

## **ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ТЭЦ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. КРАСНОЯРСКА**

*Сергей Владимирович Михайлюта*

Ассоциация Экологических Расследований, 660098, Россия, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 69-106, кандидат технических наук, технический директор, тел. +7(923)280-47-80, e-mail: mikhailuta@gmail.com

*Анатолий Александрович Леженин*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: lezhenin@ommfao.sccc.ru

*Олег Алексеевич Коробов*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, аспирант, тел. (383)330-64-50, e-mail: vasa01011993@gmail.com

В работе представлены результаты численного воспроизведения метеорологических условий, способствующих накоплению промышленных выбросов в атмосфере города. Расчет рассеяния выбросов сажи от ТЭЦ выполнен с помощью модели WRF-CHEM. Показаны изменения концентраций мелкодисперсной пыли в приземном слое атмосферы в жилых районах г. Красноярска в зависимости от ориентации факелов выбросов. Разворот ветра над городом обуславливает увеличение концентраций мелкодисперсных частиц в воздухе жилых районов почти в 200 раз.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, концентрации, мелкодисперсная пыль, промышленные выбросы, неблагоприятные метеорологические условия, WRF, угольные теплостанции.

## **COAL POWER PLANTS EMISSIONS IMPACT ON URBAN AIR POLLUTION IN KRASNOYARSK**

*Sergey V. Mikhailuta*

Environmental investigation Association, 69 – 106, 9 Maya st., Krasnoyarsk, 660098, Russia, Ph. D., Chief Executive Officer, phone: (923)280-47-80, e-mail: mikhailuta@gmail.com

*Anatoly A. Lezhenin*

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Akademik Lavrentieva Prospect, Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., senior researcher, phone: (383)330-64-50, e-mail: lezhenin@ommfao.sccc.ru

*Oleg A. Korobov*

Novosibirsk State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia, Graduate student, phone: (383)330-64-50, e-mail: vasa01011993@gmail.com

The paper presents the results of numerical reproduction of meteorological conditions that contribute to the accumulation of industrial emissions in the urban air. The calculation of the dispersion of PM emissions from the Coal Power Plants was performed by WRF model. It is shown the concentrations of fine particles in the urban air of Krasnoyarsk depending on the orientation of the emission plumes. A wind reversal over the city causes a concentration of fine particles increase in the urban air by 200 times.

**Key words:** urban air pollution, concentrations, industrial emissions, coal power plants, WRF, coal fired power plants.

## *Введение*

Сжигание органического топлива и угля является источником выбросов тяжелых металлов в атмосферу [1]. При этом выбросы вредных для здоровья веществ, образующиеся при сжигании угля, довольно хорошо могут быть измерены и контролироваться для ограничения негативного воздействия окружающую среду и здоровье населения.

Некоторые микроэлементы, после сгорания угля, концентрируются в определенных потоках частиц (например: зола, летучая зола и твердые частицы дымовых газов), но так или иначе, все они, выбрасываемые в атмосферный воздух в процессе эксплуатации при производстве тепла на угольных установках, оказывают значительное воздействие на окружающую среду и здоровье населения [2].

В данной работе с помощью гидродинамической модели WRF-CHEM выполнено описание, на примере г. Красноярска, особенностей метеорологических условий и рассеяния высоких выбросов, образующихся на ТЭЦ (на примере мелкодисперсной пыли). Полученные, по результатам моделирования оценки верифицированы с использованием данных наземных измерений.

