

УДК 504.3.054

Моделирование распространения шлейфов воздушных загрязнений от очагов лесных пожаров с использованием химико-транспортной модели COSMO-Ru7-ART

Г.В. Суркова, Д.В. Блинов, А.А. Кирсанов,
А.П. Ревокатова, Г.С. Ривин*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации «Гидрометцентр России»
123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 11–13*

Поступила в редакцию 28.01.2013 г.

Методика расчета выброса в атмосферу загрязняющих веществ при лесных пожарах внедрена в расчетный комплекс COSMO-Ru7-ART и позволяет выполнять корректировку входных данных при моделировании распространения шлейфа примесей от пожара. Фактор эмиссии оценивается по типу растительности и ее средней биомассе при известных (или предполагаемых) площади пожара и его продолжительности. При прогнозе распространения примесей учитывается их химическая и физическая трансформация. Тестирование методики выполнено для случаев сильных пожаров в центре Европейской территории России в августе 2010 г. с использованием химико-транспортной модели COSMO-Ru7-ART. Результаты моделирования и данные наблюдений сопоставлены для территории Метеорологической обсерватории Московского государственного университета.

Ключевые слова: атмосферные примеси, моделирование, пожары; atmospheric pollutants, modeling, fires.

Введение

Прогнозирование распространения в атмосфере продуктов горения от пожаров с учетом физико-химической трансформации веществ и метеорологических условий выполняется с использованием математических химико-транспортных моделей (ХТМ). Математическое моделирование помогает оценить последствия пожаров и служит основанием для принятия мер по их предотвращению или минимизации ущерба от них. Для выполнения этих задач была разработана методика оперативного и реалистичного задания эмиссий загрязняющих веществ с территории лесных пожаров. Произведено моделирование случаев лесных пожаров 2010 г. моделью COSMO-Ru7-ART, результаты сопоставлены с данными наблюдений.

Лесные пожары значительно изменяют состав воздушной среды, могут нанести значительный ущерб природе, здоровью людей и объектам хозяйственной деятельности. Ежегодно от лесных пожаров страдают

многочисленные регионы России. Внимание к проблеме лесных пожаров на европейской территории России (ЕТР) особенно обострилось после событий 2010 г., когда погибли более 50 человек, огонь уничтожил более 2500 домов, площадь пожаров превысила 800 тыс. га. Продолжительная задымленность атмосферы на фоне жаркой антициклональной погоды крайне негативно сказалась на здоровье многих людей.

Лесные пожары с точки зрения лесной пирологии описаны во многих работах [1–7 и др.]. Пожар распространяется за счет передачи выделившегося во фронте пожара тепла путем конвекции, кондукции и переноса горящих частиц к свежей порции органической массы, в результате чего происходят ее нагрев, сушка и пиролиз. Летучие и конденсированные продукты пиролиза сгорают, что вызывает перемещение фронта пожара с выделением тепла, и процесс повторяется в указанном порядке до тех пор, пока в зоне пожара не выгорит весь запас органической массы. Над зоной пожара в приземном и планетарном пограничных слоях формируется конвективная колонка — струя нагретых продуктов полного и неполного сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ), включающая газообразные (диоксид углерода, оксид углерода, пары воды и др.) и дисперсные (частицы дыма и тлеющие частицы коры и др.) продукты.

* Галина Вячеславовна Суркова (galina_surkova@mail.ru); Денис Викторович Блинов (denisblinov@ya.ru); Александр Андреевич Кирсанов (heu3becteh@mail.ru); Анастасия Петровна Ревокатова (revokatova@gmail.com); Гдальий Симонович Ривин (gdaly.rivin@mail.ru).

Газообразные продукты неполного сгорания догорают в факеле над фронтом лесного пожара, а дисперсные продукты увлекаются струей нагретых газов в верхние слои атмосферы. Относительно крупные тлеющие частицы, пролетев 100–1500 м, выпадают на поверхность напочвенного покрова и могут стать причиной возникновения вторичного низового лесного пожара перед фронтом основного. Мелкие частицы находятся в атмосфере более длительное время, но затем вымываются из нее дождями или коагулируют и оседают на подстилающую поверхность.

Эмиссии при горении растительности включают CO_2 , CO , NO_x , CH_4 и неметановые углеводороды, а также неорганические и органические твердые частицы. Количество и тип выбросов при горении биомассы зависят не только от типа растительности, но и от ее влагосодержания, температуры окружающей среды, влажности и скорости ветра. Оценки глобальных выбросов малых газовых составляющих от горения биомассы можно найти, например, в [8].

