

МЕТОДЫ ПОЛИПУТНИКОВОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ХАНОЙ (ВЬЕТНАМ)

POLY SATELLITE ANALYSIS METHODS FOR AIR POLLUTION ASSESSMENT IN HANOI (VIETNAM)

*Nguyen Minh Thi
E. Ivantsova*

Summary. The problem of air pollution is one of the main environmental factors affecting Vietnam. In this article, we evaluate the dynamics of air pollution over Hanoi, the capital of Vietnam, based on a dynamic comparison of sets of multi-level satellite data, which allows us to assess the potential of emissions. The methods of calculating the UVAI pollution assessment index, ozone monitoring (OMI), a time series of MERRA-2 reanalysis data on the concentration of black carbon (CHU) for 5 years from 2017 to 2021 were used as a basis, and pollution trends over time were studied. In addition, a comparison of the fire hazard analysis for the studied indicators was carried out. Our results highlight the need for better air pollution monitoring systems to record episodic pollution events and their impact on the surface, such as industrial incineration of garbage in selected areas.

Keywords: satellite images, air pollution, environmental indicators, cartography of the ecology of Hanoi, Vietnam.

Нгуен Минь Тъи

Аспирант

Волгоградский государственный университет

saothang1086@gmail.com

Иванцова Елена Анатольевна

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Волгоградский государственный университет

ivantsova.volgu@mail.ru

Аннотация. Проблема загрязнения воздуха является одной из основных экологических факторов, влияющих на Вьетнам. В данной статье оцениваем динамику загрязнения воздуха над Ханоем, столицей Вьетнама, на основе динамического сравнения наборов разноуровневых спутниковых данных, что позволяет оценить потенциал выбросов. В основу методы расчета индекса оценки загрязнения по показателю ультрафиолета UVAI, мониторинга озона (OMI), временной ряд данных реанализа MERRA-2 о концентрации черного углерода (ЧУ) за 5 лет с 2017 по 2021 год и изучили тенденции загрязнения с течением времени. Кроме того, проведено сравнение анализа пожароопасности для исследуемых показателей. Наши результаты подчеркивают необходимость более совершенных систем мониторинга загрязнения воздуха для регистрации эпизодических случаев загрязнения и их воздействия на поверхность, таких как промышленное сжигание мусора в выбранных районах.

Ключевые слова: спутниковые снимки, загрязнение воздуха, экологические показатели, картография экологии Ханой, Вьетнам.

Введение

Сжигание биомассы, промышленность, транспорт, экономический рост и производство электроэнергии в Юго-Восточной Азии в последнее время увеличиваются, что приводит к проблемам загрязнения и ухудшения качества воздуха по всей Юго-Восточной Азии [1]. Выбросы от сжигания остатков сельскохозяйственного риса, сжигания лесной биомассы, а также от промышленных источников связаны с переносом загрязнения воздуха на большие и средние расстояния в различных регионах мира.

Черный углерод (ЧУ) является ключевым видом загрязняющих веществ, имеющим первостепенное значение для оценки уровня загрязнения воздуха, и он также может влиять на региональный радиационный фон [6]. ЧУ способствует возникновению проблем со здоровьем человека, таких как астма, даже при кратковременном воздействии в результате эпизодических событий, таких как сжигание сельскохозяйственных отходов

[1]. Исследования также показали, что последствия загрязнения воздуха могут сохраняться в масштабе от нескольких дней до месяцев, оказывая влияние на химический состав атмосферы, погоду, биогеохимические циклы.

Важно учитывать, что мониторинг воздействия загрязняющих веществ может быть ограничен неопределенностью и расхождениями между наборами данных о загрязнении воздуха [2]. Среди стран Азии Вьетнам ежегодно выбрасывает примерно 83 Гг ЧУ и занимает пятое место в мире по объему выбросов после некоторых из самых густонаселенных стран, включая Китай, Индию, Индонезию и Пакистан [3]. Большая часть выбросов ЧУ из Вьетнама сосредоточена в столичном регионе Ханой, где проживает более 10 миллионов человек, с зонами сжигания лесной биомассы, влияющими на загрязнение воздуха на северо-западе, и сжиганием рисовой соломы в дельте Красной реки, окружающей Ханой [5]. Однако, неясно какая часть загрязнения воздуха в Ханое связана с различными источниками из со-

седних регионов. Поэтому в этом исследовании важно объяснить, как загрязнение из других источников влияет на уровень загрязнения Ханоя, например, местное сжигание остатков риса в дельте Красной реки, а также городское загрязнение из мегаполисов в Южном Китае и поглощение ЧУ из лесных пожаров в Лаосе и Вьетнаме [3].

В дополнение к ЧУ, ультрафиолетовый индекс (UVAI) может отслеживать последствия горения биомассы [4]. Однако использование только оптических спутниковых данных для UVAI может быть затруднено для точной количественной оценки уровней загрязнения в покрытых облаками регионах, таких как Ханой, Вьетнам, поскольку спутниковые данные могут быть скрыты за облачным покровом, хотя и в меньшей степени, чем другие данные из-за использования УФ-спектра. Также может быть сложно количественно оценить короткие, но интенсивные случаи сжигания биомассы, такие как сжигание рисовой соломы в июне или октябре, поскольку выбросы могут быть сосредоточены всего за несколько недель с ежедневной изменчивостью и низкой высотой столбов дыма. Однако данные повторного анализа, которые ассимилируют наборы данных с различных платформ, обеспечивают в основном согласованный пространственно-временной охват во времени, но со своими ограничениями.

