

## МОНИТОРИНГ МАКРОКОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ ТЭЦ-5 г. НОВОСИБИРСКА

*Василий Васильевич Коковкин*

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 3, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)315-16-32, e-mail: basil@niic.nsc.ru

*Владимир Федотович Рапута*

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований выпадений взвешенных веществ и ионного состава снежного покрова в окрестностях Новосибирской ТЭЦ-5 в зимнем сезоне 2018/19 гг. Проведён корреляционный анализ связей между компонентами примесей. На основе модели реконструкции выпадений лёгкой примеси и данных снегового мониторинга выполнено численное восстановление полей концентраций.

**Ключевые слова:** загрязнение, мониторинг, снежный покров, ионный состав, модель оценивания.

## SNOWPACK MACROCOMPONENTS COMPOSITION MONITORING IN THE VICINITY OF TPP-5 OF NOVOSIBIRSK CITY

*Vasily V. Kokovkin*

Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry of SB RAS, 3, Acad. Lavrentieva avenue, Novosibirsk, 630090, Russia, Cand. Sci. in Chem., Senior Researcher, phone: (383)315-16-32, e-mail: bail@niic.nsc.ru

*Vladimir F. Raputa*

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Acad. Lavrentieva avenue, Novosibirsk, 630090, Russia, Chief Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

The results of experimental investigation of suspended substances and ionic composition of snowpack in the vicinity of Novosibirsk thermal power plant (TPP) 5 in 2018/19 winter season are presented. The correlation relationship analysis between impurity components was done. On the basis of light impurity sedimentation reconstruction model and the snowpack monitoring data, there was done the numerical restoring the concentration fields.

**Key words:** contamination, monitoring, snow cover, ionic composition, reconstruction model.

### *Введение*

Значимыми источниками загрязнения окружающей среды являются предприятия топливно-энергетического комплекса, металлургические и химические заводы, автотранспорт, железнодорожный транспорт [1-3]. Снежный покров яв-

ляется наиболее перспективным объектом анализа при изучении процессов загрязнения атмосферы. Накопление веществ-загрязнителей в снежном покрове обеспечено двумя основными процессами: сухим выпадением и влажным загрязнением [4, 5]. Первый процесс заключается в попадании веществ из атмосферы в виде твердых частиц – пыли и аэрозолей – в уже выпавший снег, второй – в загрязнении снежинок в момент их образования. Соотношение их вклада зависит от погодных условий, длительности холодного периода, начальной высоты выброса примесей и т.д.

В ионный состав атмосферных осадков входят такие основные компоненты, как ионы  $[Ca^{2+}]$ ,  $[Mg^{2+}]$ ,  $[Na^+]$ ,  $[K^+]$ ,  $[NH_4^+]$ ,  $[H^+]$ ,  $[HCO_3^-]$ ,  $[Cl^-]$ ,  $[NO_3^-]$  и  $[SO_4^{2-}]$ . Первые четыре катиона могут иметь в качестве предшественников в атмосфере только аэрозольные частицы, в то время как остальные ионы могут иметь предшественниками и летучие компоненты, например, оксиды азота и серы [4].

Целью данного исследования является изучение динамики пространственного распределения взвешенных веществ, макрокомпонентов в зоне действия атмосферных выбросов ТЭЦ – 5 на основе мониторинга загрязнения снежного покрова.

### ***Объекты и методы исследования***

Новосибирская ТЭЦ - 5 является крупнейшей теплоэлектроцентралью блочного типа. Она входит в холдинг «Сибирской генерирующей компании». Расположена ТЭЦ на восточной окраине города. На станции можно сжигаться уголь, мазут, природный газ. Основные выбросы в атмосферу поступают через железобетонную дымовую трубу высотой 260 метров.