Моделирование распространения веществ от очага горения и их физико-химической трансформации требует учета не только химических процессов, но и метеорологических условий. Один из современных инструментов при решении таких задач – химические транспортные модели.

К современным расчетным комплексам, объединяющим метеорологическую и химическую модели, относятся MM5/chemistry [9], WRF/Chem [10], Enviro-HIRLAM [11, 12], COSMO-ART [13]. Подробное описание современного состояния в области моделирования мезомасштабных атмосферных процессов с использованием химико-транспортных моделей представлено в [13–16]. Расчетные комплексы WRF ARW–CHIMERE и COSMO-RU7-ART применяются для Московского региона при прогнозе концентраций озона, окислов азота и мелкодисперсного аэрозоля [17–19], оценки последствий пожара 2010 г. [20].

В настоящей статье обсуждаются результаты моделирования COSMO-Ru7-ART, полученные с использованием разработанной авторами методики учета в данной модели эмиссий продуктов горения в атмосферу, – объем выбросов от горения биомассы определяется по расходу горючего материала в зависимости от площади выгоревшей территории, количества горючих материалов на единицу площади, а также их типа и состояния. Эта концепция, подробно описанная далее в разделе об организации экспериментов, была доведена до практических алгоритмов и использована для проведения численных экспериментов.

Методы

Химико-транспортная модель COSMO-Ru-ART – синтез мезомасштабной негидростатической метеорологической модели COSMO-Ru (CONsortium for Small-scale MOdelling – RUssia) [21, 22] и модели атмосферной химии ART (Aerosols and Reactive Trace gases) [13, 23, 24]. Гидрометцентр России – член консорциума COSMO с правом использования

модели COSMO для всех прогностических задач. С апреля 2011 г. система мезомасштабного прогноза погоды COSMO-Ru7 внедрена в оперативную практику в качестве базовой для численного прогнозирования следующих метеорологических величин: осадки, температура и влажность воздуха, фоновый приземный ветер. XTM COSMO-ART (рис. 1) разработана в Германии и передана Росгидромету как участнику консорциума COSMO для внедрения и эксплуатации. В ФГБУ «Гидрометцентр России» российская версия XTM COSMO-Ru7-ART адаптирована к вычислительной системе SGI Altix-4700 [19].

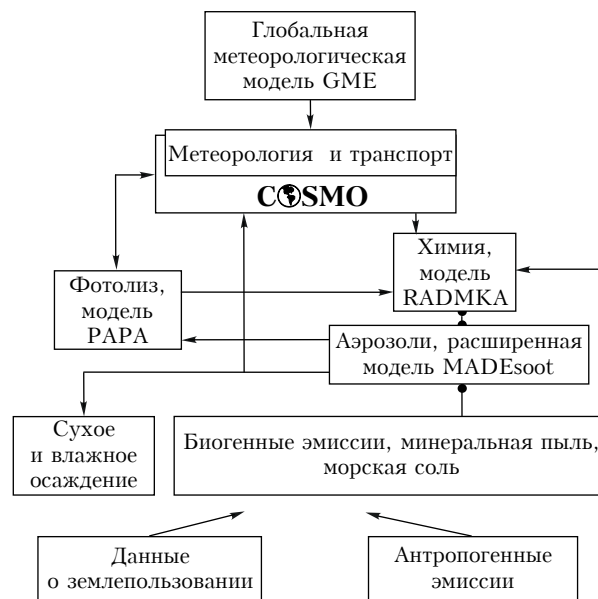


Рис. 1. Структура COSMO-ART

COSMO-Ru

COSMO – негидростатическая мезометеорологическая модель. COSMO-Ru7 – версия COSMO для расчетов по России и сопредельным территориям с расстоянием между узлами модельной сетки 7 км. Версия COSMO-Ru2 с более детализированным пространственным разрешением 2,2 км используется в настоящее время для прогнозов по региону Сочи и изучения отдельных эпизодов [25]. Прогноз по COSMO-Ru7 метеорологических полей и элементов погоды для территории большей части Европы и территории России, включающей ЕТР, Урал и часть Западной Сибири, проводится 4 раза в сутки на сетке с 700×620 узлами по горизонтали с шагом 7 км, шагом по времени 40 с на 40 уровнях по вертикали.