В этом исследовании мы используем временные ряды данных повторного анализа концентрации СУ, а также спутниковые UVAI, активные пожары MODIS и синоптические метеорологические модели для изучения тенденций в воздухе признаков загрязнения в Ханое, Вьетнаме и прилегающих регионах. Мы также оценили надежные 3-часовые наборы данных по ЧУ и провели анализ ЧУ с поправкой на количество осадков на основе метеорологических данных.

В этом исследовании мы рассмотрели следующие вопросы: 1) Как изменяется концентрация ЧУ в Ханое в разных временных масштабах (т.е. ежечасно, ежедневно и ежемесячно)? 2) Каковы основные факторы, влияющие на уровень загрязненности? 3) Как изменяются тренды ЧУ после поправки на атмосферные условия? 4) Насколько хорошо можно связать выбросы от сжигания рисовых остатков из близлежащих районов с уровнями загрязнения воздуха в Ханое?

Ханой, культурный центр и столица Вьетнама, расположен в самой густонаселенной городской зоне страны, Ханойском столичном регионе, значительной части дельты Красной реки. Ханой уникален тем, что он не только очень густонаселенный, с населением более 10 миллионов человек, но и демонстрирует мозаичный ландшафт, покрытый мелкими рисовыми плантация-

ми, другими фермами и плантациями, перемешанными с растущей пригородной территорией в результате продолжающегося преобразования сельскохозяйственных земель. В городе влажный субтропический муссонный климат, на который влияет северо-восточный муссон зимой и юго-восточный муссон летом. В Ханое наибольшее количество осадков выпадает летом (июль-август) и меньше всего зимой (декабрь-январь). В течение многих засушливых месяцев в этом наиболее загрязненном городе во Вьетнаме качество воздуха постоянно ухудшается, особенно из-за мелкодисперсных твердых частиц, связанных с различными источниками, такими как интенсивное автомобильное движение в Ханое, сжигание рисовых остатков в июне и октябре, а также региональный транспорт.

Данные и методы: данные Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), спутниковые снимки QFED, GFED и RETROv2 для оценки концентрации ЧУ, набор данных AeroCom Phase II для оценки антропогенных выбросов, полученные с помощью NASA MODIS, MISR и AERONET.

Мы использовали временные ряды 3-часовых данных о концентрации вредных веществ Merra-2 Reanalysis для изучения тенденций загрязнения как над городом Ханой, так и над окружающей континентальной Юго-Восточной Азией. Также важно учесть перенос загрязняющих веществ и вклад в изменчивость уровней ЧУ из окружающего региона на основе синоптических моделей направления ветра по фактору MODIS. Чтобы лучше понять тип загрязняющих веществ, наблюдаемых в разные месяцы, следует сравнить значения UVAI со значениями ЧУ, чтобы сделать вывод, можно ли отнести источник загрязнения к сжиганию биомассы или к внешним факторам загрязнений. Регрессия с наилучшей подгонкой по уровням осадков проводится для данных ЧУ, что приводит к нелинейной степенной функции, подходящей как,

$$y = a * x^b,$$

где «у» — дневная концентрация ЧУ, «а» — постоянная величина, а «х» — дневное количество осадков.

Уравнение можно линеаризовать, взяв логарифм по основанию 10 от обеих частей уравнения, чтобы получить:

$$\log_{10}(y) = \log_{10}(a) + b \times \log_{10}(x)$$

Затем для каждого дня данных мы минимизируем влияние осадков, чтобы получить концентрацию ЧУ с поправкой на количество осадков с учетом краткосрочных и общих долгосрочных тенденций.