С осени 2018 года Новосибирская ТЭЦ - 5 перешла с каменных углей на сжигание низкозольных бурых углей Бородинского разреза, расположенного в Красноярском крае. Результаты пробного сжигания бурого угля на ТЭЦ-5 показали, что при работе котла на буром угле топочный режим стабильнее, горение устойчивое, распределение газов по периметру топки и выходе из неё равномерное. Самое важное отличие этих углей от каменного угля заключается в меньшем содержании углерода и значительно большем содержании битуминозных летучих веществ и воды. Содержание азота значительно уступает каменным углям, но повышено содержание серы. Зольность бурого угля меньше, чем каменного, улавливание летучей зоны из дымовых газов осуществляется электрофильтрами с высоким коэффициентом полезного действия ~ 99%. Зола из-под электрофильтров транспортируется на золоотвал.

Следует отметить, что в период принятия решения о переводе ТЭЦ – 5 на использование бурого угля в Новосибирске развернулась широкая общественная дискуссия. Основные возражения состояли в том, что эта замена существенно ухудшит экологическую обстановку в городе и его окрестностях. Приведёт к более высокому загрязнению атмосферы окислами азота, углерода, полиароматическими углеводородами, тяжёлыми металлами.

На высотах более 100 метров следует учитывать эффекты разворота ветра в пограничном слое атмосферы. Как следствие, из-за большой высоты трубы

ТЭЦ-5 это необходимо учитывать при планировании размещения точек пробоотбора на местности и при последующем построении моделей выпадений примесей [3, 6]. Размещение точек мониторинга снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-5 г. Новосибирска проводилось с использованием математических методов планирования оптимального эксперимента [7, 8]. На основе построенных схем наблюдений в начале марта 2019 г. выполнен отбор проб снега в 18 точках. Удаление точек пробоотбора от источника достигало 20 км, что позволило определить локальную и региональную составляющие выносов примеси.

Отбор проб снега в районе ТЭЦ-5 проводился по нескольким маршрутам. С учётом высокой зимней повторяемости ветров южного и юго-западного направлений, в основном, маршруты располагались в северо-восточном секторе выноса примесей от промплощадки ТЭЦ [6]. Полевые исследования проводились 11 марта 2019 г. Схема размещения точек отбора представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема отбора проб снега в окрестностях Новосибирской ТЭЦ-5

Техника пробоотбора состояла в вырезании керна на всю глубину снегового покрова до основания его залегания с использованием металлической трубы ( $d=10$  см). Полученный керн, очищенный от остатков почвы и растительности в основании трубы, помещали в полиэтиленовый пакет с маркировкой. Из пакета полностью удалялся воздух, для предотвращения перераспределения компонентов между фазами, а также возможной трансформации. После доставки в лабораторию пробы снега хранились в холодильнике ( $t = -18^{\circ}\text{C}$ ).

Анализ химического состава снеговых проб проводился в Институте неорганической химии СО РАН. Для определения химического состава проб снега после их топления использовали следующие обычно методы: рН-метрию и метод

измерения электропроводности – для определения общих показателей; капиллярный электрофорез – для определения анионного состава проб; атомно-абсорбционную спектрометрию – для определения катионов. В схеме определения неорганических компонентов и осадка предусмотрено фильтрование через бумажный фильтр с диаметром пор 3-5 мкм. При фильтровании внешнее давление воздуха оказывали на поверхность воды, продавливая раствор через фильтр. Вес осадков определяли после высушивания по разности фильтров с осадками и фильтров до фильтрования. В фильтрате определяли содержание натрия, кальция, магния, калия и др. с помощью спектрометра Hitachi Z-8000 (Япония). Метод основан на измерении поглощения резонансного излучения свободными атомами, находящимися в газовой фазе

Анионный состав снеготалых вод формируется как результат вымывания кислотообразующих газов (оксидов серы и азота, галогеноводородов и др.), при растворении которых в воде образуются хлорид-, сульфат-, нитрат-, нитрид-, фторид- и другие анионы. Для определения анионного состава вод различной природы широкое распространение получил метод капиллярного электрофореза (КЭ). Метод КЭ основан на разделении ионных компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля. Для определения неорганических анионов (хлоридов, нитратов, сульфатов и фторидов) использовали ионный хроматограф Metrohm 883 Basic IC plus [9-13].

