

В.А. Шлычков

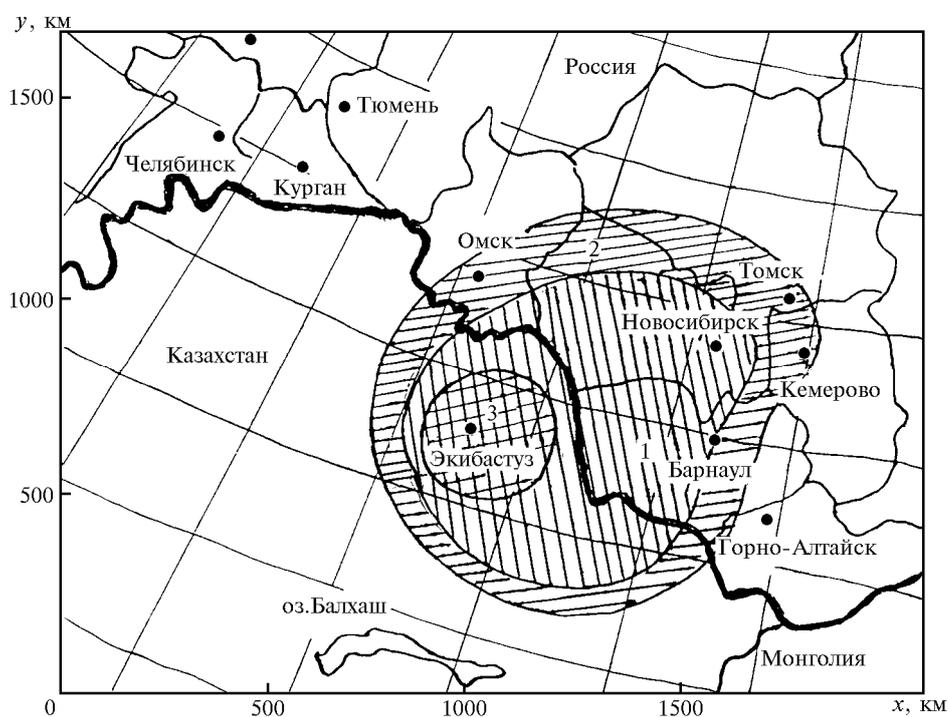
РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЭКИБАСТУЗСКОЙ ГРЭС НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДАЛЬНОГО АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА

Представлены постановка задачи и результаты интегрирования численной гидродинамической модели дальнего атмосферного переноса соединений серы и азота от Экибастузской ГРЭС (Казахстан). Рассмотрены 3 режима эксплуатации ГРЭС: существующий, перспективный с выходом на проектную мощность без установки очистного оборудования и перспективный с сероазоточисткой. Построенные поля среднегодовых концентраций для каждого из режимов показывают, что зона влияния при интенсивной эксплуатации ГРЭС может захватывать часть приграничных территорий России.

Проблема дальнего переноса соединений серы и азота является весьма актуальной для территории Западной Сибири с развитой индустрией теплоэнергетики и значительными выбросами в атмосферу. Практически все крупные промышленные центры региона включены в перечень городов с высоким уровнем загрязнения воздуха. В государственном докладе Министерства охраны окружающей среды «О состоянии окружающей природной среды РФ в 1995 году» ряд городов Западной Сибири отмечен в

числе немногих с максимально высокой плотностью выпадений окислов серы.

В связи с этим возникает необходимость получения оценок удельных вкладов промышленных районов в общее загрязнение регионов. Помимо выбросов собственных (российских) предприятий-загрязнителей, практический интерес представляет достоверное определение потоков примесей, идущих через границы РФ с зарубежных территорий.



Области влияния Экибастузской ГРЭС для трех режимов эксплуатации

В аспекте трансграничного переноса от зарубежных загрязнителей наиболее значительным представляется влияние Экибастузского энергетического узла (Казахстан), проектной мощностью до

8000 МВт, который выбрасывает более 480 тыс. т в год сернистого ангидрида. Этот источник сравнительно близко расположен к регионам Западной Сибири.

Постановка задачи, метод решения

Рассматривается атмосферный поток трехкомпонентной примеси над территорией размерами 2000 км по каждой из горизонтальных осей x, y . Географическая ориентация расчетного прямоугольника выбрана таким образом, чтобы им захватывался Урал, юг Западной Сибири и часть территории Казахстана, включая г. Экибастуз (рисунок). Система уравнений, описывающая перенос примесей в пограничном слое атмосферы, имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1}{\partial t} + u \frac{\partial C_1}{\partial x} + v \frac{\partial C_1}{\partial y} &= E_1 - (k_1 + m)C_1 + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial C_1}{\partial z} + \Delta C_1, \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} + u \frac{\partial C_2}{\partial x} + v \frac{\partial C_2}{\partial y} &= \beta m C_1 - k_2 C_2 + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial C_2}{\partial z} + \Delta C_2, \\ \frac{\partial C_3}{\partial t} + u \frac{\partial C_3}{\partial x} + v \frac{\partial C_3}{\partial y} &= E_3 - k_3 C_3 + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial C_3}{\partial z} + \Delta C_3, \end{aligned} \quad (1)$$

где t – время; z – вертикальная координата; C_1, C_2, C_3 – искомые поля концентраций сернистого ангидрида SO_2 , сернистой кислоты и сульфатов SO_4^{2-} , окислов азота NO_x соответственно; u, v – компоненты вектора горизонтальной скорости; E_i – мощность источников эмиссии; k_i – скорости вымывания компонентов примеси осадками; m – скорость химического превращения SO_2 в сульфаты; β – отношение молекулярных масс SO_4^{2-} и SO_2 ; v – коэффициент вертикальной диффузии; Δ – оператор горизонтальной диффузии.

