

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НА ЛЕСНЫЕ БИОГЕОЦЕНОЗЫ

А.И. Курбатова, А.М. Тарко

*Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,  
Подольское ш., 8/5, 113093, Москва, Россия  
Вычислительный центр им. А.Н. Дородницына РАН,  
ул. Вавилова, 40, 119991, Москва, Россия*

В данной статье представлена математическая модель воздействия атмосферных выбросов предприятий цветной металлургии на лесные биогеоценозы. Объектом приложения модели являются два региона сильного техногенного воздействия металлургических комбинатов, расположенные в подзонах северной и южной тайги.

**Анализ проблемы. Постановка задачи.** Международная конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро 1992 г. приняла «Заявление о принципах, касающихся управления, защиты и устойчивого развития всех видов лесов, жизненно необходимых для обеспечения экономического развития и сохранения всех форм жизни». Данные принципы рекомендуют избегать практики, ведущей к деградации лесов, а также проводить контроль за загрязняющими веществами, в частности за кислотными осадками, которые наносят ущерб лесам [1].

В промышленно развитых странах лесные биогеоценозы испытывают стрессовые воздействия от атмосферных выбросов токсичных веществ. Для оценки и прогноза воздействия аэровыбросов на лесные биогеоценозы в данной статье рассматриваются предприятия цветной металлургии.

Влияние металлургических комбинатов распространяется на лесные территории радиусом в несколько километров, непосредственно примыкающие к заводу, а также полосу леса длиной в несколько километров по направлению господствующего ветра. В зависимости от мощности источника выбросов, местных метеорологических условий, рельефа местности и чувствительности растений воздействие загрязнителей может сильно варьировать.

В данной статье представлена имитационная модель воздействия выбросов металлургических комбинатов на лесные биогеоценозы. Изменение биологического разнообразия лесных биогеоценозов в условиях промышленной нагрузки наблюдалось в разных эколого-климатических зонах.

Для анализа и оценки воздействия атмосферных загрязнителей металлургических комбинатов на лесные биогеоценозы авторы статьи рассматривают два предприятия цветной металлургии («Североникель» и Карабашский медеплавильный комбинат), запущенные в действие более полувека назад. Состояние природных систем в их окрестностях отражает полный спектр стадий дигрессионной сукцессии [2]. В табл. 1 приведена краткая характеристика источников выбросов, размеры видимой зоны дигрессии (зона влияния несомненно шире), зональность района и исследуемые типы растительных ассоциаций, имеющие наибольшую представительность для района исследований.

Основную массу загрязняющих выбросов комбината «Североникель» составляет сернистый ангидрид и металлосодержащие пыли. Состав антропогенной пыли, поступающей в атмосферный воздух в ходе работы Карабаш-

ского медеплавильного комбината, включает в себя сернистые соединения, а также микрочастицы тяжелых металлов.

Характеристика объектов исследований [2]

Т а б л и ц а 1

Источник выбросов	Основные выбросы	Зона дигрессии, кв. км	Зональность	Основные представители растительных ассоциаций
«Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская область)	SO <sub>2</sub> , Cu, пыль, Ni	1200	Подзона Северной Тайги (Кольский полуостров)	<i>Pinus sylvestris</i> ssp. <i>Lapponica</i> , <i>Picea obovata</i> и <i>P. fennica</i> , <i>Betula pubescens</i> ssp. <i>subarctica</i> и <i>B. pubescens</i> ssp. <i>tortuosa</i>
Карабашский медеплавильный комбинат (Челябинская область)	SO <sub>2</sub> , пыль	250	Подзона Южной Тайги (Южный Урал)	<i>Betuletum herbosum</i> , <i>Pinetum herbosum</i>

**Модель воздействия загрязнения на лесные биогеоценозы.** Для получения пространственной картины деградации биогеоценозов строилась сетка по восьми направлениям с узлами в каждом направлении. Шаг сетки составлял 0,5 км. В каждом узле сетки с помощью модели переноса, разработанной ранее авторами статьи, рассчитывалось значение концентрации загрязнителя и рассматривалось его воздействие на разновозрастной древостой. Предполагалось, что древостой состоит из возрастных групп по 1 году возрастом от 20 до 120 лет. Считалось, что в каждом узле сетки находятся деревья различных возрастных групп, конкуренция между деревьями отсутствует.