### *Результаты и обсуждения*

Результаты проведённых полевых и химико-аналитических исследований приведены в табл. 1, 2. Они позволили оценить уровень макрокомпонентного загрязнения территорий, прилегающих к ТЭЦ-5.

*Таблица 1*

Содержание твёрдого осадка в снеговых пробах

№ точки	Расстояние до ТЭЦ-5, км	Вес снега, кг	Вес осадка, мг	Концентрация, мг/кг
1	0,62	1,40	46,7	33.4
2	1,21	1,44	31,9	22.2
3	2,38	1,28	39,6	30.9
5	3,95	1,26	27,8	22.1
6	3,76	0,95	27,1	28.5
7	4,39	1,45	30,1	20.8
8	6,43	1,42	30,0	21.1
12	6,12	0,88	20,4	23.2
13	2,88	1,68	34,5	20.5
14	3,32	1,67	39,2	23.5
17	5,95	1,29	20,6	16.0
18	2,56	1,61	41,8	26.0

Таблица 2

Концентрации компонентов ионного состава в пробах снеготалой воды (мг/л)

№ точки	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
1	3.0	6.6	3.3	0.08	1,1	0,82	3,1	3,0
2	1.4	1.9	2.5	0.16	0,8	0,55	1,2	2,6
3	3.7	2.4	6.3	0.09	1,9	0,48	2,8	3,1
5	1.7	2.3	2.3	0.04	2,0	0,38	1,4	2,2
6	1.1	2.3	2.8	0.06	0,4	0,40	0,9	2,6
7	1.6	2.0	3.0	0.11	0,9	0,44	1,2	2,2
8	1.3	2.2	3.3	0.07	0,6	0,43	1,6	2,4
12	2.4	2.6	2.7	0.10	0,3	0,39	1,7	2,6
13	0.8	2.2	3.1	0.06	0,6	0,49	1,4	2,4
14	0.7	2.3	2.3	0.04	0,5	0,42	0,7	2,5
17	1.4	1.7	2.7	0.04	0,7	0,54	0,9	1,4
18	1.2	2.1	3.1	0.05	0,5	0,36	0,8	1,7

На рис. 2 представлены парные корреляции между измеренными концентрациями осадка, растворённого кальция, натрия, хлоридов, которые показывают довольно высокие значения коэффициентов корреляции. Отсюда вытекает связь этих компонентов с основным источником - атмосферными выбросами ТЭЦ-5.

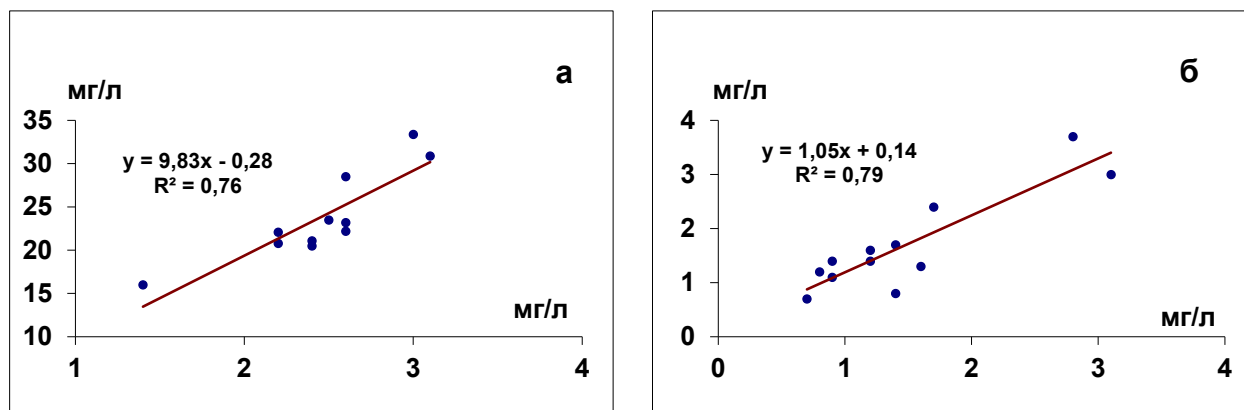


Рис. 2. Попарные корреляции между концентрациями осадка и кальция (а), натрия и хлоридов (б) в точках отбора снеговых проб

