

УДК 551.502.912.4

DOI: 10.33764/2618-981X-2020-4-1-36-41

ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БАЗЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Руслана Александровна Амикишиева

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, младший научный сотрудник, e-mail: ruslana215w@mail.ru

Владимир Федотович Рапута

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, e-mail: raputa@sscc.ru

Татьяна Владимировна Ярославцева

ФБУН Новосибирский НИИ гигиены, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: tani-ta@list.ru

Рассматриваются технологии анализа процессов атмосферного загрязнения с использованием данных наземных измерений и мультиспектральных снимков высокого разрешения. Анализ проводится на базе физико-химических данных проб снега и расчетных значений снежного индекса (NDSI). Выявлены функциональные связи между данными наземных измерений и значениями NDSI, основывающиеся на моделях распространения легкой и монодисперсной примеси в атмосфере. Указанные методы реализованы в ГИС-системе на языке Python. Апробация проводилась над объектами промышленной зоны Искитимского района.

Ключевые слова: ГИС-система, атмосфера, NDSI, снежный покров, поля загрязнения, численное моделирование.

ANALYSIS TECHNOLOGIES OF ATMOSPHERIC POLLUTION PROCESSES BASED ON GROUND AND SATELLITE OBSERVATIONS

Ruslana A. Amikishieva

Siberian Center FGBU «SRC «Planeta», 30, Sovetskay St., Novosibirsk, 630099, Russia, Junior Researcher, 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, e-mail: raputa@sscc.ru

Tatyana V. Yaroslavtseva

FBSI «Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene» of Rospotrebnadzor, 7, Parkhomenko, Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: tani-ta@list.ru

Technologies for analyzing atmospheric pollution processes based ground measurements and high-resolution multispectral images were developed. Physico-chemical characteristics of snow samples and calculated snow index (NDSI) are the original data of the analysis. Functional relationships based on light and monodisperse impurities models of the spread in the atmosphere between ground

observation data and NDSI were found. A GIS system that implements these methods was developed in Python. GIS was tested at objects of the industrial zone of Iskitim district.

Key words: GIS system, atmosphere, NDSI, snow cover, pollution fields, numerical simulation.

Введение

В настоящее время широко применяются численные методы анализа и прогноза загрязнения окружающей среды в связи с неблагоприятной экологической обстановкой наиболее урбанизированных территорий. Особенно актуально использование спутниковых данных, поступление и применение которых оперативно и не слишком затратно в отличие от наземных измерений [1-8]. Данное исследование посвящено разработке технологий анализа процессов загрязнения промышленных и городских территорий по данным наземных и спутниковых наблюдений. Реконструируется поле загрязнения снежного покрова на базе интерполированных значений снежного индекса (NDSI) [9-13]. Для численной характеристики распространения примеси используются модели легкой и монодисперсной примеси от совокупности точечных источников [1-4,15-17]. Выявлены корреляционные связи между концентрациями взвешенных веществ в материале проб и яркостными характеристиками снежного покрова на космоснимке, что позволяет дать оценку атмосферного загрязнения. С использованием описанных методов проведен анализ загрязнения промышленной зоны Искитимского района. Исходными данными служили химический анализ материалов проб снега и зимние снимки со спутников Landsat-8, Sentinel-2 за 2018-2019 гг. Для численной обработки и данных и визуализации карт загрязнения разработана компактная ГИС-система на языке Python [18-20].

Модели и методы исследования

Малопараметрическая модель распространения легкой примеси в атмосфере за длительный период времени от точечного источника имеет вид [16]:

$$C(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_1 r^{-2} \exp\left(\frac{-2r_{max}}{r}\right) P(\varphi + 180^\circ). \quad (1)$$

Характер распространения примеси моно- и полидисперсного состава описываются соотношениями (2) и (3) соответственно [1]:

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

$$C(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_1 r^{\theta_2} \exp\left(\frac{\theta_3}{r}\right) P(\varphi + 180^\circ), \quad (3)$$

где r - расстояние от источника примеси (км), r_{max} - константа (км), определяемая эффективной высотой источника, $\vec{\theta}$ – набор агрегированных параметров, за-

висящих от мощности источника, дисперсного состава примеси и типичных метеоусловий в приземном слое атмосферы. $P(\varphi)$ - повторяемость ветра за определенный период времени.

Индекс детектирования снежного покрова Normalized Difference Snow Index (NDSI) основан на разнице поглощения снегом излучения в видимой и инфракрасной области спектра, разработан специально для использования данных MODIS и Landsat TM [9].

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}, \quad (4)$$

где *Green* - значения пикселей зеленого канала (канал 0,5-0,6 мкм), *SWIR* - значения пикселей коротковолнового инфракрасного канала (1,5-1,8 мкм).