Входные данные COSMO-Ru7 – результаты работы глобальной системы усвоения на сетке с шагом 20 км за последний стандартный срок 00:00, 06:00, 12:00 или 18:00 ВСВ (Всемирного скоординированного времени) метеорологических характеристик: ветра, температуры, влажности на стандартных изобарических поверхностях, геопотенциальных высот этих поверхностей и атмосферного давления у подстилающей поверхности, представленные в узлах координатной сетки по области интегрирования. Граничные

условия с интервалами по времени 3 ч поступают в систему мезомасштабного моделирования Гидрометцентра РФ.

В системе мезомасштабного численного прогноза COSMO-Ru7 используется сферическая система координат со смещенным полюсом на 40 изобарических уровнях по вертикали в атмосфере (верхний уровень на высоте примерно 23 км) и 7 уровней в почве. Основные этапы работы COSMO-Ru7: преобразование начальных условий для перевода на вычислительную сетку с шагом 7 км, интегрирование по времени уравнений гидротермодинамики атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности, вычисление притоков тепла и влаги в каждой ячейке в толще модельной атмосферы, выполнение диагностических расчетов, формирование выходной стандартизированной продукции, подготовка на каждом шаге по времени (продолжительностью 40 с) информации для химической модели ART.

COSMO-ART

Разработка COSMO-ART начиналась с объединенного комплекса метеорологической модели KAMM [26] и дисперсионной модели DRAIS [27]. Дополненная аэрозольной схемой и блоком описания пыли, модель KAMM/DRAIS/MADEsoot/dust [28, 29] работала до начала 2000 г. Затем метеорологический блок этой модели был заменен оперативной моделью немецкой службы погоды (DWD) Lokal Modell [30]. Новая модель получила название LM-ART. В 2006 г. официальное название метеорологической модели было изменено на COSMO (COntortium for Small-scale MOdelling), а объединенная химико-транспортная модель стала называться COSMO-ART [13, 23]. В настоящей статье далее рассматриваются результаты версии COSMO-Ru7-ART.

COSMO-Ru7-ART, как и система прогноза погоды COSMO-Ru7, использует сферическую систему координат со смещенным полюсом и имеет то же пространственное разрешение. Важная особенность COSMO-Ru7-ART – совместный расчет метеорологических величин и химических преобразований на каждом шаге по времени, что позволяет учитывать обратное влияние аэрозолей и газов на радиационные процессы и метеорологический режим атмосферы.

Химическая модель ART позволяет учитывать химические преобразования веществ в газовой фазе, фотодиссоциацию, коагуляцию, конденсацию, нуклеацию, осаждение, выведение и вымывание аэрозолей. Предусмотрен учет аэрозольной химии, взаимодействия аэрозолей с радиацией, эмиссии морской соли, минеральной пыли, пыльцы, биогенных выбросов гидрокарбонатов и гетерогенных реакций. Химические процессы в тропосфере представлены 172 реакциями. Среди неорганических соединений в явном виде рассматриваются 17 устойчивых соединений и 4 радикала. Органические соединения включают 26 устойчивых соединений и 16 радикалов. Пространственные и временные изменения концентраций малых газовых примесей в модели рассчитываются с помощью трехмерного уравнения диффузии.

Основой расчета в COSMO-Ru7-ART пространственных и временных изменений концентраций малых газовых примесей служит уравнение диффузии. Его граничными условиями являются данные о выбросах газовых примесей. Расчет газофазных химических реакций производится в блоке RADMKA, который основан на модели RADM [31]. В COSMO-ART рассчитываются концентрации оксидов азота, углерода и серы, азотной и серной кислоты, озона, пероксид водорода, альдегиды, кетоны, алканы, алкены. Соединения N_2 , O_2 , CH_4 участвуют в химических реакциях, их концентрация считается постоянной.

Для учета процессов фотодиссоциации в COSMO-ART используется модель фотоллиза PAPA, позволяющая рассчитывать вертикальные профили частоты фотодиссоциации путем ввода коррекции стандартных профилей с учетом дополнительных факторов, рассчитываемых на каждом шаге модельного счета.

Характеристики аэрозолей оцениваются с использованием модели MADEsoot [32], учитывается их физическая и химическая трансформация. В зависимости от размера и химического состава аэрозоли разделены на 6 групп. Для каждой группы аэрозолей решаются прогностические уравнения концентрации и массовой плотности.