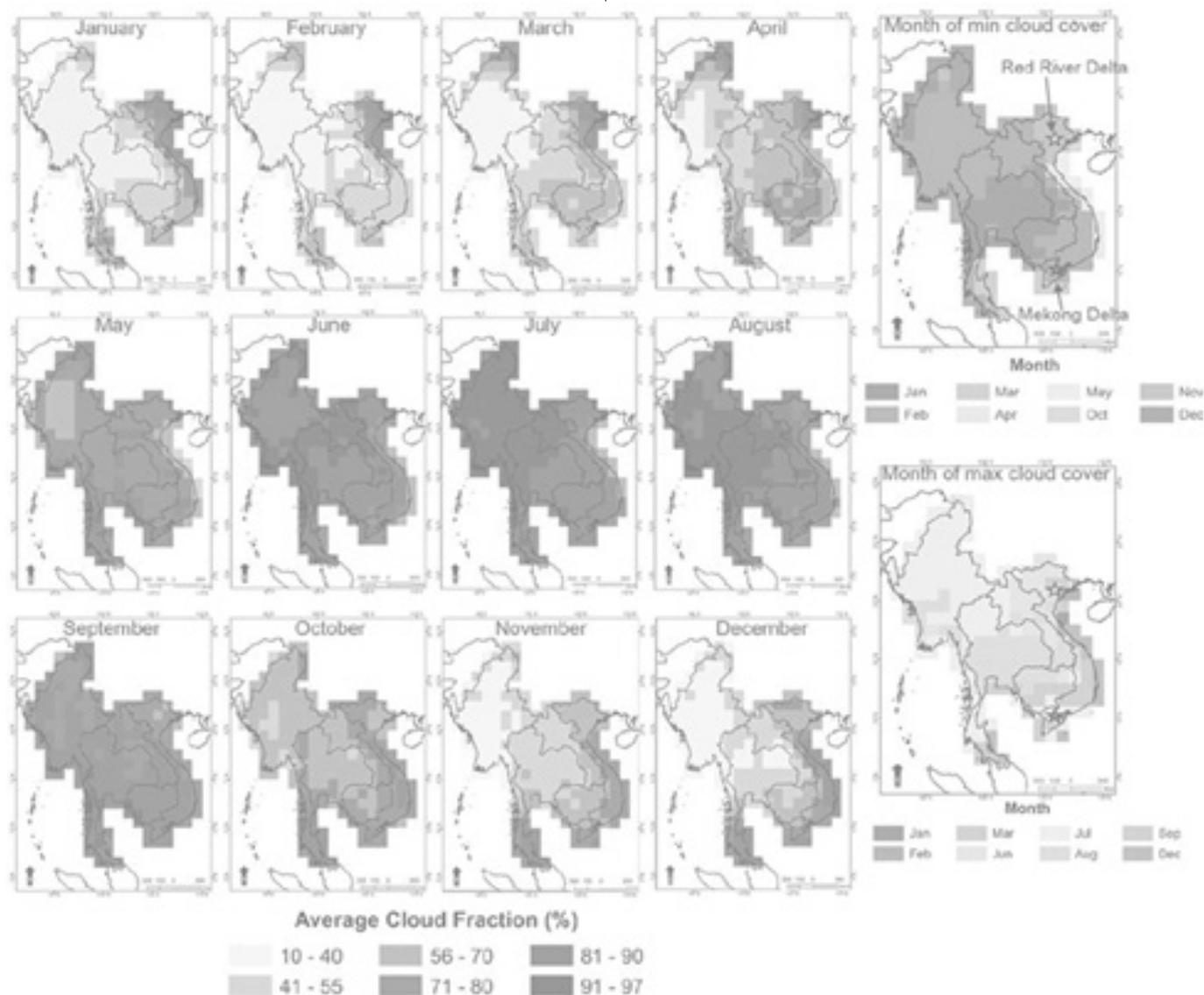


Рис. 1. Среднемесячная облачность, усредненная по месяцам на 1 градусную ячейку сетки

Полученные результаты

Облачность над Ханоем

Анализ доли облачности на уровне стран в континентальной Юго-Восточной Азии показал, что Вьетнам имеет самый высокий среднемесячный облачный покров (72,4%), за ним следуют Камбоджа (69,7%), Лаос (67,7%), Таиланд (67,6%) и Мьянма (59,9%). (рис. 1). Более того, из этих разных стран Вьетнам также имеет самые низкие ежемесячные факторы активных пожаров: 647, что указывает на потенциальное недообнаружение из-за облачного покрова. Мониторинг активных пожаров из-за сжигания остатков риса в дельте Красной реки особенно сложен. В Ханое и дельте Красной реки наблюдается самая высокая облачность во время

сжигания остатков в июне, тогда как в ноябре и декабре облачность меньше. Если сравнивать два рисоводческих региона Вьетнама, то в дельте Красной реки в среднем происходит только 25 активных пожаров в течение июньского времени сжигания риса, тогда как в Меконге — 556.

Ветер и активные пожары

Перенос загрязненного воздуха в Ханой становится очевидным из среднемесячных характеристик направления и скорости ветра, показанных на рис. 2, а также среднемесячных приземных концентраций ЧУ. Общие синоптические метеорологические данные указывают на северные ветры, дующие из Южного Китая в Северный Вьетнам и Ханой в период с октября по март, тогда как в период