Производилось моделирование действия загрязнений для трех пород деревьев. В основе модели лежит новый вариант модели [3]. Учитывается, что масса каждого дерева растет с его возрастом до достижения некоторого насыщения, определяемого породой древостоя и климатическими характеристиками, связанными с географическим положением. Годичная продукция дерева нелинейно зависит от его массы и величины загрязнения. Загрязнение тормозит рост дерева, действуя на годичный прирост вплоть до полной остановки роста, приводящей к гибели дерева. Предполагается, что каждый год рождаются новые деревья.

$$\frac{dy}{dt} = (a X^\alpha - b X) \cdot (1 - \beta p^\gamma) \quad (1)$$

где  $X$  — надземная масса одного дерева (воздушно-сухая масса) возраста  $\tau$  ( $\tau = 20, 21, \dots, 120$  лет),  $p$  — величина загрязнения,  $a, b, \alpha, \gamma$  — коэффициенты, которые необходимо подобрать так, чтобы реальная действительность описывалась достаточно с наибольшей точностью. При этом  $\beta$  — коэффициент, характеризующий силу действия загрязнения.

Модель разрабатывалась в два приема. Сначала для каждой породы была идентифицирована модель без учета влияния загрязнения, а затем — с учетом их действия.

Поскольку в модели рассматривается одно дерево (усредненный по всем деревьям запас древесины), то считается, что дерево самовольно не отмирает, то есть коэффициент  $b$  приравнивается к нулю.

Таким образом, модель теперь представляется в виде системы уравнений (одного дифференциального и одного алгебраического):

$$\begin{cases} \frac{dy}{dt} = a \cdot X^\alpha \cdot (1 - \beta p^\gamma) \\ p = \xi^* \cdot \frac{q(t)}{u} \cdot \text{poss}(j) \cdot \frac{e^{-\frac{l_{\max}^2}{l^2}}}{l^2} \end{cases} \quad (2).$$

Необходимо подобрать коэффициенты  $a, \alpha, \beta, \gamma$  так, чтобы они как можно точнее описывали происходящее в реальной жизни.

Задача идентификации этих параметров решалась с помощью программы на ЭВМ в интегрированной среде Delphi-6 на языке OBJECT PASCAL в операционной системе Windows XP, которая позволяла рассчитывать параметры сначала для описания роста дерева в отсутствие загрязнений, а затем — при действии загрязнений.

**Модель роста растительности в отсутствие загрязнений.** Для идентификации модели в отсутствие загрязнений использовались данные Н.И. Казимира и Р.М. Морозовой [4]. Поскольку измерения нормального роста производились в одном климатическом регионе, а действие загрязнений было в другом, то для каждой из пород строилась линия регрессии, а затем она «нормировалась» на величину максимальной массы дерева в регионе, подверженном загрязнению. При этом сравнивались массы дерева в максимальном возрасте на большом расстоянии от источника загрязнения («фон»), где действие загрязнений практически отсутствует, и в данных Н.И. Казимира. Затем значения масс всех возрастов в регионе, подверженном загрязнению, умножались на соответствующий коэффициент.

С разной степенью точности были получены следующие результаты (табл. 2,3):

Таблица 2

Значения параметра  $a$  при условии, что параметр  $\alpha = 0,6$  фиксирован

Порода дерева	$a$	$\alpha$	Точность, %
Ель в «Североникеле»	0.115	0.6	59
Сосна в «Североникеле»	0.165	0.6	49
Сосна в «Карабаше»	0.213	0.6	49
Береза в «Карабаше»	0.323	0.6	22

Таблица 3

Значения параметра  $a$  при условии, что параметры  $a$  и  $\alpha$  варьируются

Порода дерева	$a$	$\alpha$	Точность, %
Ель в «Североникеле»	1.350	0.123	34
Сосна в «Североникеле»	1.125	0.167	24
Сосна в «Карабаше»	1.869	0.168	24
Береза в «Карабаше»	0.766	0.391	8

**Моделирование роста растительности в режиме действия загрязнения.** После определения параметров модели в отсутствие загрязнений производилась идентификация модели при наличии загрязнений. Для того чтобы «включить» действие загрязнений, необходимо было сделать параметр  $\beta$  отличным от нуля. Действие загрязнения описывается коэффициентами  $\beta$  и  $\gamma$ .