Распределение категорий землепользования основано на оценках проекта Global Land Cover 2000 Project (GLC, 2000) [33, 34]. В качестве данных о выбросах веществ используются результаты проекта TNO (Netherlands) [35, 36], горизонтальный шаг сетки примерно 8 км ($0,125 \times 0,0625^\circ$), временное разрешение 1 ч. С учетом полноты природных и антропогенных источников, учитываемых в инвентаризации эмиссий TNO, а также подробностей описания временной эволюции количества выбросов (в том числе суточного хода в рабочие/выходные дни и сезонного хода) – это одна из самых полных баз данных по выбросам в Европе [37, 38].

Организация численных экспериментов

Для расчета выбросов от горения биомассы используется информация по расходу горючего материала, которая зависит от площади выгоревшей территории, количества горючих материалов на единицу площади, а также от характеристик и состояния горючих материалов. Количество горючего материала, в действительности сгоревшего в пожаре, будет зависеть от запаса и состояния топлива, его типа, климатических и метеорологических факторов, а также от интенсивности пожара. Различные эмпирические модели разработаны для оценивания расхода горючих материалов [39] и их влияния на атмосферные процессы [40].

В наших расчетах количество сгоревшего материала определяется следующим образом:

$$T = St.$$

Здесь T – общая масса выгоревших горючих материалов, т; S – площадь выгоревшей территории, км²;

$$t = \sum_i (M_i f_i)$$

– масса выгоревшего материала на единицу площади, т/км²; M_i – масса горючего материала типа i на единицу площади, т/км²; f – доля сгорания горючего материала типа i .

В итоге общая масса выброса E (кг) рассчитывается так:

$$E = T\phi,$$

где ϕ – фактор эмиссии, кг/т. Фактор эмиссии зависит от относительного преобладания горения и тления, которое определяется типом горючего материала и другими факторами. Наиболее обширный обзор существующих данных, необходимых для определения фактора эмиссии, представлен в используемой нами работе [41]. Биомасса горящего типа растительности в районах пожара определялась для смешанного леса (30 кг/м²), типичного в Подмосковье.

Часовые эмиссии CO, NO, SO₂ с площади модельной ячейки (7 км × 7 км = 49 км²) были рассчитаны, исходя из предположения о полном выгорании биомассы за 24 ч. Высокая модельная скорость сгорания биомассы, по сравнению с реальными темпами процесса, компенсируется двумя факторами. Во-первых, анализ результатов каждого из пяти численных экспериментов (они стартовали для каждого из пяти дней, 7–11 августа 2010 г.) проводился без рассмотрения 1-х сут, когда рассчитываемые концентрации находятся под влиянием начальных условий. Во-вторых, площадь выгорания, заданная в модели, была меньше реально наблюдавшейся – для моделирования были выбраны лишь самые крупные очаги пожаров, сопоставимые по площади с размером модельной ячейки.

Для определения местоположения, площади распространения и продолжительности лесных пожаров была использована информация Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) [42] и выбраны три наиболее обширные территории, пострадавшие от лесных пожаров с 03.08.10 по 10.08.10. В узлах сетки, ближайших к эпицентрам пожаров, были заданы источники выброса CO, NO, SO₂. Интенсивность выброса загрязняющих веществ оставалась одинаковой в течение всего модельного времени. Общая площадь предполагаемой выгоревшей территории составила 147 км².

Прогноз рассчитывался на 72 ч начиная с 0:00 ВСВ каждого дня периода 6–10 августа 2010 г. Было проведено пять серий расчетов. Полученные результаты моделирования были совмещены путем выборки вторых суток прогноза каждого из пяти экспериментов. На 2-е сут влияние начальных условий на результат моделирования ослабевает, осуществляется перенос выбросов от источников на значительные расстояния, что делает поля концентраций загрязняющих веществ приближенными к реальным.

Результаты

Результаты моделирования сравниваются с данными наблюдений двух измерительных комплексов – станции «МГУ» ГПБУ «Мосэкомониторинг» (далее МЭМ МГУ), а также экологической станции ИФА РАН и Географического факультета МГУ (экологический павильон МГУ – ЭП МГУ). Датчики измерений обоих комплексов размещены рядом друг с другом (на расстоянии не более 10 м) на территории Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Выбор пункта обусловлен тем, что МО МГУ находится в относительно чистом районе Ленинских гор, где отсутствуют локальные источники загрязнения (заводы, дороги и др.) и есть возможность проверки модельных результатов одновременно по двум измерительным комплексам. Как будет видно далее, данные измерений в отдельные часы существенно отличаются между собой. Результаты моделирования относятся к узлу модельной сетки, ближайшему к МО МГУ. Интерполяция модельных результатов в точку расположения обсерватории (или обратно) не проводилась, так как в условиях большой неоднородности размещения источников загрязнения в городской среде это может привести к дополнительным погрешностям. Среднесуточные (ПДК_{сс}) и максимальные разовые (ПДК_{мр}) предельно допустимые концентрации, представленные на рис. 2, пересчитаны в млн⁻¹

