

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДИОКСИДОМ СЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ

Р.А. Родригес Залепинос, Аверин Г.В.

Донецкий национальный технический университет, Украина
rodrigues@csm.donntu.edu.ua, averin@donntu.edu.ua

Резюме. Впервые по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получены карты рисков загрязнения атмосферы Украины диоксидом серы (SO_2) с разрешением $27,5 \text{ км} \times 18 \text{ км}$. Показано, что риски восточной и западной частей Украины относятся как 2:1. Впервые по данным ДЗЗ получены зависимости концентрации SO_2 от скорости и направления ветра. Установлено распространение SO_2 от крупных ТЭС на 30–45 км, а также повышенные уровни риска в районах дельты Дуная и Черного моря.

Summary. For the first time, using remote sensing data (RSD), maps for Ukraine of atmospheric pollution risks by sulfur dioxide (SO_2) with resolution $27.5 \text{ km} \times 18 \text{ km}$ are created. It is shown, that risk levels of eastern and western parts of Ukraine are related as 2:1. Also for the first time, using RSD, the dependencies of SO_2 concentrations on wind speed and direction are obtained. It is detected that the spread of SO_2 from large thermal power stations can reach 30–45 km and risk levels at Danube delta and Black Sea are elevated.

Введение. В Украине данные о загрязнении атмосферного воздуха поступают из малочисленной сети экологического мониторинга Украинского гидрометеоцентра, которая охватывает 162 стационарных поста в 53 городах. Получить по этим наблюдениям целостную картину загрязнения атмосферы над территорией всего государства невозможно.

Методы ДЗЗ позволяют определять концентрации веществ в атмосфере с высоким пространственным и временным разрешением. Сегодня эти данные не находят широкого применения для решения практических задач экологического мониторинга из-за высокой сложности доступа к ним, а также трудоемкости их представления и анализа.

В этой статье, на примере изучения загрязнения атмосферы диоксидом серы, продемонстрированы ранее недоступные возможности в области природоохранной деятельности, предоставляемые новым комплексом подсистем экологического мониторинга [1].

Данные. Используются ежедневные данные содержания SO_2 в вертикальном атмосферном столбе приземного слоя атмосферы (спутник Aura) на регулярной широтно-долготной решетке ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$, около $27,5$

км×18 км для Украины) с 01.10.2004 по 20.06.2012. Концентрация определяется в единицах Добсона (еД), $1 \text{ еД} = 2.69 \times 10^{16}$ молекул/см² [2].

Данные скорости и направления ветра взяты на высоте 50 м от поверхности Земли из базы повторного анализа MERRA ($1/2^\circ \times 2/3^\circ$, 55 км × 48 км) с интервалом 1 час [3]. Ежедневные данные получены путем отбора и усреднения значений с 9.00 до 12.00 по местному Украинскому времени.

Впервые для каждой ячейки сформированы временные ряды содержания диоксида серы, скорости и направления ветра [1], доступные напрямую из среды анализа данных R [4, 5].

По данным экологических паспортов регионов Украины за 2010 г. [6] отобраны все предприятия, ТЭС и ТЭЦ, выбрасывающие диоксид серы. По космическим снимкам Google найдены крупные организованные источники выбросов предприятий. Координаты дымовых труб взяты в качестве фактического расположения источников выбросов.

Риски загрязнения атмосферы Украины диоксидом серы. В данном исследовании под риском загрязнения атмосферы понимается вероятность случаев, когда наблюдается определенный уровень загрязнения воздуха диоксидом серы над изучаемой территорией.

Карта рисков высокого разрешения позволяет ответить на ряд актуальных вопросов экологической безопасности. Например, насколько уровень загрязнения атмосферы выше на востоке Украины, чем на западе; какой регион страны имеет самые высокие риски загрязнения; какова степень загрязнения атмосферы Украины в сравнении с другими странами.

Учитывая диапазон изменения значений концентрации SO₂, для каждой ячейки подсчитано количество дней с концентрацией в диапазонах $[0.5 \times i] \dots [0.5 \times i + 0.5]$ еД, $S(i)$, где $i=1 \dots 9$, а также количество дней T , для которых имеются данные наблюдений (концентрация в пределах от -5 до 5 еД). Риск загрязнения для ячейки считается равным $R(i) = S(i) / T$.

Предполагается, что погрешность измерения для взятых ячеек (Украина) имеет одинаковое значение. Экспериментально установлено, что шаг 0.5 еД позволяет учесть все особенности распределения загрязнения. Величина T составляет примерно от 1400 (для юга Украины) до 2200 дней (для западных областей).

В данном исследовании низким уровнем загрязнения считается диапазон значений 0.5..1.5 еД, умеренным 1.5..2.5 еД (рис. 1), высоким 2.5..3.5 еД, очень высоким 3.5..5.0 еД. Шкала с шагом 1.0 еД подобрана экспериментально для обеспечения приемлемого количества интервалов рисков. Шкала начинается от 0.5 еД, чтобы частично устранить погрешности измерений.