Из предварительного анализа полученных данных полевых и химико-аналитических исследований следует, что основные аэрозольные выпадения в окрестностях ТЭЦ-5 обусловлены оседанием лёгких фракций частиц. Максимумы приземных концентраций по направлениям выноса достигаются на расстояниях порядка 4 км от высотной трубы ТЭЦ. Отсюда вытекает, что для оценивания полей концентраций вдоль маршрутов пробоотбора целесообразно

использовать следующую модель реконструкции в приближении лёгкой примеси [7, 8, 14]

$$q(x, S) = S x^{-2} \exp\left(-\frac{2x_{max}}{x}\right), \quad (1)$$

где  $x$  - расстояние от трубы,  $x_{max}$  - расстояние от источника, на котором достигается максимальная приземная концентрация слабооседающей примеси. Оценки неизвестного параметра  $S$  в (1) проводится по данным наблюдений [15-20].

Для северного направления результаты численного восстановления полей концентраций по модели (1) представлены на рис. 3. Из анализа рис. 3 вытекает вполне удовлетворительное согласие измеренных и вычисленных концентраций различных ингредиентов примеси в контрольных точках наблюдений.

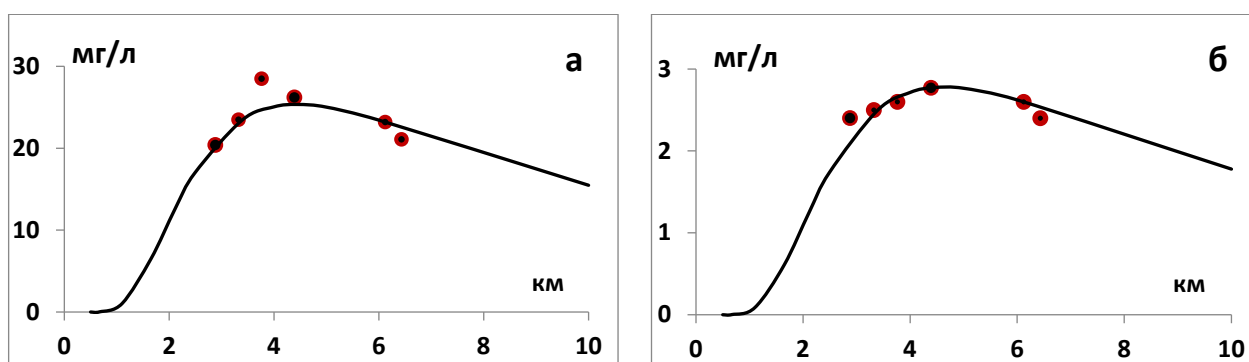


Рис. 3. Численно восстановленные по модели (1) концентрации осадка и водорастворённого кальция. ● - измеренные концентрации в точках пробоотбора

Анализ рис. 3 показывает, что пространственная динамика распределения полей концентраций вполне адекватно описывается моделью лёгкой примеси. Из всех направлений в точках северного направления наблюдается наибольшая концентрация осадка, что вполне согласуется с зимней розой ветров.