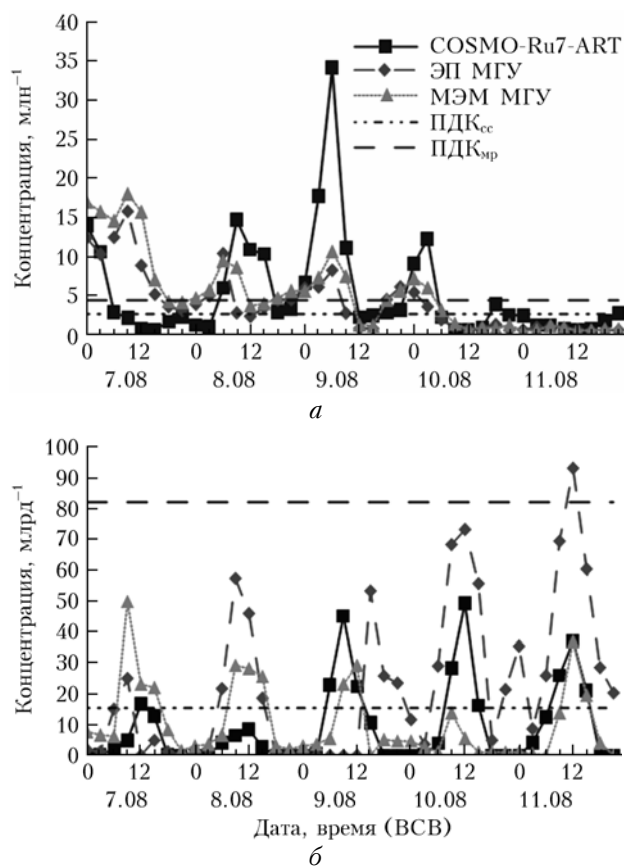


Рис. 2. Прогностические и наблюдаемые концентрации CO (а), O₃ (б) 7–11 августа 2010 г.

и млрд⁻¹ (для температуры воздуха 300 К, атмосферного давления 101 325 Па, что соответствует синоптической ситуации).

На рис. 2 и в таблице показано сравнение результатов моделирования и наблюдений для монооксида углерода и озона. В первой декаде августа 2010 г. в Москве наблюдался особенно резкий рост концентрации продуктов горения, в том числе угарного газа. Модельные результаты концентрации СО (рис. 2, а) отражают основные наблюдаемые закономерности его суточного хода периода 7–11 августа, а также наибольшие концентрации 7–8 августа и их последующее уменьшение. Данные измерений ЭП МГУ и МЭМ МГУ близки между собой. Средние концентрации за весь период и стандартное отклонение показывают согласованность модельных результатов и наблюдений. Суточные максимумы СО в отдельные дни завышены моделью. Это может быть связано с некоторым расхождением положения узла модельной сетки и метеорологической обсерватории, а также их расположением относительно оси факела распространения загрязняющих веществ. Расхождение модельных и наблюдаемых данных увеличивается в дневное время, что связано со сложностями точного описания в модели городского приземного пограничного слоя и параметров вертикального обмена, активизирующегося днем.

Прежде чем оценивать результаты моделирования концентрации озона, отметим значительные расхождения данных наблюдений между собой – зна-

чения концентрации озона ЭП МГУ в основном гораздо выше (за исключением 7 августа), чем МЭМ МГУ (рис. 2, б, таблица). Эта несогласованность проявляется особенно заметно в дневное время и сохраняется на протяжении всего исследуемого периода, постоянное смещение отсутствует (отклонения имеют разный знак и величину). Десятого августа средняя суточная концентрация озона по данным МЭМ почти в 9 раз меньше, чем по ЭП. Результаты моделирования не выходят за рамки наблюдений – модельные концентрации О₃, как правило, ниже, чем по данным ЭП, но выше, чем по МЭМ. Суточный ход согласуется с данными измерений. Предыдущие оценки способности COSMO-ART показали [24], что средние концентрации озона моделью несколько занижаются. Это проявилось и в данном эксперименте.

