

НАЗЕМНЫЙ И СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИСКИТИМО-ЛИНЕВСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ

Руслана Александровна Амикишиева

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, младший научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: ruslana215w@mail.ru

Владимир Федотович Рапута

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

Ирина Алексеевна Соловьёва

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, заместитель директора, тел. (383)222-33-07, e-mail: sol@rcpod.ru

Представлены результаты численного анализа атмосферного загрязнения окрестностей промплощадки Чернореченского цементного завода (ЧЦЗ) и территории г. Искитим. Материалом исследований служили результаты пробоотбора талого снега за 2019-20 гг. В качестве спутниковых данных использовался снежный индекс (NDSI), рассчитываемый по снимкам высокого разрешения с космических аппаратов Landsat, Sentinel. Приводятся статистические зависимости между данными наземных и спутниковых наблюдений. Выявлена общая динамика изменения концентрации примеси в снеге и значений NDSI. Расчет концентрации производится на базе малопараметрических моделей реконструкции, с использованием данных наземных измерений. Для расчетов и визуализации использовались средства геоинформационной системы, которая была разработана ранее. В перспективе, данные исследования представляют собой основу для разработки методики комплексного анализа процесса атмосферного загрязнения с использованием наземных и спутниковых наблюдений.

Ключевые слова: атмосфера, примесь, численное моделирование, NDSI, малопараметрические модели

GROUND AND SATELLITE MONITORING OF POLLUTION PROCESSES ISKITIM-LINEVSK INDUSTRIAL ZONE

Ruslana A. Amikishieva

Siberian Center FGBU «SRC «Planeta», 30, Sovetskay St., Novosibirsk, 630099, Russia, Junior Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: ruslana215w@mail.ru

Vladimir F. Raputa

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Irina A. Solov 'eva

Siberian Center FGBU «SRC «Planeta», 30, Sovetskay St., Novosibirsk, 630099, Russia, Deputy Director, phone: (383)222-33-07, e-mail: sol@rcpod.ru

The results of a numerical analysis of atmospheric pollution in the vicinity of the industrial site of the Chernorechensky cement plant (CCP) and the territory of Iskitim are presented. The research material was the results of sampling melted snow for 2019-20. The snow index (NDSI), calculated from high-resolution images from the Landsat and Sentinel satellites, was used as satellite data. Statistical relationships between ground-based and satellite observations are given. The general dynamics of changes in the impurity concentration in the snow and NDSI values are revealed. The concentration is calculated on the basis of low-parameter reconstruction models using ground-based measurements. For calculations and visualization, the means of the geographic information system, which was developed earlier, were used. These studies represent the basis for the development of a methodology for a comprehensive analysis of the process of atmospheric pollution using ground-based and satellite observations.

Keywords: atmosphere, impurity, numerical modeling, NDSI, low-parameter models

Введение

В условиях Сибири одним из самых эффективных и надёжных методов исследования процессов атмосферного загрязнения окружающей среды является мониторинг снежного покрова [1–5]. Он может быть использован как при проведении контактных, так и спутниковых наблюдений [3, 6–10]. Использование методов мониторинга загрязнения снежного покрова существенно дополняют прямые инструментальные исследования окружающей среды [1, 2, 9]. В пробах снега фиксируется многокомпонентный состав примесей и отражается атмосферная динамика процессов их переноса от источников выбросов. Численный анализ данных мониторинга может быть выполнен на основе моделей реконструкции полей загрязнения [11–13].

Искитимский район является одним из промышленных центров Новосибирской области. Основные предприятия: Искитимский цементный завод (Искитим-Цемент), Новосибирский электродный завод (Энергопром), а также завод железобетонных изделий (ИЗСМ), Линеvский завод металлоконструкций и др. Исходя из этого, исследование атмосферного загрязнения г. Искитима и близлежащих промплощадок является актуальной задачей [12, 14].

Целью работы является численное исследование процессов атмосферного загрязнения территорий Искитимского района и г. Искитима на основе данных наземного и спутникового мониторинга загрязнения снежного покрова.

Модели и методы исследования

В исследованиях использовались данные наземного мониторинга за зимний период 2019-20 гг. а также спутниковые снимки высокого разрешения с КА Sentinel-2A, -2B и Landsat-8. Численная реконструкция полей атмосферного загрязнения осуществлялась по малопараметрическим моделям: моно-, полидисперсной. Проведен статистический анализ количества сторонних примесей в пробах снега и значением снежного индекса (NDSI), рассчитанного по спутниковым данным.

Для численного анализа и наглядного представления данных использовались возможности ранее разработанной ГИС-системы.

Моно-(1) и полидисперсные (2) модели для численной реконструкции полей концентрации примеси за длительный период времени от точечных источников представляются в виде формул [3, 12, 15 - 17]:

$$Q_m(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_1 r^{\theta_2} \exp\left(\frac{-2r_m}{r}\right) P(\varphi + 180^\circ) \quad (1)$$

$$Q_p(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_1 r^{\theta_2} \exp\left(\frac{\theta_3}{r}\right) P(\varphi + 180^\circ) \quad (2)$$

Здесь r – расстояние от источника выбросов до точки измерения концентрации, r_m – расстояние от источника, где наблюдается максимальная концентрация примеси, $\vec{\theta}$ – вектор аппроксимируемых параметров, зависящих от характеристик источника и стандартных метеоусловий, $P(\varphi)$ – роза ветров.