## *Методы*

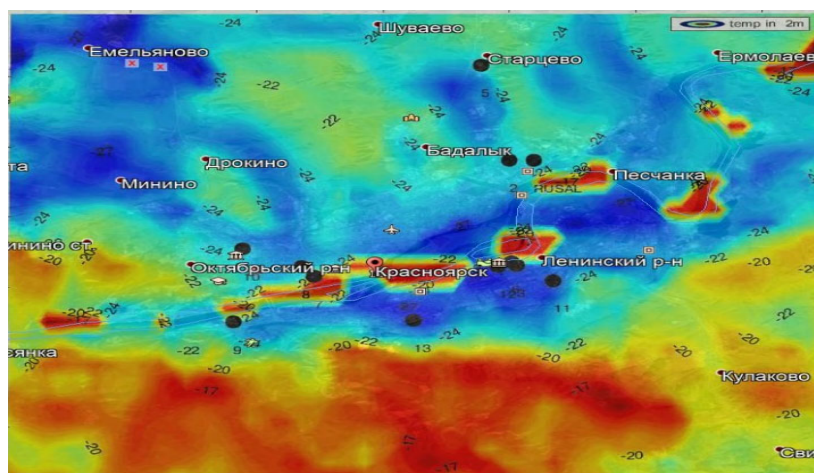
Описание метеорологических условий рассеивания и распространения мелких частиц от промышленных источников производства тепла (ТЭЦ-1,2,3) на территории г. Красноярска выполнялось с помощью методов математического моделирования. Для численного моделирования атмосферных циркуляций над территорией г. Красноярска и вычисления схем распространения выбросов от источников была использована модель Weather Research and Forecasting (WRF) [3-7]. Для проведения вычислений по модели были определены расчетные области с центром – местоположение г. Красноярска. Выбрано два домена для расчетов. Первый домен - область 500 x 500 км рассчитывалась на сетке 200x200 узлов с шагом 2.5 км. Вложенная область расчета 100 на 100 км разрешалась на сетке 200x200 узлов с шагом 0.5 км [3-7]. По вертикали для обоих доменов принято 29 уровней до высоты 20 км со сгущением в атмосферном пограничном слое.

По адаптированной к территории г. Красноярска и его окрестностей модели WRF-CHEM была проведена серия численных расчетов по моделированию метеорологического режима и распространению сажи от трех крупнейших ТЭЦ, расположенных в городе. Исследования выполнялись для периодов с неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) в зимний сезон - 6 – 10 декабря 2018 года.

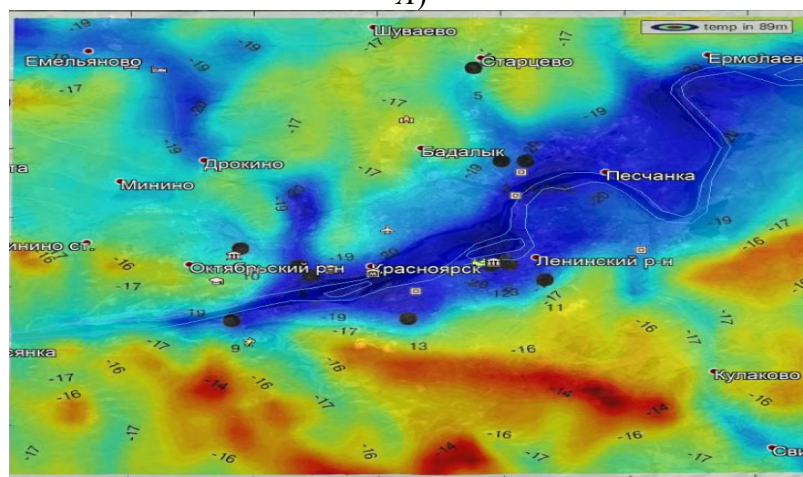
Расчеты выполнены с использованием ресурсов ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный центр Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (<http://www.sccc.icmmg.nsc.ru/>) на кластере НКС-30Т на 64-х ядрах.

## Расчет рассеяния выбросов ТЭЦ

В условиях сложной орографии местности расчеты с использованием WRF-СHEM, позволили получить детализацию полей метеорологических величин и атмосферного загрязнения, над всей территорией города (рис. 1).



A)



B)

Рис. 1. Рассчитанные поля на 07 час. местного времени 7 декабря 2018 г.:

A) приземная температуры воздуха; B) температура на высоте 90 м от поверхности земли. Выделенная расчетная область имеет размеры 60x30 км, шаг сетки 500 м

На рис. 1 видно, что температура воздуха неравномерно распределена по территории города. Это объясняется изменчивостью высот рельефа местности и инверсионным распределением температуры в нижнем километровом слое атмосферы. При таких метеоусловиях температура воздуха приземного слоя в центральной части города на 6-7 С ниже, чем на периферии. В поле приземной температуры над р. Енисей проявляется влияние незамерзающей полыньи. При наличии температурной инверсии и слабых ветров холодный воздух занимает пониженные формы рельефа и тем самым формируется неоднородное поле температуры воздуха по территории города.

Рассчитанные поля ветра на разных высотах от поверхности земли над г. Красноярском показали, что поля ветра на территории города также неоднородны. В приземном слое в центральной области счета, вдоль р. Енисей выделяются штилевые зоны, способствующие накоплению загрязняющих примесей в атмосфере города, а на периферии рассматриваемой области направление ветра - южное. С высотой картина полей ветра существенно изменяется. На высотах около 600 м от поверхности земли доминируют западные ветра, а на высотах более 800 м основное направление ветра - северное.