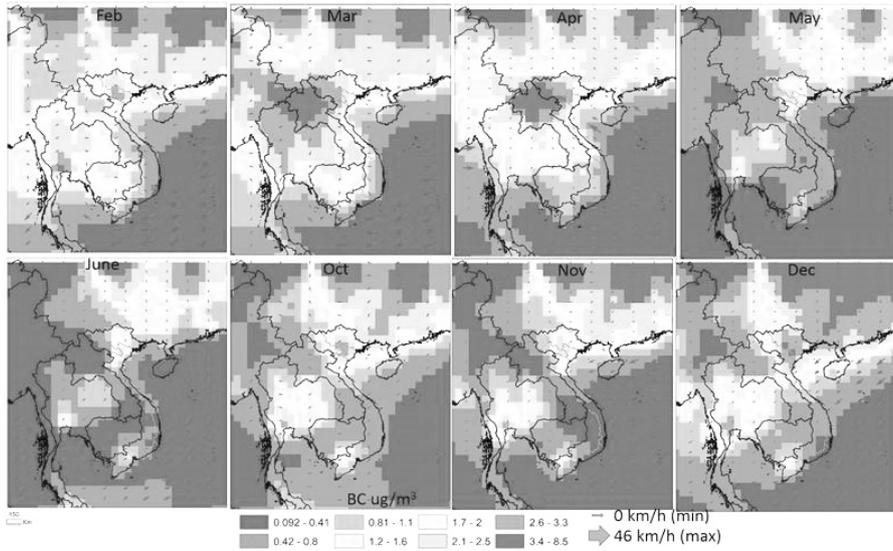


Рис. 2. Среднемесячная концентрация ВС, направление и скорость ветра

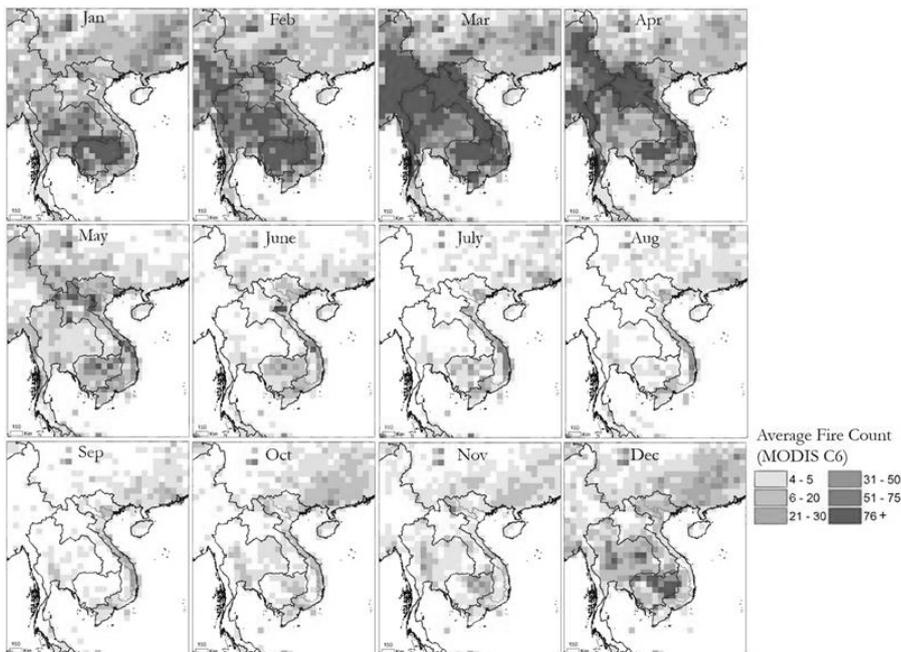


Рис. 3. Средние тренды активных пожаров MODIS в окружающем регионе

с апреля по август дуют более южные или юго-восточные ветры из Лаоса, Южного Вьетнама и Южно-Китайского моря. Уровни ЧУ в регионе Юго-Восточной Азии демонстрируют пик в марте в Таиланде и Мьянме, связанный с пожарами в сельском хозяйстве и мелких фермерских хозяйствах, обнаруженными по MODIS (рис. 3).

Мегаполисы Чэнду и Чунцин с их активным сжиганием биомассы также являются существенным источником выбросов в эти месяцы.

UVAI и количество четких наблюдений

Среднемесячное общее количество безоблачных наблюдений за UVAI (где $UVAI > 0,1$) показано в Северном Вьетнаме на Рис. 4. Над Ханоем наибольшее количество наблюдений приходится на май и декабрь, которые, как правило, являются более засушливыми месяцами, но в среднем по-прежнему приходится всего 5 или 6 четких наблюдений. Чтобы продемонстрировать влияние, хотя бы частично связанное

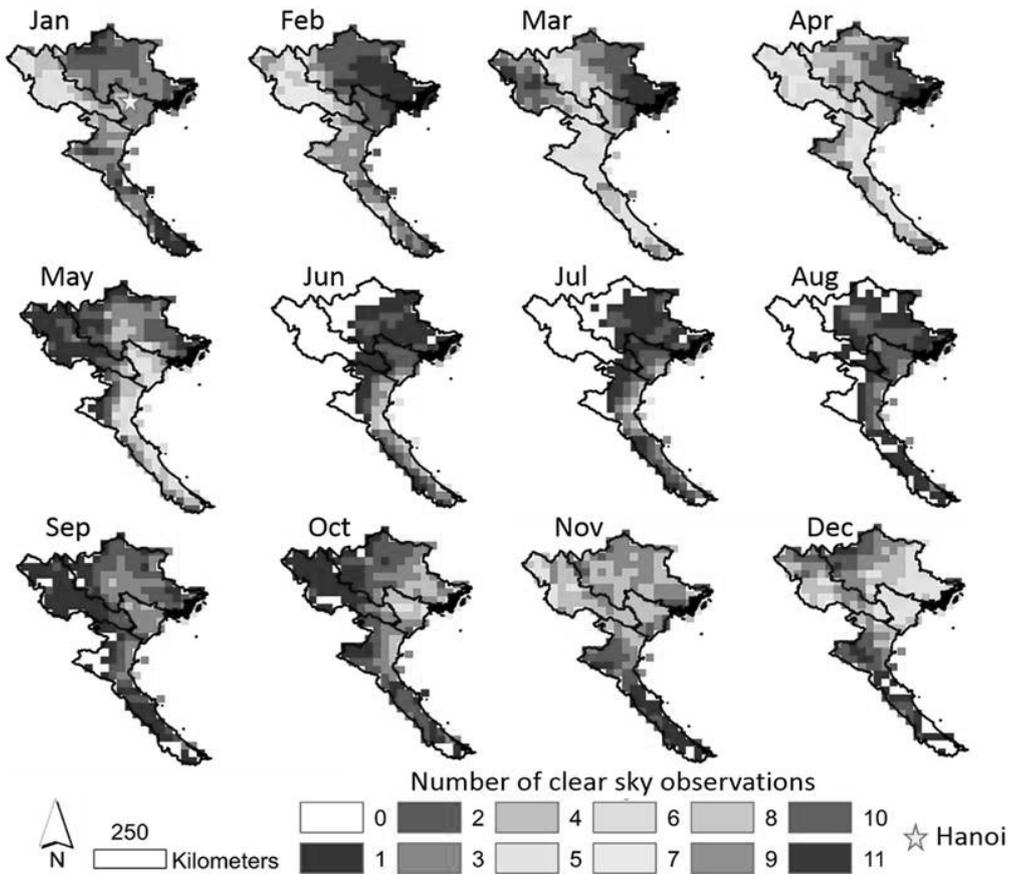


Рис. 4. Среднемесячное количество безоблачных наблюдений UVAI над Северным Вьетнамом