С разной степенью точности были получены следующие результаты (табл. 4,5):

Значения параметра  $\beta$  при условии, что параметр  $\gamma=2$  фиксирован

Таблица 4

Порода дерева	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
Ель в «Североникеле»	0.0000000792	2	37
Сосна в «Североникеле»	0.0000002116	2	34
Сосна в «Карабаше»	0.0000000001	2	97
Береза в «Карабаше»	0.0000000001	2	81

Таблица 5

Идентификация модели в случае, когда параметры  $\beta$  и  $\gamma$  варьируются

Порода дерева	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
Ель в «Североникеле»	0.0000014112	1.636	37
Сосна в «Североникеле»	0.0000000879	2.122	34
Сосна в «Карабаше»	0.00000005	1	97
Береза в «Карабаше»	0.00000005	0.901	81

После проведения идентификации параметров модели были получены следующие данные, которые привели к картинам распределения биомассы:

1. Ель в «Североникеле» (рис. 1).

Таблица 6

Параметры загрязнения

a	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
0.115	0.6	0.0000000649	2	35

2. Сосна в «Североникеле» (рис. 2).

Таблица 7

Параметры загрязнения

a	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
1.125	0.167	0.0000000879	2.122	33

3. Сосна в «Карабаше» (рис. 3).

Таблица 8

Параметры загрязнения

a	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
1.869	0.168	0.00000005	1	97

4. Береза в «Карабаше» (рис. 4).

Таблица 9

Параметры загрязнения

a	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Точность, %
0.766	0.391	0.00000005	0.901	81

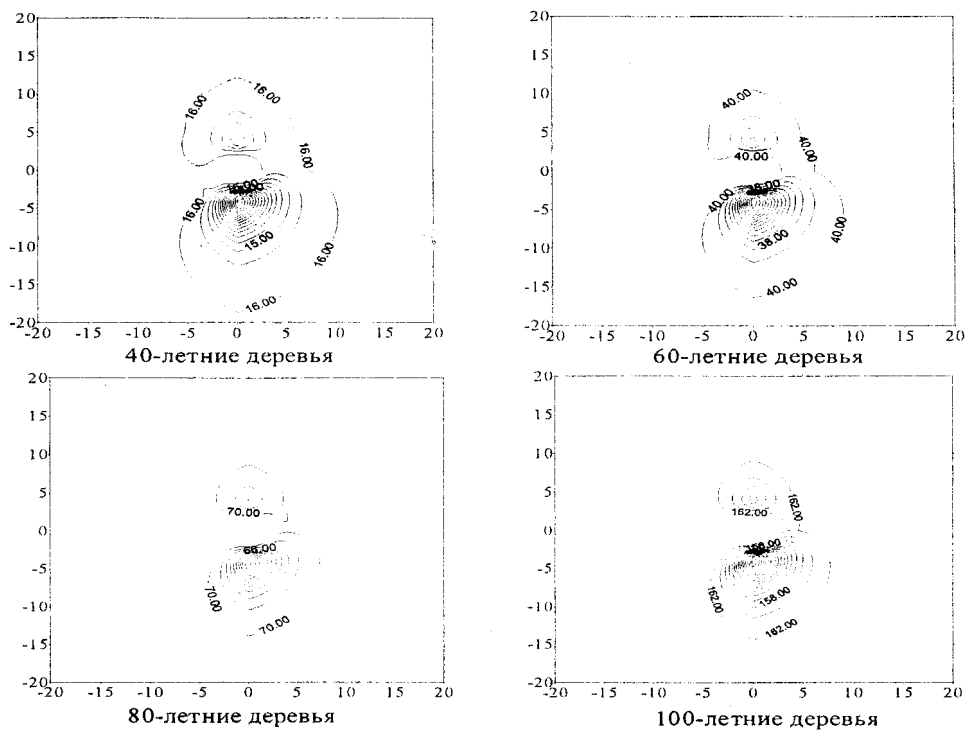


Рис. 1. Распределение биомассы деревьев (ель) в районе комбината «Североникель» при параметрах из табл. 6