Поскольку озон не поступает в атмосферу непосредственно от источника горения, согласованность модельных результатов и наблюдений подтверждает возможности модели адекватно воспроизводить концентрации малых газовых составляющих, предшественников озона (в первую очередь оксидов азота), и сложные цепочки реакций, их связывающие.

Отметим, что модельные результаты демонстрируют отсутствие постоянного «смещения» относительно данных наблюдений. С увеличением периода осреднения точность прогноза возрастает. Отклонение модельных результатов от данных наблюдений может быть обусловлено несколькими группами факторов: погрешностью в начальных и граничных условиях,

Сопоставление данных наблюдений и результатов моделирования

Дата	СО, млн ⁻¹			О ₃ , млрд ⁻¹		
	ЭП МГУ	МЭМ МГУ	COSMO-Ru7-ART	ЭП МГУ	МЭМ МГУ	COSMO-Ru7-ART
<i>Средняя суточная концентрация</i>						
07.08.2010	8,9	12,1	4,4	6,2	15,6	4,60
08.08.2010	4,6	5,8	6,3	18,3	12,7	2,70
09.08.2010	4,4	5,4	10,0	12,8	9,3	12,70
10.08.2010	1,9	2,7	4,0	33,45	3,8	12,20
11.08.2010	0,7	0,7	1,4	42,7	9,5	12,65
<i>Средняя концентрация</i>						
7–11.08.2010	4,1	5,3	5,2	22,7	10,2	8,90
<i>Стандартное отклонение</i>						
7–11.08.2010	3,9	5,0	6,6	25,6	12,0	13,10
<i>Суточный максимум</i>						
07.08.2010	15,8	18,0	14,0	25,0	49,7	16,70
08.08.2010	10,4	9,4	14,7	57,3	29,2	8,40
09.08.2010	8,2	10,6	34,1	53,2	29,2	45,10
10.08.2010	5,4	7,2	12,3	73,2	13,8	49,30
11.08.2010	1,1	1,1	2,7	93,1	36,9	37,00
<i>Средний суточный максимум</i>						
7–11.08.2010	8,2	9,3	15,6	60,4	31,8	31,30
<i>Суточный минимум</i>						
07.08.2010	3,1	4,1	0,6	0	1,5	0
08.08.2010	2,3	3,7	1,0	0	2,1	0
09.08.2010	0,8	1,1	2,2	0	0	0
10.08.2010	0,6	0,6	0,5	3,6	1,0	0
11.08.2010	0,4	0,4	0,6	8,6	0	0
<i>Средний суточный минимум за 7–11.08.2010</i>						
7–11.08.2010	1,5	2,0	1,0	2,44	0,9	0

связанных непосредственно с пожаром (площадь пожара, фактор эмиссии); объемом «фоновых» выбросов загрязняющих веществ за пределами зоны горения (оперативные данные такого рода отсутствуют, все модели используют результаты средних инвентаризаций); сложностью воспроизведения метеорологических условий в пограничном слое атмосферы в среде неоднородной городской застройки; методом сопоставления модельных результатов и наблюдений. В данной статье предлагается решение задачи с учетом оценки эмиссии и других показателей горения биомассы, не затрагивая другие группы факторов. Показано, что этот подход, имеющий ясное физическое обоснование, дает удовлетворительные результаты и требует дальнейшего развития применительно к данной ХТМ.

Заключение

Представлены результаты по внедрению методики расчета выброса в атмосферу загрязняющих веществ при лесных пожарах в химико-транспортную модель. Методика использована для корректировки входных данных при моделировании распространения атмосферных примесей. Численные эксперименты выполнены для случаев сильных пожаров в центре ЕТР в августе 2010 г. Прямой учет типа растительности и ее средней биомассы позволяет оценить соответствующий фактор эмиссии и при известной (или предполагаемой) площади пожара и его продолжительности моделировать распространение шлейфа пожара с учетом физической и химической трансформации примесей в атмосфере. На основе этой методики разработан расчетный блок и подключен к химико-транспортной модели COSMO-Ru7-ART, что позволяет перейти к оперативной организации численных экспериментов по прогнозу распространения шлейфа продуктов горения.

Проверка полученных результатов свидетельствует о способности модели рассчитывать реалистичные значения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое. В пользу рассматриваемого подхода говорит также возможность оперативного его применения, так как в описанной версии модели подготовка численных экспериментов не требует длительного времени.

1. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
2. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.
3. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесная пром-сть, 1979. С. 99–125.
4. Оперативное управление охраной лесов / Под ред. Л.Т. Шальгиной // Тезисы докл. Всесоюз. научно-техн. совещания. Красноярск: Краевой дом техники, 1984. 65 с.
5. Курбатский Н.П., Иванова Г.А. Пожароопасность сосняков лесостепи и пути ее снижения. Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1987. 112 с.
6. Шешуков М.А., Савченко А.П., Пешков В.В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск: Даль-НИИЛХ, 1992. 95 с.

7. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 218 с.
8. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2006. 1248 p.
9. Grell G.A., Emeis S., Stockwell W.R., Schoenemeyer T., Forkel R., Michalakes J., Knoche R., Seidl W. Application of a multiscale, coupled MM5/chemistry model to the complex terrain of the VOTALP valley campaign // Atmos. Environ. 2000. V. 34, N 29–30. P. 1435–1453.
10. Grell G.A., Peckham S.E., Schmitz R., McKeen S.A. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model: description and applications // Atmos. Environ. 2005. V. 39, iss. 37. P. 6957–6975.
11. Korsholm U.S., Baklanov A., Gross A., Mahura A., Sass B.H., Kaas E. Online coupled chemical weather forecasting based on HIRLAM – overview and prospective of Enviro-HIRLAM // HIRLAM Newslett. N 54. December 2008.
12. Baklanov A. Integrated Meteorological and Atmospheric Chemical Transport Modeling: Perspectives and Strategy for HIRLAM/HARMONIE. Danish Meteorological Institute: HIRLAM Newslett. N 53. March 2008.
13. Vogel B., Vogel H., Baumner D., Bangert M., Lundgren K., Rinke R., Stanelle T. COSMO-ART: Aerosols and reactive trace gases within the COSMO model / Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models / Eds. A. Baklanov, A. Mahura, R.S. Sokhi. Springer, 2011. P. 75–80.
14. Описание химического блока ART. URL: <http://www.imk-tro.kit.edu/download/LM-ART.pdf>
15. Caim консорциума COSMO. URL: <http://www.cosmo-model.org>
16. Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models / Eds. A. Baklanov, A. Mahura, R.S. Sokhi. Springer, 2011. 244 p.
17. Кузнецова И.Н., Зарипов Р.Б., Коновалов И.Б., Звягинцев А.М., Семутникова Е.Г., Артамонова А.А. Вычислительный комплекс «модель атмосферы – химическая транспортная модель», как модуль системы оценки качества воздуха // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 485–492.
18. Зарипов Р.Б., Коновалов И.Б., Кузнецова И.Н., Беликов И.Б., Звягинцев А.М. Использование моделей WRF-ARW и CHIMERE для численного прогноза концентрации приземного озона // Метеорол. и гидрол. 2011. № 4. С. 48–60.
19. Ревокатова А.П., Суркова Г.В., Кирсанов А.А., Ривин Г.С. Прогноз загрязнения атмосферы Московского региона с помощью модели COSMO-ART // Вестн. МГУ. Сер. 5. 2012. № 4. С. 25–32.
20. Kononov I.B., Beekmann M., Kuznetsova I.N., Yurova A., Zvyagintsev A.M. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11, N 19. P. 10031–10056.
21. Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорол. и гидрол. 2010. № 8. С. 6–20.
22. Baldauf M., Seifert A., Förstner J., Majewski D., Raschendorfer M., Reinhardt T. Operational convective-scale numerical weather prediction with the cosmo model: description and sensitivities // Mon. Weather Rev. 2011. V. 139. P. 3887–3905. DOI: 10.1175/MWR-D-10-05013.1.
23. Vogel B., Vogel H., Baumner D., Bangert M., Lundgren K., Rinke R., Stanelle T. The comprehensive model system COSMO-ART – Radiative impact of aerosol on the state