Краевые условия по вертикали запишем следующим образом:

$$v \frac{\partial C_i}{\partial z} = \gamma_i C_i \text{ при } z = 0;$$

$$C_i \rightarrow 0 \text{ при } z = \infty, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3$; γ_i – скорость сухого (поверхностного) осаждения. Краевые условия на боковых границах задаются только на входе; предполагается, что в этих точках концентрация вещества известна и равна фоновому значению.

В качестве начальных условий зададим

$$C_i = 0 \text{ при } t = 0. \quad (3)$$

Описание горизонтальной диффузии предполагается различным для варианта, связанного с расчетом усредненных за некоторый период времени (месяц, год) полей концентрации (климатический режим), и варианта разового (прогностического) расчета концентрации при фактическом распределении поля скорости в текущий период времени. В климатиче-

ском режиме горизонтальная диффузия обусловлена разбросом траекторий вблизи среднестатистической в смысле реализации ансамбля синоптических процессов за период усреднения; в этом случае диффузия вводится по аналогии с фикковским представлением в виде

$$\Delta C_i = \mu \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} \right), \quad (4)$$

где μ – коэффициент горизонтальной диффузии. Расчет разового поля концентрации отдельной струи примеси предполагает неклассическое описание диффузии, которая вводится феноменологически путем горизонтального растяжения сегментов струи [1].

Методологическая база ориентирована на модель Метеорологического синтезирующего центра «Восток» (МСЦ-В), используемую в настоящее время в оперативных целях странами Европы и Россией [2] для получения интегрированных оценок трансграничных потоков. Модель относится к гибриднему (эйлеро-лагранжевому) типу с однослойным численно-аналитическим описанием вертикальной структуры поля примеси, причем любая искомая функция из (1) представляется в виде произведения

$$C_i = Q_i(x, y, t) \varphi_i(z, t), \quad (5)$$

где первый множитель определен на дискретном множестве узлов горизонтальной сетки и является искомым, а конкретный вид второго задан априори в форме известного решения уравнения теплопроводности с параметрами, зависящими только от времени.

Полученная система решается численно методом расщепления. На первом этапе на основе лагранжева представления проводятся расчет траекторий и определение положения центра масс внутри ячейки сеточной области. При этом основные уравнения дополняются соотношениями для первых моментов, которые в дифференциальном виде эквивалентны исходным уравнениям, а при дискретизации позволяют определить координаты центра масс каждой субстанции.

Переносимая масса имеет двойственное представление: при расчете адвекции она сосредоточена в точке (центре масс), а для введения диффузии используется ее интерпретация как равномерно распределенной по элементарному сеточному элементу. Это позволяет осуществить геометрическое расширение площади масс-элемента в заданной пропорции с соответствующим уменьшением концентрации для имитации диффузии. Поскольку при этом «накрываются» несколько соседних ячеек, то каждая парциальная масса при проецировании на сетку приписывается к своему сеточному элементу и суммируется с массой, попавшей в ячейку ранее. Центр общей массы вычисляется взвешенным суммированием. На

этапе интегрирования по z проводится учет эффектов сухого осаждения и определения параметров вертикального распределения.

Следующий этап расщепления описывает влажное выведение и химическую трансформацию SO_2 в сульфаты. Учитываемые в модели преобразования примеси состоят в следующем. Эмиссия сернистого ангидрида в процессе перераспределения в пространстве за счет адвекции, диффузии и вертикального перемешивания частично поглощается подстилающей поверхностью, другая часть превращается в сульфатионы и выпадает с осадками. Образовавшиеся сульфаты наряду с переносом и диффузией подвергаются сухому и влажному осаждению. Расчеты показали, что если концентрация первичного вещества (SO_2) монотонно убывает с расстоянием от источника, то содержание вторичных продуктов по оси факела растет, достигая максимума на расстояниях 500–1000 км от центра эмиссии в зависимости от скорости переноса и пространственного распределения поля осадков. Эти оценки согласуются с данными мониторинга выпадений кислотных осадков [1].

Укажем значения численных и физических параметров. Поскольку вертикальная структура поля концентрации задана параметрически в виде аналитических функций, дискретизация проводится в плоскости (x, y) . Задача решается на сетке, включающей 55×55 квадратных ячеек со стороной 37,5 км. Данные по объемам выбросов в различные сезоны года выбирались из проектной документации по Экибастузской ГРЭС. Метеорологические данные, характеризующие внутригодовое распределение ветра и осадков, взяты из климатических справочников по областным центрам, попадающим в область интегрирования, и интерполированы на сетку линейным образом.