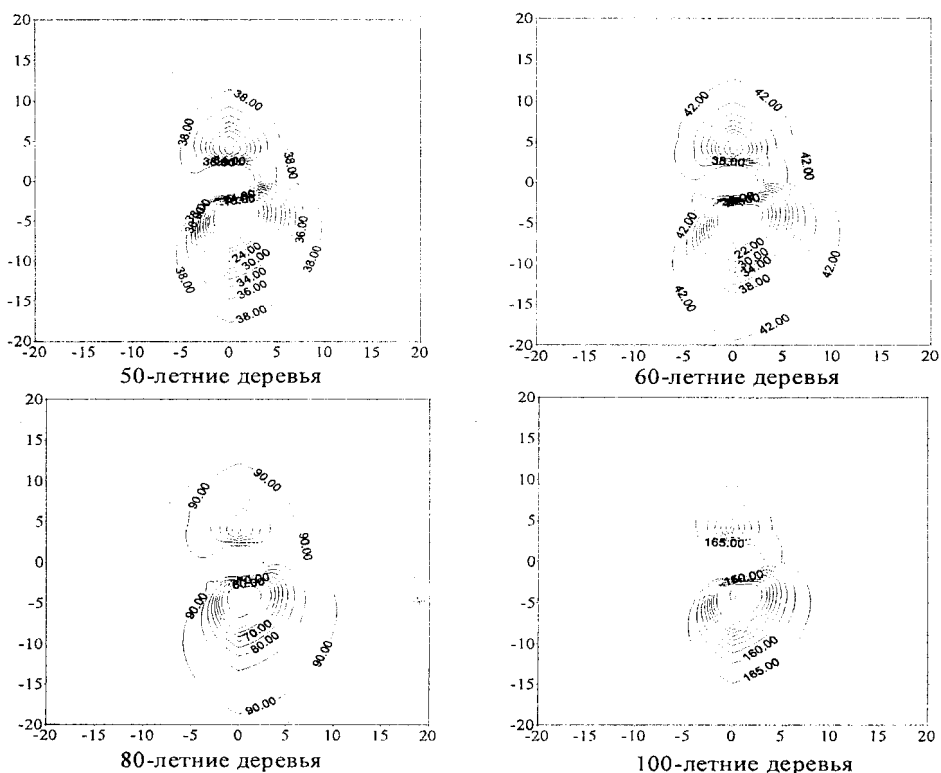


Рис. 2. Распределение биомассы деревьев (сосна) в районе комбината «Североникель» при параметрах из табл. 8

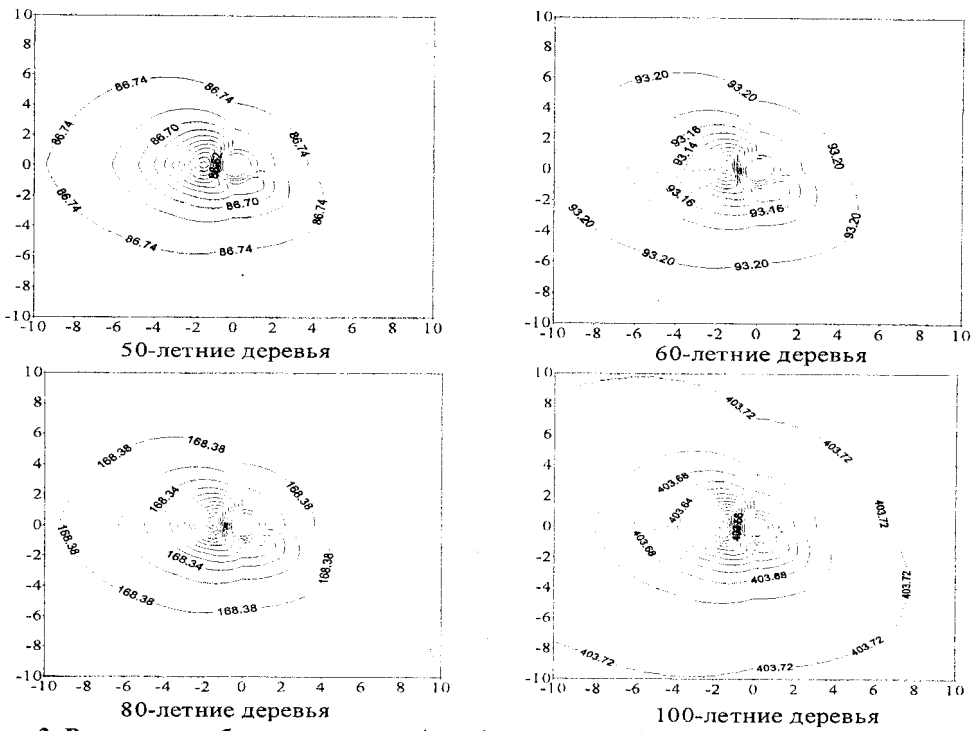


Рис. 3. Распределение биомассы деревьев (сосна) в районе комбината «Карабаш» при параметрах из табл. 8