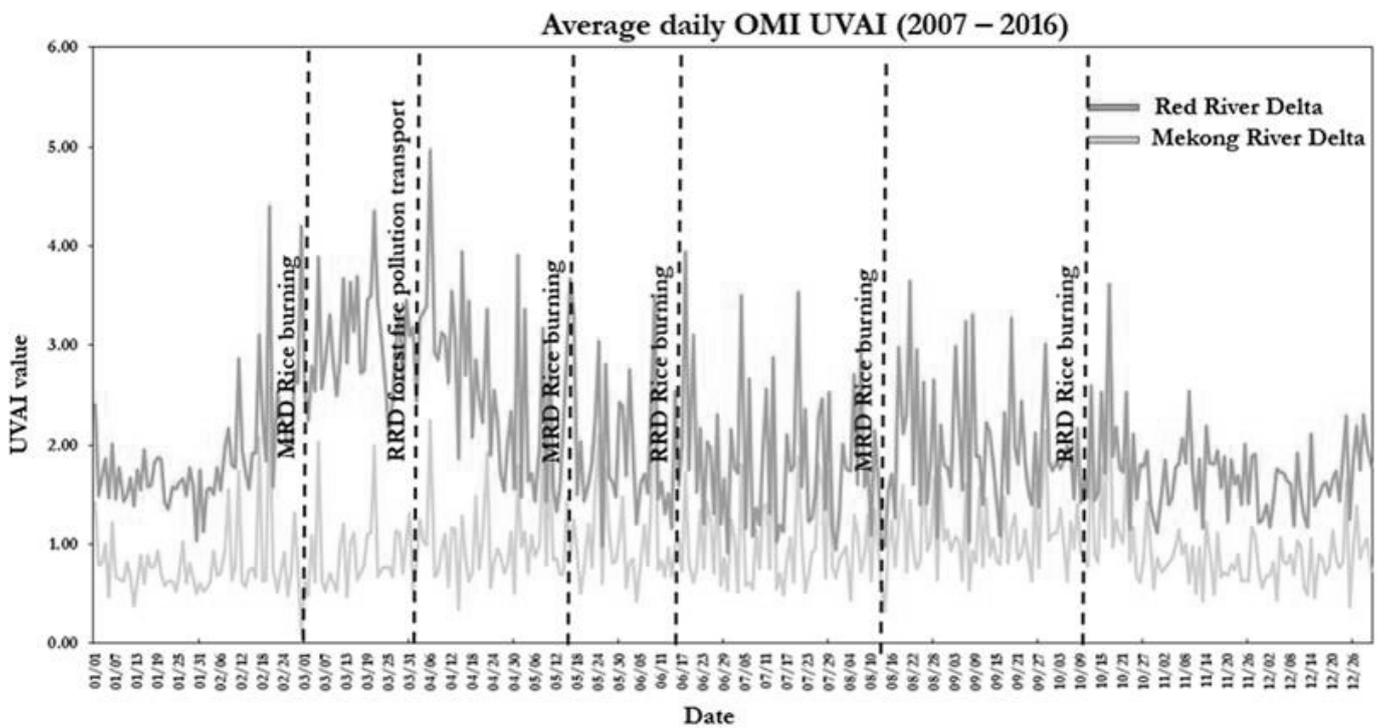


Рис. 5. Среднесуточный UVAI в сравнении между дельтой Красной реки и дельтой реки Меконг

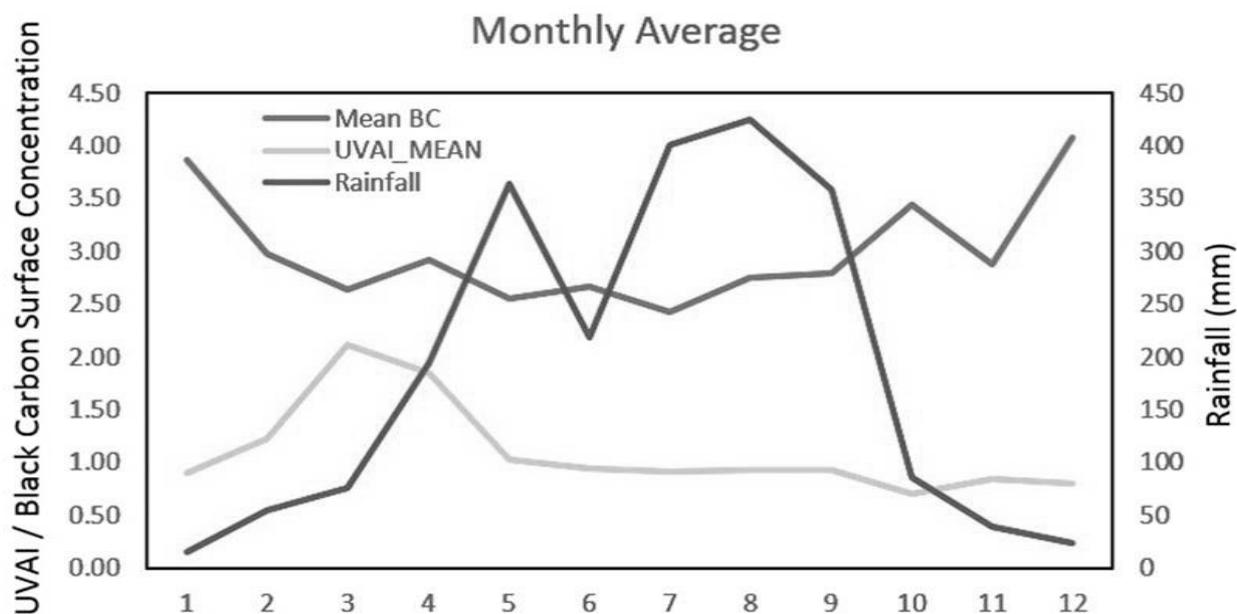


Рис. 6. Среднемесячные значения BC, UVAI и количества осадков над Ханоем, Вьетнам