Качество воспроизведения пространственной структуры изучалось путем сопоставления численного решения уравнений и полей точного решения, полученного в предположении стационарности процессов и горизонтальной однородности всех параметров. Конкретный вид решения приведен в [3] и представляет собой комбинацию элементарных функций и модифицированной функции Бесселя. При указанных значениях параметров пространственного разрешения относительная погрешность на расстояниях свыше 200 км от источника составила менее 3%. С увеличением скорости адвекции ошибка также смещается в сторону переноса, оставаясь достаточно малой, чтобы считать численную модель адекватной исходной постановке.

Результаты расчетов

Предпосылкой к данной разработке послужило следующее обстоятельство. Экибастузский топливно-энергетический комплекс, расположенный на территории Казахстана, включает в себя две станции: ГРЭС-1 и ГРЭС-2. ГРЭС-1, построенная в 1974 г.,

способна развивать мощность 4000 МВт. При запуске в эксплуатацию ГРЭС-2 с наименьшей проектной мощностью резко увеличится объем выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ, часть которых за счет западного переноса попадет на территорию России и может осложнить экологическую обстановку в близлежащих областях. Предполагаемая установка на ГРЭС современного оборудования сероазотоочистки позволит значительно снизить объемы выбросов. Соответственно этому ниже будут рассмотрены три варианта эксплуатации ГРЭС:

- 1) существующий режим,
- 2) перспективный режим без дополнительных средств улавливания примесей и
- 3) режим с установкой очистного оборудования.

По результатам расчетов построены стационарные поля концентрации в трех вышеназванных режимах эксплуатации. Технологией вычислений состояла в получении совокупности полей разовых концентраций какого-либо из ингредиентов для набора параметров, отвечающих каждому месяцу года и дальнейшему суммированию этих полей с весовыми коэффициентами, характеризующими повторяемость данной разовой концентрации. Эта процедура повторялась для каждого из 8 румбов направления ветра, а сумма концентраций по розе ветров и представляла собой искомое среднегодовое значение.

Расчитанные среднегодовые концентрации послужили основой для выделения областей влияния Экибастузских ГРЭС. В качестве критерия построения зон влияния был выбран однопроцентный уровень от среднесуточной ПДК для сернистого ангидрида.

На рисунке представлены зоны влияния Экибастузских ГРЭС для трех вышеназванных режимов эксплуатации (области 1, 2, 3 соответственно). Области влияния построены по рассчитанным среднегодовым полям концентрации всех рассматриваемых ингредиентов, приведенных к комплексному показателю – индексу загрязнения атмосферы [4].

Видим, что в режиме существующей эксплуатации (область 1) зона влияния захватывает значительные части территорий Новосибирской области и Алтайского края, а при выводе обеих станций на проектную мощность практически все эти территории окажутся под влиянием загрязняющих выбросов (область 2). При этом будет «накрыто» около 40% территории Омской области и часть Томской и Кемеровской областей. Общая площадь, подверженная влиянию ГРЭС на территории РФ, составляет 249 и 423 тыс. км² соответственно для областей 1 и 2. Отметим, что около 60% западносибирских территорий занимают сельскохозяйственные угодья и 30% леса.

Большая часть водосбора верхней Оби оказывается в зоне влияния Экибастузских ГРЭС. Аккумулятивная в снежном покрове сера в период весеннего паводка поступает в русловую сеть. По модельным оценкам доля Экибастузских ГРЭС в общем сульфатном стоке составляет 17–30%.

При установке эффективного очистного оборудования зона влияния не выходит за пределы Казахстана (область 3 на рисунке).

1. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. и др. Мониторинг трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 303 с.

2. Модельные оценки выпадения соединений серы вблизи источников загрязнения и на подсеточном уровне (Субрегион г. Санкт-Петербурга). М.: ЕМЕР/МСЦ-В, отчет 9/95, 1995. 52 с.
3. Болтнева Л.И., Кудряцева Л.В. // Труды Института прикладной геофизики. Л.: Гидрометеоздат, 1990. № 76. С. 63–74.
4. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 255 с.

Институт водных и экологических проблем СО РАН,
г. Новосибирск

Поступила в редакцию
4 февраля 1998 г.

V.A. Shlychkov. Estimate of Ekibastuz Thermal Electric Power Plant Impact on the Pollution of West Siberia Region as a Result of Far Atmospheric Transfer.

The results of numerical simulation of far atmospheric transfer of sulphur and nitrogen compounds from Ekibastuz Thermal Electric Power Plants (TEPP) (Kazakhstan) are presented. Three regimes of TEPP operation are considered: the existing, the prospective one with reaching the project power capacity without a cleaning equipment and the prospective one with sulphur and nitrogen cleaning. The fields of mean annual concentrations, built for each of the regimes, show that the impact zone under the TEPP intensive operation can embrace a part of neighbouring regions of Russian.