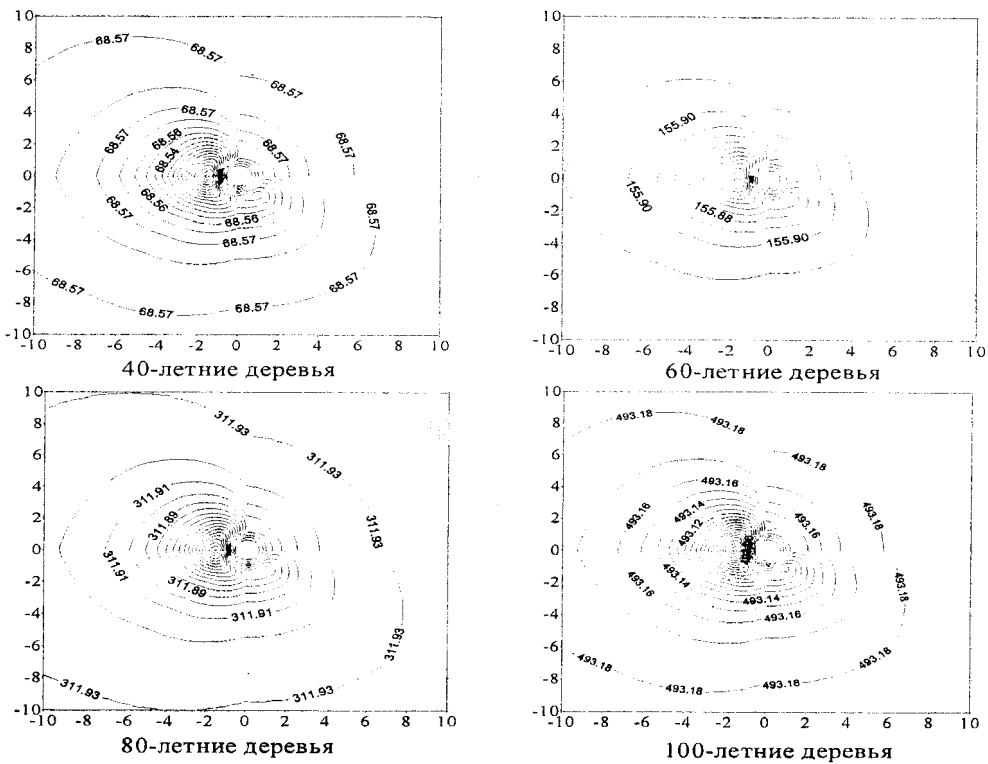


Рис. 4. Распределение биомассы деревьев (сосна) в районе комбината «Карабаш» при параметрах из табл. 9

**Выводы.** Авторами статьи была разработана пространственная модель воздействия атмосферного загрязнения металлургических комбинатов на лесные биогеоценозы с учетом трех лесообразующих пород: ель, сосна и береза.

Показано, что при одинаковых природных условиях сосна в наибольшей степени подвержена действию загрязнения, в меньшей степени ему подвержена ель, береза самая выносливая из трех пород. Чем севернее находится порода дерева, то есть, произрастает в менее благоприятных условиях, тем в большей степени она подвержена действию загрязнения.

Работа поддержана РФФИ (грант 05-01-00649).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Центр за наше будущее. - Женева, 1993.- 70с.
2. Черненкова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. - М.: Наука, 2002. - 191 с.
3. Тарко А.М., Быкадоров А.В., Крючков В.В. Моделирование действия атмосферных загрязнений на лесные экосистемы в регионе. Доклады Академии наук, 1995. - т. 341, № 4. - С. 571-573.
4. Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. - Л.: Наука, 1973.

## MODELING OF IMPACT OF METALLURGICAL PLANT ATMOSPHERIC CONTAMINATIONS ON FOREST BIOGEOCENOSSES

A.I. Kurbatova, A.M. Tarko

*Ecological Faculty, Russian Peoples' Friendship University,  
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia  
Dorodnitsyn Computing Center, Russian Ac.Sc.,  
Vavilov Str., 40, 119991, Moscow, Russia*

The paper contains a description of mathematical model of the damaged forest area in surroundings the metallurgical plant. The model has been applied to the regions of Russian North and South Taiga.