### *Заключение*

Выполнены экспериментальные исследования макрокомпонентного состава снежного покрова, выпадений взвешенных веществ в окрестностях ТЭЦ-5. Установлено, что основные выпадения взвешенных веществ происходят от высотной трубы станции в составе лёгких фракций частиц и являются незначительными. Результаты экспериментальных исследований и численного моделирования показали, что максимумы их аэрозольных выпадений образовались на расстояниях около 4 км от основной трубы ТЭЦ. С учётом её высоты (260 м) это означает, что в выбросах преобладают мелкие фракции и на станции достигнут достаточно высокий уровень очистки выбрасываемых газопылевых смесей. Следует отметить, что в зимнее время основные территории г. Новосибирска не попадают в зону относительно интенсивного влияния выбросов ТЭЦ-5. Получен-

ные результаты позволили выполнить оценку экологической эффективности очистки газопылевых смесей на ТЭЦ-5.

### ***Благодарности***

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Александров Ю. В., Кузубова Л. И., Яблокова Е. П. Экологические проблемы автомобильного транспорта // Аналитический обзор. – Новосибирск : Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2005. - Вып. 34.
2. Шамрикова Е. В., Ванчикова Е. В., Рязанов М. А., Казаков В. Г. Состояние снежного и почвенного покрова вблизи цементного завода // Вода: химия и экология. - 2010. - № 10. - С. 46-51.
3. Рапута В. Ф., Шлычков В. А., Леженин А. А., Романов А. Н., Ярославцева Т. В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. № 8. – С. 713–718.
4. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова: монография. - Л. : Гидрометеиздат. - 1985. - 182 с.
5. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы: монография. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
6. Климат Новосибирска и его изменения / И.О. Лучицкая, Н.И. Белая, С.А. Арбузов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2014. - 224 с.
7. Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методология оптимального пробоотбора, схемы химического анализа и модели распространения аэрозольных примесей в мониторинге антропогенных источников // География и природные ресурсы. - 2004. - Спецвыпуск. - С. 162-169.
8. Коковкин В. В., Шуваева О. В., Морозов С. В., Рапута В. Ф. Руководство по методам полевых и лабораторных исследований снежного покрова, численной интерпретации экспериментальных данных. – Новосибирск : НГУ. – 2013. – 81 с.
9. Zou H., Huang X., Ye M., Luo Q. Monolithic stationary phases for liquid chromatography and capillary electrochromatography // J Chrom A. – 2002. - 954. – P. 5–32.
10. Бейзель Н. Ф. Атомно-абсорбционная спектрометрия: учебное пособие. – Новосибирск: НГУ. - 2008. - 86 с.
11. Волощук А. М. Руководство по капиллярному электрофорезу: методическое пособие. – М. : Химия. – 1996. – 111 с.
12. Руденко Б. А., Руденко Г. И. Высокоэффективные хроматографические процессы. – М.: Наука, 2003. – Т. 2. – 286 с.
13. Нормы погрешности измерения показателей состава и свойств, ГОСТ 27384. 2002, Межгосударственный совет по стандартам, метрологии и сертификации. Минск, 2002. 8 с
14. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси: монография. - Л. : Гидрометеиздат, - 1991. - 278 с.
15. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. – Л. :, Химия, - 1983.
16. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, - 1982.
17. Raputa V. F., Kokovkin V. V., Morozov S. V., Yaroslavtseva T. V. Organic Carbon in the City Territories of the South of West Siberia // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. - № 4. - С. 483-489.

18. Lezhenin A. A., Yaroslavtseva T. V., Raputa V. F. Monitoring of Aerosol Pollution of Snow Cover with Ground Based Observation Data and Satellite Information // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. - 9(7). - 950-959.

19. Рапута В. Ф., Шлычков В. А., Леженин А. А., Романов А. Н., Ярославцева Т. В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосферы и океана. - 2014. - Т. 27, № 08. - С. 713-718.

20. Рапута В. Ф. Экспериментальные и численные исследования аэрозольных выпадений примесей в окрестностях нефтегазового факела // Вестник НГУ. Математика, информатика, механика. - 2013. - № 2. - С. 96-102.

© В. В. Коковкин, В. Ф. Рапута, 2020