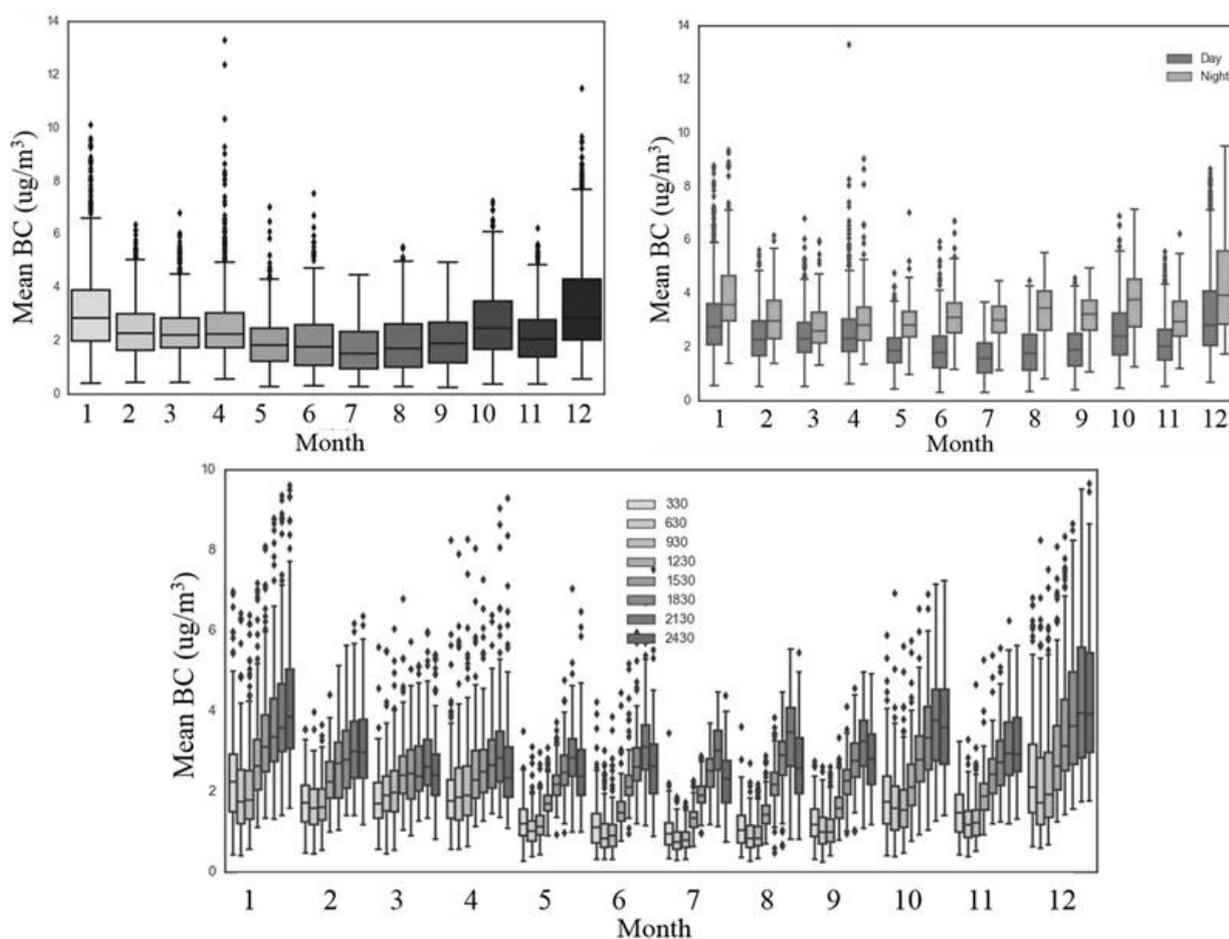


Рис. 7. Распределение 3-часовой приземной концентрации BC а) по месяцам, б) днем и ночью; в) 3-х часовой