Normalized Difference Snow Index (NDSI) – один из индексов для детектирования снежного покрова, является нормированной разницей видимого зеленого канала (0,5–0,6 мкм) и коротковолнового инфракрасного канала (1,5–1,8 мкм) [18, 19].

Отборы проб снега проводились в марте 2020 г. в окрестностях ЧЦЗ и на территории г. Искитим. Результаты физико-химического анализа проб использовались для сопоставления со спутниковыми данными и численного восстановления поля атмосферного загрязнения.

Численная обработка данных проводилась с использованием функций ГИС-системы, которые позволяют провести обработку мультиспектральных спутниковых снимков, интерполировать поле загрязнения на базе значений NDSI в опорных точках, реконструировать поле выпадения примеси от точечного источника, опираясь на данные наземных наблюдений.

Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлена схема отбора проб за 2020 г. в окрестностях Чернореченского цементного завода. Пробоотбор проводился в северо-западном направлении с учётом зимней розы ветров [20]. Также при выборе маршрута пробоотбора было учтено влияние особенности рельефа, поскольку основной вынос промышленных выбросов идет по долине р. Бердь.

Диаграмма на рис. 2, а отображает степень согласованности измеренной концентрации примеси в пробах с данными, рассчитанными по монодисперсной модели реконструкции (ММР). Для расчета использовались две опорные точки: т-ка №10 (0,72 км от ЧЦЗ) и т-ка №4 (1,64 км от ЧЦЗ). На рис. 2, б представлен график корреляции значений снежного индекса и измеренной концентрации примеси для выборки точек. Для расчета NDSI использовался снимок с КА Sentinel-2A от 11 марта 2020 г.

Город Искитим расположен в долине реки Бердь и имеет протяженную форму с севера на юг. Непосредственно в черте города расположены такие пром. предприятия как ИскитимЦемент, ТЭЦ, завод железобетонных изделий и др.



Рис. 1. Схема отбора проб снега в окрестностях Чернореченского цементного завода, 2020 г.

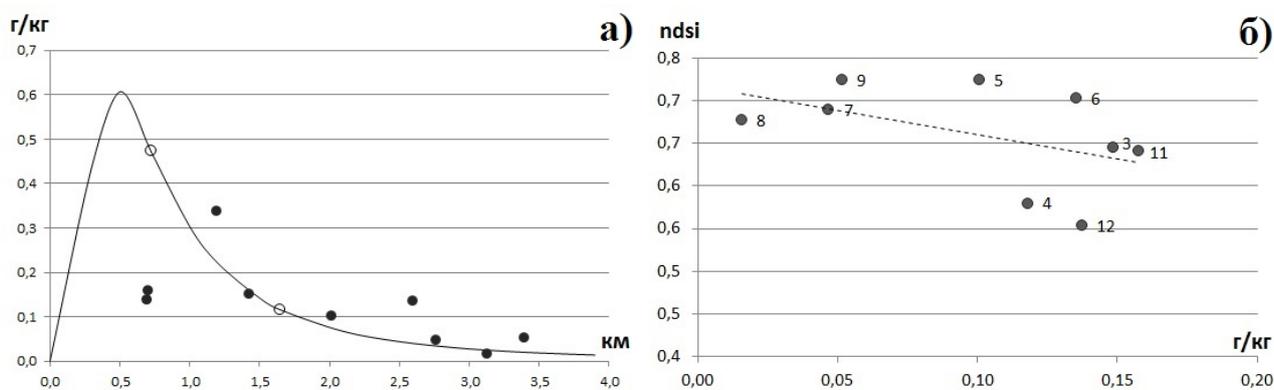


Рис. 2. График измеренных и рассчитанных по MMP данных концентрации примеси (а); корреляция значений NDSI и измеренной концентрации осадка (б)

На рис. 3 представлена схема отбора проб (крайний слева фрагмент), а также корреляционные зависимости между значениями NDSI и концентрацией примеси в точках (рис. 3, а), значениями рН (рис. 3, б). С учетом погрешности в измерениях и относительно небольшого разрешения спутникового снимка, можем наблюдать согласованность в динамике изменения отражательной способности снега и его физико-химических характеристик.