Отбор проб снежного покрова проводился в конце зимнего сезона (февраль-март). Подбор космоснимков осуществлялся за соответствующий временной период со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, обладающих коротковолновым инфракрасным каналом, необходимым для расчета снежного индекса.

Модули разработанной ГИС-системы позволяют обрабатывать мультиспектральные спутниковые снимки, численно восстанавливать геопривязанное поле интерполированных значений снежного индекса по выбранным опорным точкам. Для работы с многоканальными спутниковыми снимками использовались функции библиотеки GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library* — библиотека абстракции гео-пространственных данных) [20]. Значения NDSI восстанавливались кубической интерполяцией на треугольных сетках с использованием функций CubicTriInterpolator, Triangulation программного пакета Matplotlib [18, 20].

Результаты и обсуждения

С помощью описанных моделей и технологий проведен анализ атмосферного загрязнения промышленной зоны Искитимского района, в частности Новосибирского электродного завода (НЭЗ), цементного цеха и г. Искитима.

На спутниковом снимке с КА Landsat 8 (рис. 1) от 25 марта 2019 г. хорошо просматривается поле загрязнения от цементного цеха. Средствами геоинформационной системы была реконструирована карта загрязнения снежного покрова на основе рассчитанных значений NDSI и выбранных 7-10 опорных точек (рис. 2). Расстановка контрольных точек определялась в соответствии с характером рельефа местности и преобладающим направлением ветра за зимний сезон, а именно северо-восточным. На рис. 3 представлены функциональные связи между значениями интерполированного снежного индекса и модельными значениями концентрации. Выбросы от цеха неоднородны по дисперсному составу, поэтому процесс распространения примесей идеально не описывается ни легкой, ни монодисперсной моделью. Тяжелые частицы оседают первыми и не вписываются в картину, определяемую монодисперсной моделью, что видно из рис. 3 (а) – в точках, близких к источнику.

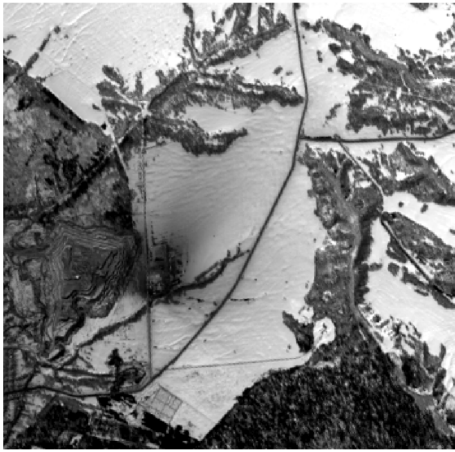


Рис. 1. Спутниковый снимок цементного цеха (западные окрестности г. Искитима) от 25 марта 2019 г., КА Landsat 8

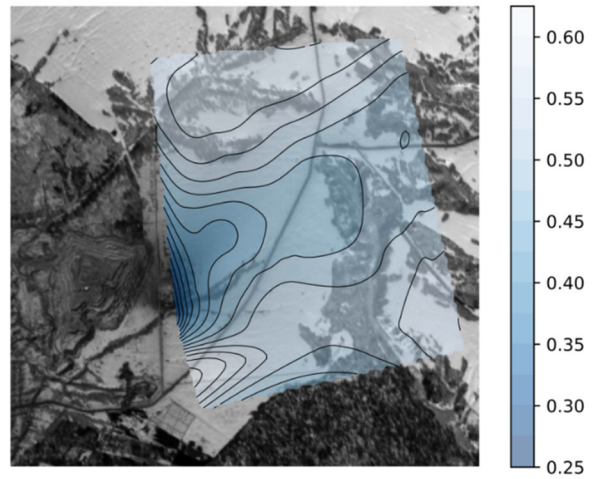


Рис. 2. Карта интерполированных значений NDSI, характеризующее загрязнение снежного покрова от цементного цеха