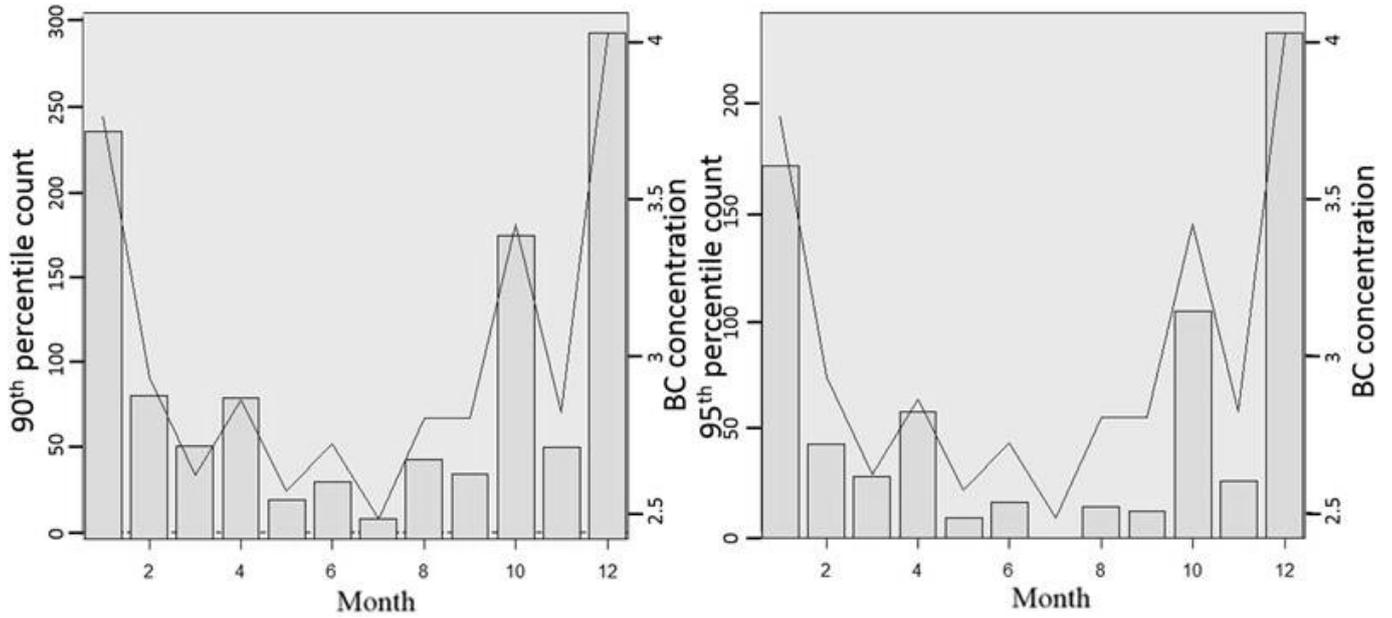


Рис. 8. Количество 3-часовых превышений а) 90-го перцентиля; б) 95-го перцентиля. Черная линия представляет среднемесячный ЧУ

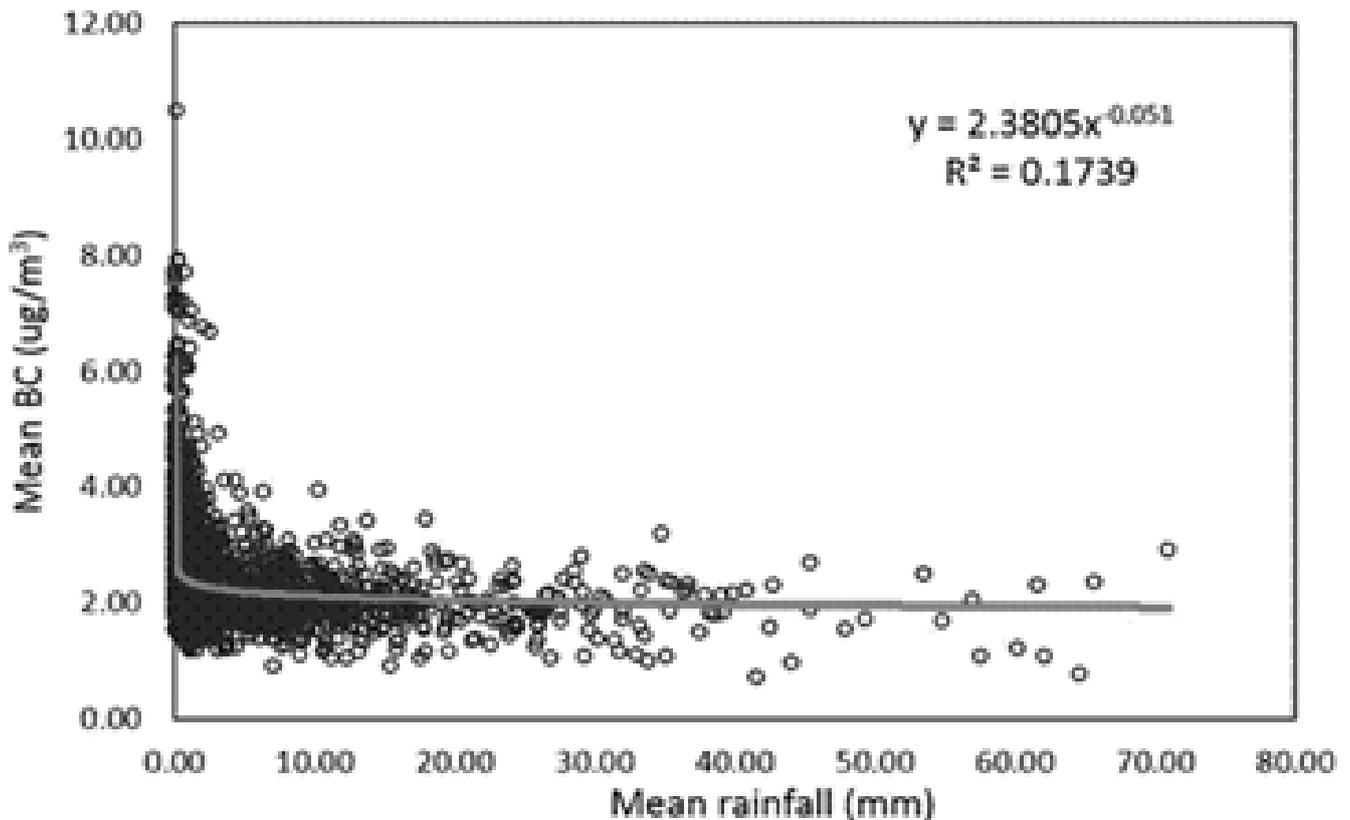


Рис. 9. Временные ряды ВС, осадков и черного углерода с поправкой на погоду над Ханоем, Вьетнам

с отсутствием данных, мы показываем среднесуточные значения UVAI, усредненные для дельты Красной реки, на рис. 5.