Таким образом, в нижнем километровом слое направление ветра изменяется от южного до северного, что формирует возвратные ветровые потоки. В нижних слоях атмосферы (у земли) в долине р. Енисей образуются штилевые зоны, способствующие накоплению загрязняющих примесей, а выше, в километровом слое направление ветра изменяется от южного до северного.

На рис. 2 показано расположение источников выбросов (ТЭЦ-1, 2, 3) и наземных станций измерения концентраций мелкодисперсных частиц на территории г. Красноярска.

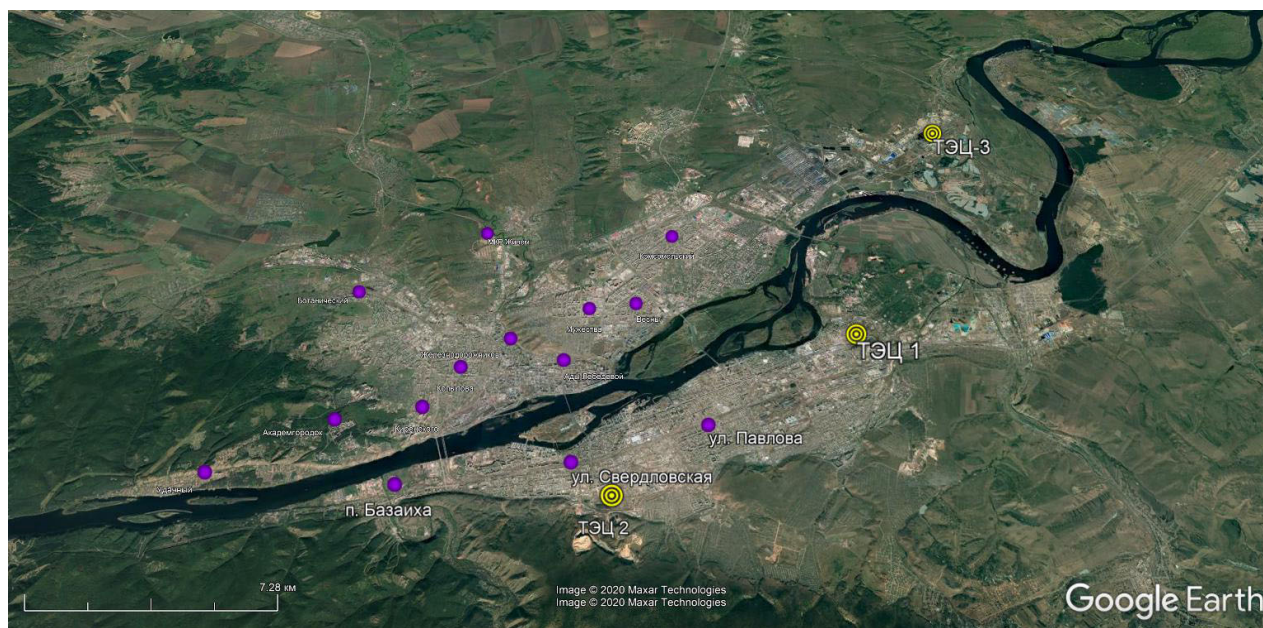


Рис. 2. Расположение крупных ТЭЦ г. Красноярска – желтые точки и наземные станции измерений концентраций  $PM_{2.5}$  в атмосферном воздухе (<https://ru.nebo.live>)

В качестве маркера для численного моделирования и описания схемы рассеивания вредных загрязняющих веществ и микроэлементов, входящих в состав угля и выбрасываемых ТЭЦ над городом, выбрана сажа. Параметры источников выбросов приняты по материалам сводных томов ПДВ [8] и представлены в табл. 1.

Параметры источников выбросов сажи, принятые для расчета рассеяния

Источник / температура выброса	Объем выбросов, сажа, тонн в год	Высота источника, м	Координаты
ТЭЦ – 1 / 176°C	339.5	180	56.024365 93.029789
ТЭЦ – 2 / 166°C	20.6	180	55.970737 92.898582
ТЭЦ – 3 / 170°C	105.4	275	56.109683 93.094849

Для верификации расчетных данных использованы результаты наземных измерений (<https://ru.nebo.live>).

