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**устойчивая** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **8 ч утра** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**нейтральная** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **10 ч утра** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**нейтральная** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **20 ч** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**нейтральная** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)



Результаты расчетов на момент **24 ч** местного времени на высоте 100 м над поверхностью (**нейтральная** стратификация нижних слоев фоновой атмосферы)

Спасибо за внимание!

Характеристики крупных объектов энергетики(данные по выбросам за 2001 г)

Источник	Труба			Уходящие газы			Факторы выброса							
	№	Н	Д	Т	Скорость		SO ₂		NO _x		Пыль		СО	
		м	м	К	м/с	м ³ /мин	г/с	мг/м ³	г/с	мг/м ³	г/с	мг/м ³	г/с	мг/м ³
Иркутск														
НИТЭЦ	1	180	6	388	23.3	39555	400	606	336	510	752	1140	9.23	14
	2	250	6.5	413	20.1	40088	378	566	318	475	355	532	9.35	14
всего						79643	778		634		1107		18.58	
Шелехов														
ТЭЦ - 5	1	80	3.5	413	12.3	7077	67	566	56	475	78	665	1.65	14
	2	80	4.2	413	11.4	9436	89	566	75	475	105	665	2.20	14
всего						16513	156		131		183		3.85	

При мощности выброса 156 г/с

0.1 усл. ед. будет соответствовать 9.36 мкг/м³

При мощности выброса 778 г/с

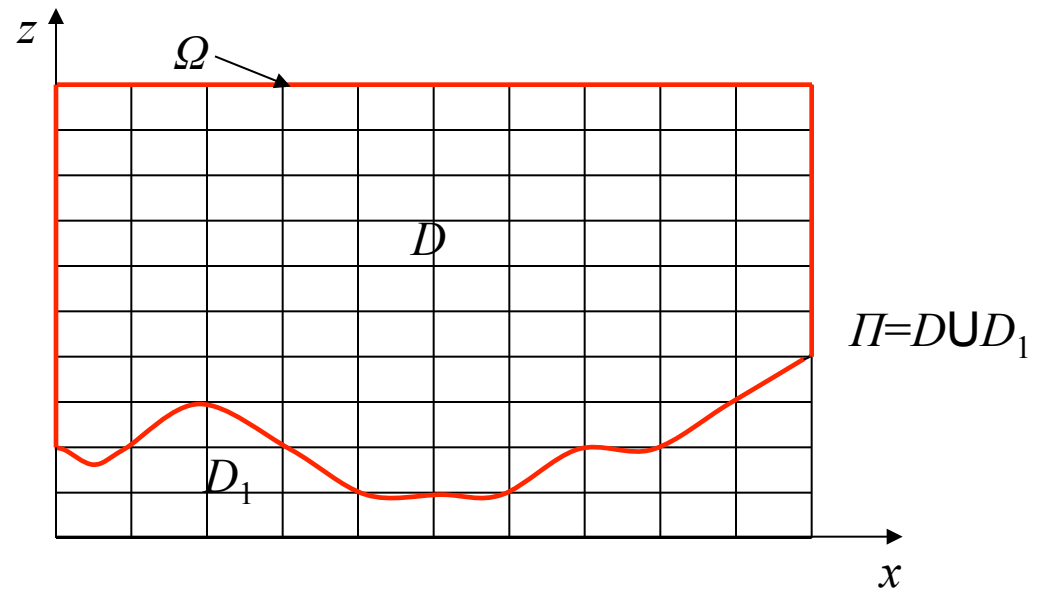
0.1 усл. ед. будет соответствовать 46.68 мкг/м³

Учет рельефа

(метод фиктивных областей)

$$B \frac{\partial \varphi}{\partial t} + A \varphi = F, \quad \mathbf{r} \in D,$$

$$A_0 \varphi = F_0, \quad \mathbf{r} \in \Omega,$$



Дополним область D до прямоугольного параллелепипеда Π и рассмотрим в нем задачу

$$B \frac{\partial \varphi}{\partial t} + A \varphi = F, \quad \text{где } A = \begin{cases} A & \text{для } \mathbf{r} \in D, \\ A_0 & \text{для } \mathbf{r} \in \Omega, \\ 0 & \text{для } \mathbf{r} \in D_1, \end{cases} \quad F = \begin{cases} F & \text{для } \mathbf{r} \in D, \\ F_0 & \text{для } \mathbf{r} \in \Omega, \\ 0 & \text{для } \mathbf{r} \in D_1. \end{cases} \quad (2.6)$$

Через D_1 обозначено дополнение области D до параллелепипеда.

Условия на границе раздела не меняются.

Поскольку условия на границе раздела D и D_1 являются естественными для вариационного функционала, то они учитываются автоматически в коэффициентах дискретных уравнений, а решение задачи в основной области D не зависит от способа продолжения через границу раздела в D_1 .