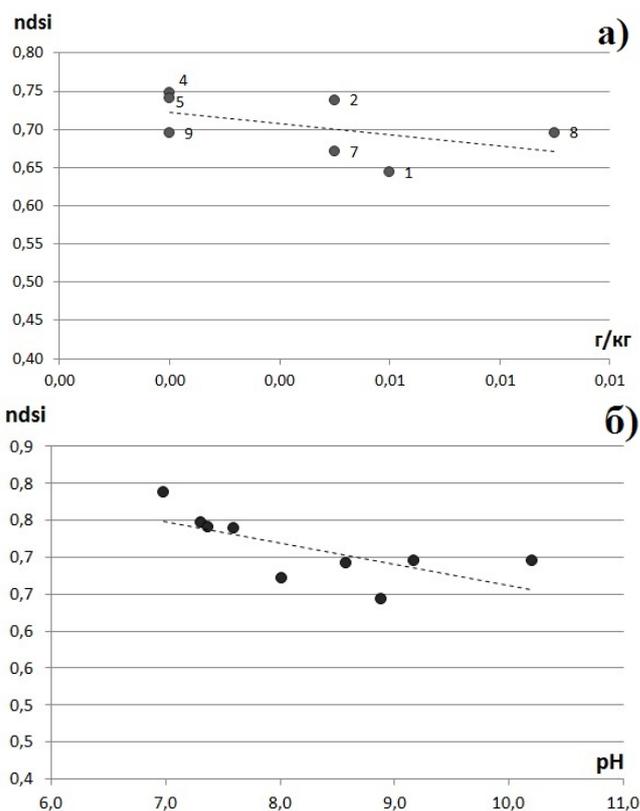


Рис. 3. Схема проботбора на территории г. Искитима, март 2020 г.
корреляция значений NDSI и измеренной концентрации примеси (а);
корреляция значений NDSI и pH (б)

Заключение

Представленные методы позволяют проводить численный анализ процессов атмосферного загрязнения с совместным использованием данных наземного и спутникового мониторинга. С применением данных методик был проведен анализ загрязнения окрестностей Чернореченского цементного завода и территории г. Искитим.

Работа выполнена в рамках Госзадания для ИВМиМГ СО РАН (проект 0215-2021-0003), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект № 19-47-540008).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 182 с.
2. Прокачева В. Г., Усачев В. Ф. Снежный покров как индикатор кумулятивного загрязнения в сфере влияния городов и дорог // Метеорология и гидрология. - 2013. - № 3. - С. 94-106.
3. Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. - № 5. - С. 447-457.

4. Журавлёва Н.В., Потокина Р.Р., Исмагилов З.Р., Хабибулина Е.Р. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка // *Химия в интересах устойчивого развития*. - 2014. - Т. 22. - № 5. - С. 445-454.
5. Королева Г. П., Горшков А. Г., Виноградова Т. П. Исследование загрязнения снегового покрова как депонирующей среды (Южное Прибайкалье) // *Химия в интересах устойчивого развития*. - 1998. - Т.6. - С. 327-337.
6. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Прослеживание корреляции динамики NDVI в сравнении с зоной выпадения аэрозолей // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. В.5. Т.1. С. 92-95.
7. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса таяния снежного покрова в районе г. Омска по материалам 2007-2009 г. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. - 2011. - Т. 8, № 2. - С. 34-41.
8. Василевич М.И., Щанов В.М., Василевич Р.С. Применение спутниковых методов исследований при оценке загрязнения снежного покрова вокруг промышленных предприятий в тундровой зоне // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 2. С. 50-60.
9. Крутских Н. В., Кравченко И. Ю. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15, № 2. С. 159-168.
10. Балтер Б. М., Балтер Д. Б., Егоров В. В., Стальная М. В. Использование данных ИСЗ Landsat для определения концентрации загрязнителей в шлейфах от продувки газовых скважин на основании модели источника // *Исследование Земли из космоса*. 2014. № 2. С. 55-66.
11. Израэль Ю.А., Цатуров Ю.С., Назаров И.М. и др. Реконструкция фактической картины радиоактивного загрязнения местности в результате аварий и ядерных испытаний // *Метеорология и гидрология*. - 1994. - № 8. - С. 5-18.
12. Щербатов А.Ф., Рапута В.Ф., Турбинский В.В., Ярославцева Т.В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха пылью по данным снегосъёмки на основе реконструкции полей выпадений // *Анализ риска здоровью*. -2014. - № 2. - С. 42-47.
13. Седунов Ю.С., Борзилов В.А., Клепикова Н.В. и др. Физико-математическое моделирование регионального переноса в атмосфере радиоактивных веществ в результате аварии на Чернобыльской АЭС // *Метеорология и гидрология*. - 1989. - № 9. - С. 5-10.
14. Амикишиева Р.А., Рапута В.Ф., Ярославцева Т.В. Технологии анализа процессов атмосферного загрязнения на базе наземных и спутниковых наблюдений // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. - 2020. - Т. 4, № 1. - С. 36-41.
15. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
16. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Канчан Я.С., Оникул Р.И., Чичерин С.С. О расчёте среднегодовых концентраций примеси в атмосфере от промышленных источников // *Труды ГГО*. - 1979. - Вып.417. - С. 3-18.
17. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 278 с.
18. Riggs G., Hall D., and Salomonson V. A Snow Index for the Landsat Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectrometer // *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '94, Vol. 4: Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis, and Interpretation*. - 1994. - P. 1942-1944.
19. Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V., DiGirolamo N. E., Bayr K. J., Jin J. M. MODIS snow-cover products // *Remote Sensing of Environment*. 2002. V. 83, No. 1. P. 181–194.
20. Климат Новосибирска. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 221 с.