**Результаты расчета рассеивания выбросов сажи**

Ниже, по данным расчетов рассеяния выбросов сажи показано как развивалась ситуация с загрязнением приземного слоя воздуха в жилых районах на территории г. Красноярска. На период 6 декабря 2018 г. с 10 часов местного времени в течение 6 часов происходила переориентация факелов всех трех ТЭЦ. Факела от ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 в течение этого времени сохраняли ориентацию с запада на восток, а факел от ТЭЦ-3 переориентировался с северного направления на северо-восточное. Такая ситуация сохранялась следующие 15 часов, в течение которых происходило интенсивное насыщение приземного слоя атмосферы мелкодисперсными частицами. На рис. 3 представлены результаты измерений концентраций мелкодисперсной пыли с датчиков КрасноярскНебо (<https://ru.nebo.live>) на правом берегу р. Енисей.

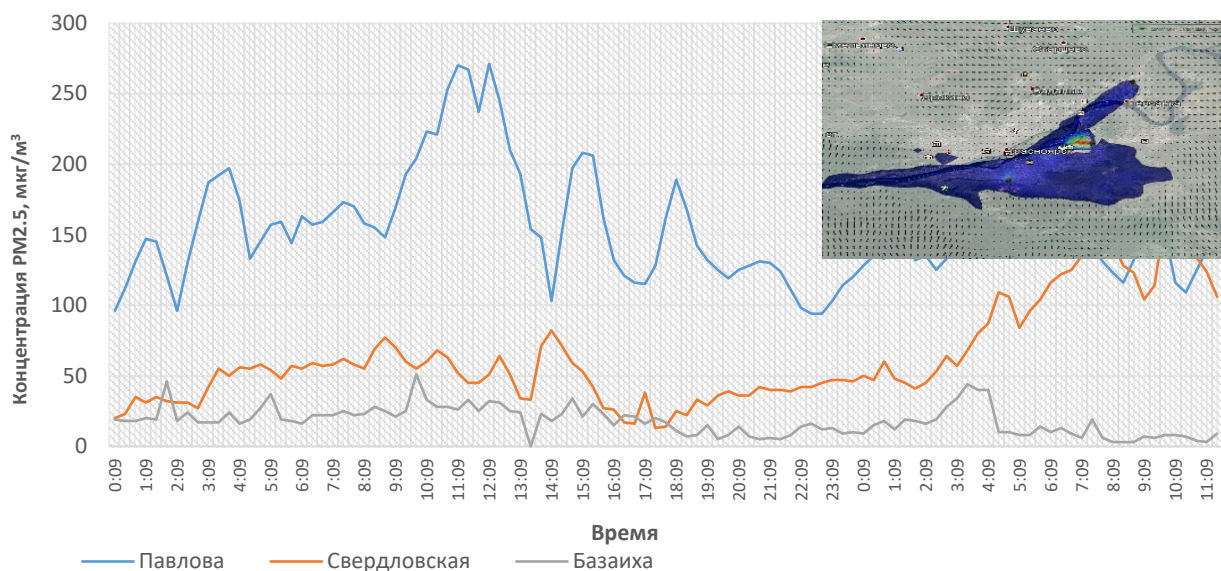


Рис. 3. – Приземные концентрации (мкг/м<sup>3</sup>) мелкодисперсной пыли в пунктах измерений на правом берегу р. Енисей (в правом углу поле концентрации сажи на высоте 20 м над поверхностью земли с 20 ч 6 декабря до 7 ч 7 декабря 2018 г.)

Можно видеть (рис. 3), что по состоянию атмосферы на период с 10 часов 6 декабря до 7 часов 7 декабря 2018 г. в жилых кварталах на правом берегу г. Красноярска сформировался протяженный градиент концентраций сажи с максимумом в районе ул. Павлова и уменьшающимися концентрациями по направлению к поселку Базаиха. Максимальное различие концентраций сажи в промежутке от ул. Павлова до п. Базаиха составляло  $271 - 25 \text{ мкг/м}^3$ . С 13 часов 7 декабря, следуя изменениям в пограничном слое атмосферы произошла новая реориентация направлений ветра и факелов ТЭЦ, при этом факел ТЭЦ-3 принял направление на восток, ТЭЦ-1 – на север, а ТЭЦ-2 – на север-запад. Такая ситуация привела к уменьшению содержания мелкодисперсных частиц в приземном слое атмосферы на территории г. Красноярска (рис. 4).