- of the atmosphere on the regional scale // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9, N 22. P. 8661–8680.
24. *Knote C., Brunner D., Vogel H., Allan J., Asmi A., Äijälä M., Carbone S., van der Gon H.D., Jimenez J.L., Kiendler-Scharr A., Mohr C., Poulain L., Prévôt A.S.H., Swietlicki E., Vogel B.* Towards an online-coupled chemistry-climate model: evaluation of trace gases and aerosols in COSMO-ART // *Geosci. Model Dev.* 2011. V. 4. P. 1077–1102. DOI: 10.5194/gmd-4-1077-2011.
 25. *Блинов Д.В., Перов В.Л., Песков Б.Е., Ривин Г.С.* Экстремальная бора 7–8 февраля 2012 г. в районе г. Новороссийска и ее прогноз по модели COSMO-RU // *Вестн. МГУ.* 2013. Сер. 5. (В печати).
 26. *Adrian G., Fiedler F.* Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations // *Contribut. Atmos. Phys.* 1991. V. 64, N 1. P. 27–48.
 27. *Nester K., Fiedler F.* Modeling of the diurnal variation of air pollutants in a mesoscale area // *Proc. the 9th World Clean Air Congress.* Montreal. 1992. V. 5. Paper-No. IU-16C.02.
 28. *Riemer N., Vogel H., Vogel B., Fiedler F.* Modelling aerosols on the mesoscale- μ : Treatment of soot aerosol and its radiative effects // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 109. 4601. DOI: 10.1029/2003JD003448.
 29. *Vogel H., Vogel B., Kottmeier Ch.* Modelling of pollen dispersion with a weather forecast model system // *Proc. 28th NATO/CCMS Int. Meeting on Air Pollution Modelling and its Application.* Leipzig, 2006.
 30. *Stappeler J., Doms G., Schättler U., Bitzer H.W., Gassmann A., Damrath U., Gregoric G.* Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM // *Meteorol. Atmos. Phys.* 2003. V. 82, N 1–4. P. 75–96.
 31. *Stockwell W.R., Middleton P., Chang J.S.* The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling // *J. Geophys. Res. D.* 1990. V. 95, N 10. P. 16343–16367.
 32. *Ackermann I., Hass H., Memmesheimer M., Ebel A., Binkowski F., Shankar U.* Modal aerosol dynamics model for Europe development and first applications // *Atmos. Environ.* 1998. V. 32, N 17. P. 2981–2999.
 33. *Global Land Cover 2000 database.* European Commission // *Joint Res. Centre.* 2003. URL: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>
 34. *Bartholome E., Belward A.* GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data // *Int. J. Remote Sens.* 2005. V. 26, N 9. P. 1959–1977.
 35. *Denier van der Gon H., Visschedijk A., van der Brugh H., Dröge R.* A high resolution European emission data base for the year 2005. A contribution to UBA- Projekt PAREST: Particle Reduction Strategies. TNO-report TNO-034-UT-2010-01895 RPTML. 2010.
 36. *Kuenen J., Denier van der Gon H., Visschedijk A., van der Brugh H.* High resolution European emission inventory for the years 2003–2007. TNO-report TNO-060-UT-2011-00588. 2011.
 37. *Pulles T.* Quality of emission data: Community right to know and national reporting // *Environ. Sci.* 2008. V. 5. P. 151–160. DOI: 10.1080/15693430802141357.
 38. *Pulles T., Heslinga D.* The Art of Emission Inventorying. TNO-report. 2010.
 39. *Battye W., Battye R.* Development of emissions inventory methods for wildland fire. Final report. Contract 68-D-98-046. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency. 2002.
 40. *Дубровская О.А.* Численное моделирование влияния дымовых аэрозолей от лесных пожаров на процессы в атмосфере: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск: Ин-т вычислит. технол. СО РАН, 2008. 16 с.
 41. *Andreae M.O., Merlet P.* Emission of trace gases and aerosols from biomass burning // *Global Biogeochem. Cycles.* 2001. V. 15, N 4. P. 955–966.
 42. *Министерство по чрезвычайным ситуациям.* URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения 10.02.2012).

G.V. Surkova, D.V. Blinov, A.A. Kirsanov, A.P. Revokatova, G.S. Rivin. Simulation of air pollution distribution from forest fires using the chemical-transport model COSMO-Ru7-ART.

Methods of calculating the emission of pollutants from forest fires, designed to adjust the input to the simulation of the propagation of atmospheric pollutants, applied to cases of fires in the center of the European Russia in August 2010. It is based on the type of vegetation and its biomass. It allows us to estimate the appropriate emission factor, and with the known (or assumed) fire area and duration, to model the spread of a fire plume taking into account the physical and chemical transformation of pollutants in the atmosphere. Numerical experiments are performed using the chemical transport model COSMO-Ru7-ART. Verification of the results demonstrates the ability of the model to calculate realistic plume shape and values for the concentration of pollutants in the surface layer.