MERRA-2 BC схемы и погодокоррекция

Из-за проблем с изучением степени загрязнения воздуха из-за повышенной облачности над Ханоем мы используем данные повторного анализа MERRA-2 о концентрации ЧУ, в котором используется комбинация наборов спутниковых и наземных данных, которые предоставляют данные за каждый день независимо от облачности. Данные о концентрации ЧУ MERRA-2 с 3-часовыми интервалами показали более динамичные тенденции загрязнения, чем те, которые наблюдались только с помощью UVAI. Трехчасовой анализ данных для каждого месяца выявил месяцы с самыми высокими медианными и среднемесячными значениями: декабрь (4,08 мкг/м³), январь (3,87 мкг/м³) и октябрь (3,44 мкг/м³). Тем не менее, следует отметить, что в апреле чаще всего наблюдаются выбросы, указывающие на большое количество эпизодов загрязнения (Рис. 6). Анализ тенденций с использованием 3-часовых наборов данных показал самые низкие значения ЧУ в Ханой около 3:30 или 6:30 из-за меньшего автомобильного движения и промышленных загрязнителей. В течение 5-летнего периода по ежедневному уровню концентрации ЧУ обнаружены лишь незначительное снижение концентрации (рис. 7).

Хотя среднемесячные значения и распределение трехчасовых данных дают некоторое представление, они не отражают временные характеристики событий с экстремальным загрязнением. Чтобы лучше понять случаи экстремального загрязнения в каждом месяце, мы исследовали превышение уровней СУ выше 90^{-го} и 95^{-го} перцентилей (рис. 8).

Мы скорректировали данные временного ряда BC на основе данных об осадках над Ханоем, чтобы получить значения BC с поправкой на погодные условия. Результаты показывают отрицательный тренд нелинейной степенной функции, когда ЧУ уменьшается по мере увеличения количества осадков, при этом около 17% вариаций ЧУ связано с осадками (Рис. 9).

Устранение тренда уменьшило общую месячную вариацию в наборе данных ЧУ с самой низкой концентрацией в августе на уровне 2,3 мкг/м³ и максимальной в январе с 2,76 мкг/м³. Наибольшее стандартное отклонение ежедневных данных по ЧУ приходится на февраль, январь и октябрь, соответственно, в пределах от 0,45 до 0,40 мкг/м³.

Результаты

Предыдущие исследования показали, что даже ограниченное воздействие загрязненного воздуха, такого как ЧУ, может привести к серьезным проблемам со здоровьем и даже к преждевременной смерти в группах риска. Поэтому очень важно решить и правильно количественно оценить проблемы с качеством воздуха над Ханоем, например, в результате сжигания биомассы. Однако также важно количественно определить загрязнение воздуха для большей части Азиатского региона из-за переноса на большие расстояния из различных источников выбросов для корреляции уровня экологической безопасности всего региона.

Вывод

Данное исследование показало, что оценка концентрации ЧУ по данным MERRA-2 может быть использована для регистрации изменений в концентрации загрязнения воздуха, особенно связанных с городскими источниками, включая транспорт из южного Китая, особенно в засушливые месяцы декабря и января. Мы обнаружили, что Ханой страдает от повышенного UVAI в марте и апреле, связанного с переносом из Северо-Западного Вьетнама и Лаоса, но в это время не наблюдается никакого увеличения MERRA-2 BC. Хотя из предыдущих исследований мы знаем, что остатки риса сжигаются в июне и октябре, что приводит к выбросу большого количества PM_{2,5}, оба этих набора данных не выявили повышенного уровня загрязнения воздуха. Возможно, это связано с наборами данных с грубым пространственным разрешением, отсутствием наземных наблюдений, а также облачным покровом, препятствующим спутниковым измерениям. Полученные данные свидетельствуют о том, что для мониторинга выбросов необходимы улучшенные наборы данных и наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vu Van Hieu et al. Health Risk Assessment of Mobility-Related Air Pollution in Ha Noi, Vietnam. *Journal of Environmental Protection* 2013 (2013): 1165–1172.
2. Do Hai Hung, Than Thanh Son, Bui Thi Thu Loan (2020). Study on the Effect of Manufacturing Technology Factor on the Sustainable Development of Industrial SMEs in Ha Noi. 10. 1792–7552.
3. Ly Bich Thuy (2018). Levels of selected indoor air pollutants in three Ha Noi offices. *Vietnam Journal of Science and Technology*. 56. 148–156. 10.15625/2525–2518/56/2C/13042.

4. Nguyen Anh et al. (2020). Application of hysplit model to evaluate the relationship between meteorological parameters and PM10 content in the atmospheric environment in Ha Noi city, Vietnam. *Science & Technology Development Journal — Engineering and Technology*. 3. First. 10.32508/stdjet.v3i2.715.
5. Pham Thi. (2019). Quantification of greenhouse gas emissions from different municipal solid waste treatment methods — case study in Ha Noi, Vietnam. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*. 61. 81–89. 10.31276/VJSTE.61(3).81–89.
6. Dang Tan. (2019). An Analysis of Merging Behavior at an Urban Expressway On-ramp in Ha Noi — Viet Nam.

© Нгуен Минь Тъи (saothang1086@gmail.com), Иванцова Елена Анатольевна (ivantsova.volgu@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Волгоградский государственный университет