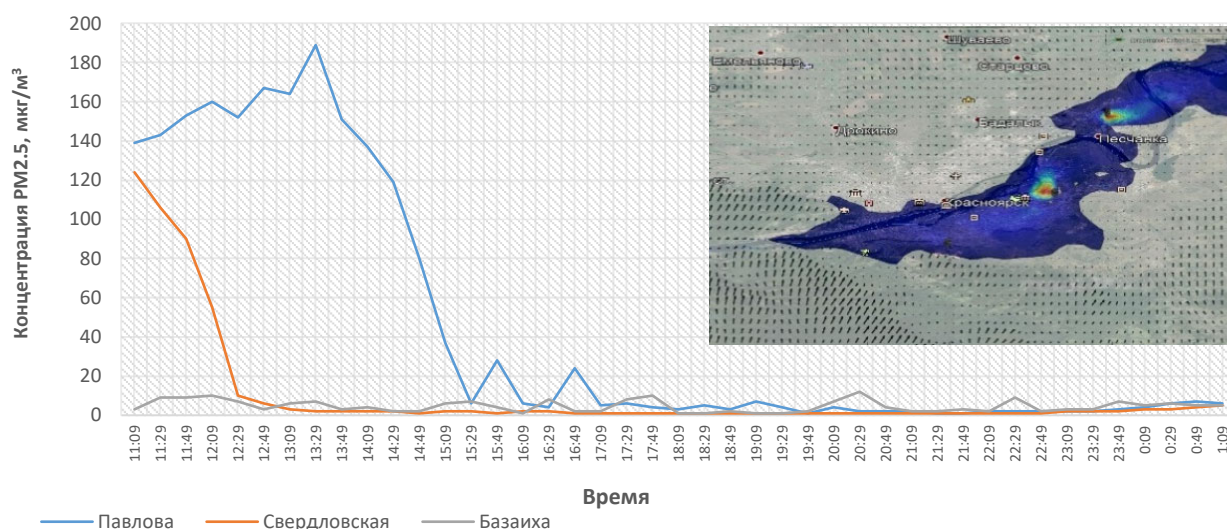


Рис. 4. – Изменение приземных концентрации ( $\text{мкг/м}^3$ ) мелкодисперсной пыли в пунктах измерений на правом берегу р. Енисей при изменении ориентации факелов выбросов от ТЭЦ (В правом углу изменение ориентации факелов выбросов ТЭЦ над территорией г. Красноярска)

При дальнейшем возвращении факелов выбросов от труб ТЭЦ к ориентации с северо-восточного направления на юго-запад и запад, под воздействием поворота ветров в слое на высотах с 90 м и выше, к 20 ч 8 декабря 2018 года, последовал монотонный подъем концентраций сажи в приземном слое воздуха. На рис. 5 представлено изменение концентраций мелкодисперсных частиц в приземном слое воздуха при возвращении ориентации факелов ТЭЦ на юго-запад.

Можно видеть, что через 12 часов от ситуации, представленной на рис. 5, градиенты опасных для здоровья концентраций на правом берегу в жилых районах г. Красноярска полностью восстановились. Наблюдалось увеличение концентраций - более чем в 180 раз относительно ситуации с ориентацией факелов выбросов на север и северо-запад (рис.4).