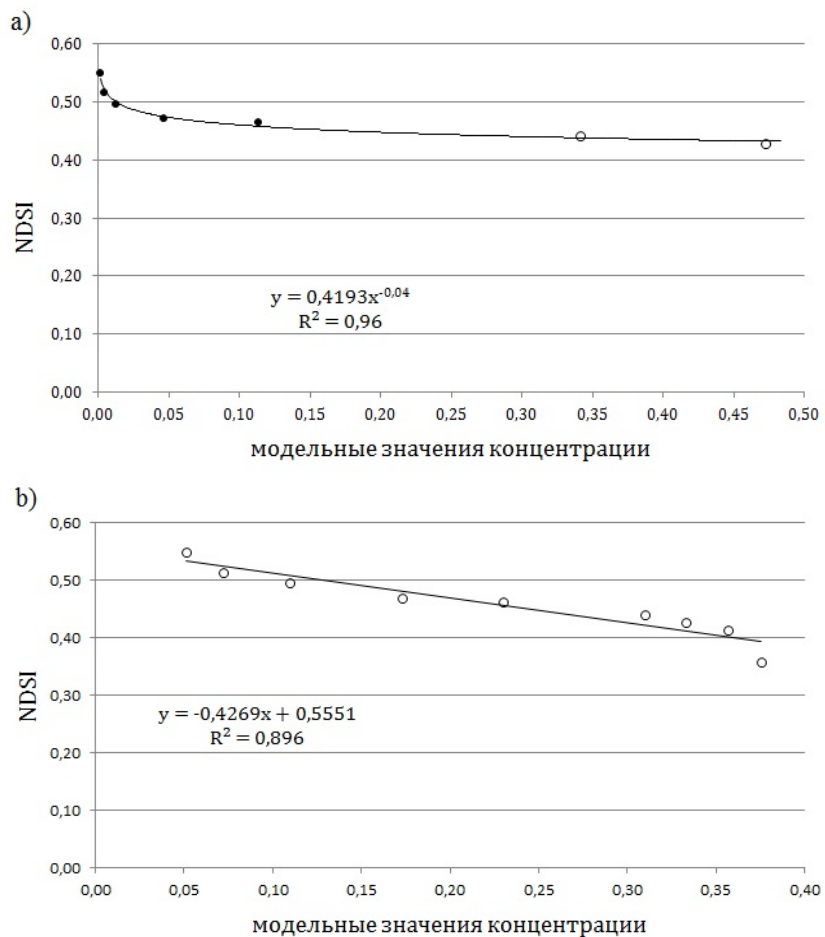


Рис. 3. Функциональные связи расчетных модельных данных и интерполированных значений NDSI:

a) степенная для монодисперсной модели; b) линейная корреляция для модели легкой примеси

Заключение

Разработаны технологии исследования процессов длительного атмосферного загрязнения городских и промышленных зон с использованием наземной и спутниковой информации. Проведен анализ загрязнения окрестностей некоторых промышленных объектов Искитимского района: НЭЗ, ИЦЗ, цементного цеха. Выявлены функциональные связи между данными наземных измерений и значениями NDSI на базе малопараметрических моделей оценивания полей загрязнения. Представленные технологии были программно реализованы в виде геоинформационной системы на языке Python.

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. Рапута В. Ф. Модели реконструкции полей длительных выпадений аэрозольных примесей // Оптика атмосферы и океана. - 2007. - Т. 20, № 6. - С. 506-511.
2. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе // Утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273. – 70 с.
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. 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.
5. 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.
6. Василевич М. И., Елсаков В. В., Щанов В. М. Применение спутниковых методов исследований в мониторинге состояния лесных фитоценозов в зоне выбросов промышленного предприятия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2014. - Т. 11. - № 1. - С. 30-42.
7. Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Лежнин С. А., Полевщикова Ю. А. Оценка загрязнений древостоев отходами силикатного производства по снимку RapidEye // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2013. - Т. 10. - № 2. - С. 88-97.
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. Riggs, G., D. Hall, and V. Salomonson "A Snow Index for the Landsat Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectrometer." Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '94, Volume 4: Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis, and Interpretation (1994), - pp. 1942-1944.
10. Дмитриев А. В., Дмитриев В. В. Прослеживание корреляции динамики NDVI в сравнении с зоной выпадения аэрозолей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2008. - Вып. 5. - Т. 1. - С. 92-95.

11. Дмитриев А. В., Дмитриев В. В. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов 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.
12. Дмитриев А. В., Дмитриев В. В. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов таяния снежного покрова в районе г. Омска по материалам 2008 - 2009 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2010. - Т. 7. № 2. - С. 138-148.
13. Красс М. С., Мерзликин В. Г. Радиационная теплофизика снега и льда. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 260 с.
14. Полищук Ю. М., Хамедов В. А., Русакова В. В. Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2016. - Т. 13. - № 1. - С. 61–69.
15. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982. - 320 с.
16. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1985. - 272 с.
17. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 279 с.
18. Documentation — Matplotlib. Version 3.2.1 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://matplotlib.org/contents.html>
19. GDAL/OGR Python API [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gdal.org/python/>
20. NumPy v1.17 Manual — SciPy.org [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.scipy.org/doc/numpy/index.html>

© П. А. Амикишицева, В. Ф. Рапута, Т. В. Ярославцева, 2020