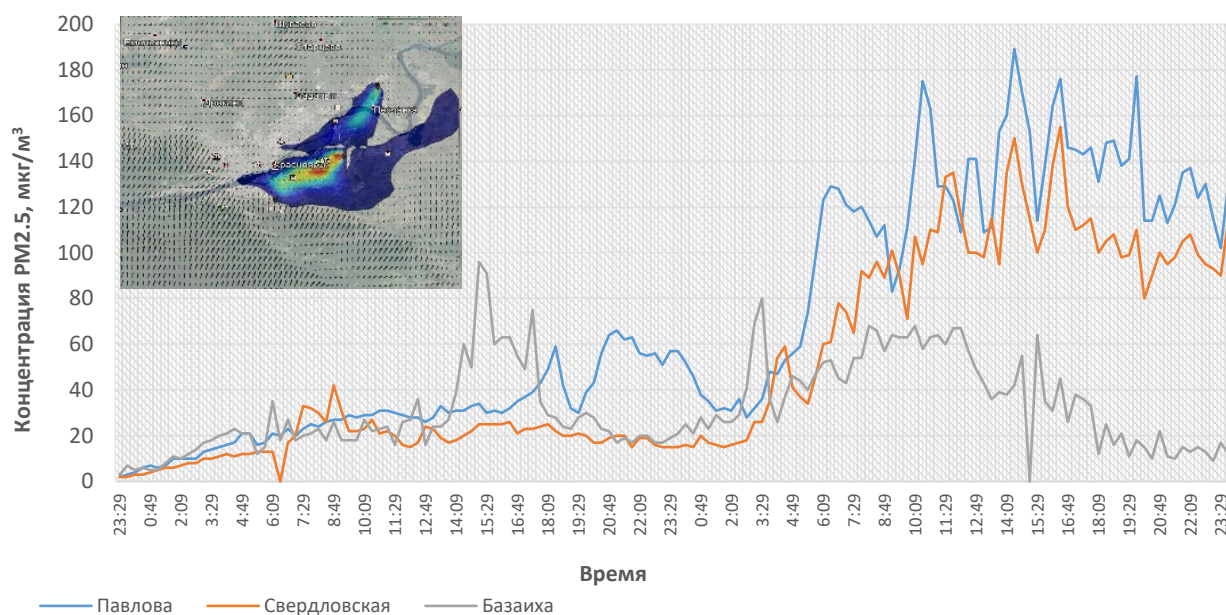


Рис. 5. – Изменение приземных концентрации ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) мелкодисперсной пыли в пунктах измерений на правом берегу р. Енисей при изменении ориентации факелов выбросов от ТЭЦ (В левом углу ориентация факелов выбросов ТЭЦ над территорией г. Красноярска по состоянию на 20 ч. 8 декабря 2018 г.)

### *Заключение*

Микроэлементный состав углей, используемых для автономных источников теплоснабжения и тепловой генерации на крупных, промышленных установках ТЭЦ на территории г. Красноярска, характеризуется широким спектром опасных для здоровья населения и окружающей среды элементов. Объем содержания этих микроэлементов находится на уровне значимом для оценки и контроля выбросов в атмосферный воздух и при определённых условиях формирует заметный (выше критического) риск для здоровья.

Метеорологические условия, формирующиеся над г. Красноярском в периоды с неблагоприятным рассеиванием, обуславливают повышение концентраций загрязняющих веществ на большей части жилых районов города. При этом выбросы ТЭЦ наиболее интенсивно загрязняют воздух в жилых районах на правом берегу и в микрорайонах, расположенных на повышенных формах рельефа на левом берегу р. Енисей.

В штилевых условиях в пограничном слое атмосферы в период НМУ выявленный с помощью модели WRF-CHEM разворот ветра над городом обуславливает увеличение концентраций мелкодисперсных частиц в воздухе жилых районов почти в 200 раз.

### *Благодарности*

Работа выполнена в рамках Госзадания ИВМиМГ СО РАН (№ 0315-2019-0004)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ИТС-38 2017 Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – М: Бюро НДТ, 2017. – 280 с.
2. Nelson P F, Shah P, Strezov V, Halliburton B, Carras J N Environmental impacts of coal combustion: A risk approach to assessment of emissions // Fuel. – 2010. – V. 89. – P 810-816.
3. WRF–ARW User’s Guide v. 3.4. – Boulder: NCAR, 2013. – 384 p. – Режим доступа: [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_V3.4/ARWUsersGuideV3.4.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.4/ARWUsersGuideV3.4.pdf) (Дата обращения: 01.09.2015)
4. Weather Research and Forecasting (WRF) Model <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
5. Grell, G., et al. (2011b), 80 Bibliography WRF-Chem V3.9.1: Updates, Current and Future Work, in ‘12th Annual WRF Users’ Workshop, Boulder, CO, U.S.A.’. <https://www.yumpu.com/en/document/read/50113610/wrf-chem-version-33-users-guide-ruc-noaa>.
6. Вельтищев Н. Ф., Жупанов В. Д. Информация о модели общего пользования WRF-NMM / Под ред. В.А. Анцыповича. М. : Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Главный вычислительный центр, 2007.
7. Мартынова Ю. В., Зарипов Р. Б., Крупчатников В. Н., Петров А. П. Оценка качества прогноза динамики атмосферы в Сибирском регионе мезомасштабной моделью WRF-ARW // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 7. – С. 14-24.
8. Отчет по 2-му этапу государственного контракта № 35 от 13.06.2017 года о выполнении «Корректировки сводного тома предельно допустимых выбросов для г. Красноярск» / Институт проектирования, экологии и гигиены, Санкт-Петербург, 2017. – 239 с.

© С. В. Михайлюта, А. А. Леженин, О. А. Коробов, 2020