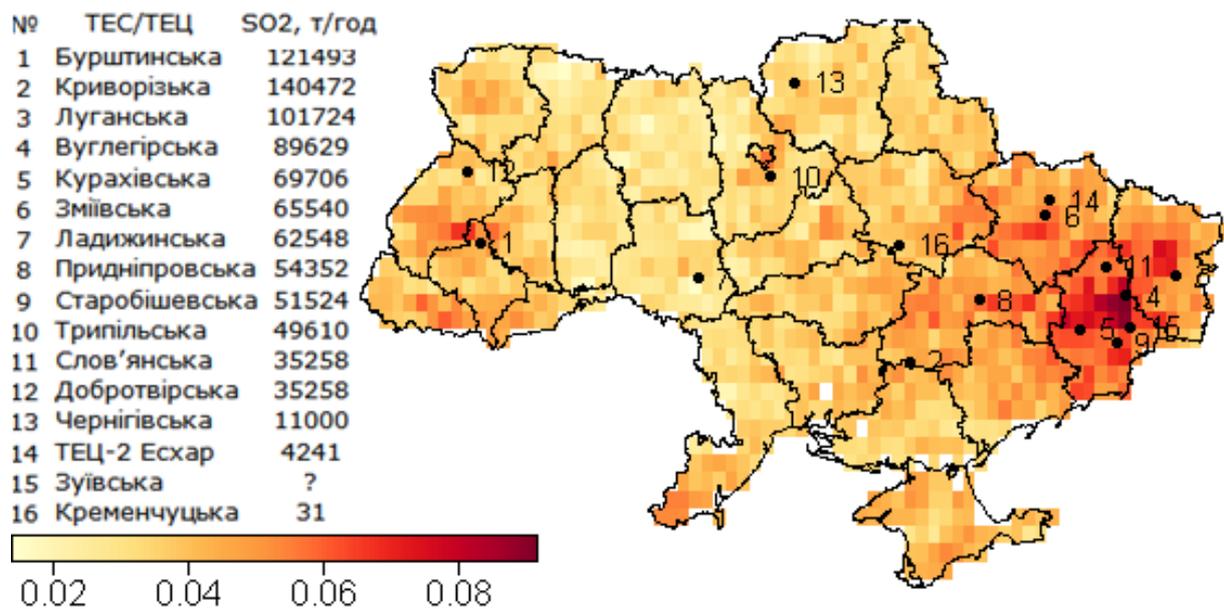


Рис. 1. Карта рисков умеренного уровня загрязнения атмосферы Украины диоксидом серы с разрешением 27,5 км × 18 км

Рядом указан объем выброса SO₂ согласно экологическому паспорту. Карты рисков с промышленными предприятиями и ТЭС (формат KML) находятся в свободном доступе: <http://wikience.donntu.edu.ua/rodrigues>.

Из приведенных на рисунке 1 данных, видны явные отличия по уровню рисков для восточной и западной частей Украины. Довольно контрастно выглядят Донецкая (50% площади имеет риск 8% и выше) и Луганская (6-8% треть площади) области в сравнении с западными регионами страны, где уровень риска в основном ниже 3%. Центральная часть Украины не выделяется на карте в отдельную зону с какой-либо своей характерной особенностью уровня загрязнения атмосферы.

Район Луганской области с наибольшим риском ($\approx 7\%$) ориентировочно находится под влиянием Луганской ТЭС. Заметно выделяются зоны влияния Угледорской, Приднепровской, Старобешевской и Славянской ТЭС. Выделяется также район на границе Тернопольской, Ивано-Франковской и Львовской областей, который, видимо, находится под воздействием Бурштынской ТЭС. Меньший, но заметный уровень риска соответствует территории города Киева. Возможен трансграничный перенос в Луганской, Харьковской, Закарпатской и Одесской областях.

Загрязнение территории Дельты Дуная и Черного моря. Гипотетически, вклад в заметные уровни рисков (рис. 1, 3) на юге Одесской области, побережье Крыма и над Черным морем ($\approx 4\%$), в отсутствие техногенных факторов, может вносить природный фактор – наличие сероводорода (H₂S) в зонах дельты Дуная [7] и Черного моря [8]. Радиометр OMI не чувствителен к H₂S, а вода не влияет на точность обнаружения SO₂. Известно, что одним из продуктов окисления выделяемого сероводорода может быть SO₂ ($2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$).

Классификация территории Украины. Ранжирование территории страны ведется в шкале классификации, которая имеет 7 градаций. Территория выделяется в отдельный класс в случае, если наблюдается: высокая либо низкая концентрация диоксида серы над размещенным на ней техногенным объектом, который выбрасывает SO_2 (2 класса); высокая концентрация загрязняющего вещества над объектом, который не выбрасывает SO_2 согласно экологическому паспорту (1 класс); существенный уровень концентрации диоксида серы над территориями и городами, в окрестности которых нет техногенных источников загрязнения (2 класса); повышенная концентрация загрязняющего вещества над территориями на границе государства (1 класс). Выделяются также территории, куда вредные вещества предположительно переносятся ветром от удаленных источников загрязнения (1 класс).

Ожидается, что предложенная классификация поможет специалистам в области природоохранной деятельности скоординировать дальнейшее исследование территории Украины и объяснить причины загрязнения атмосферного воздуха над территориями, где нет промышленной деятельности или других явных факторов загрязнения.

Перенос загрязнения ветром на прилегающие территории. Наличие временных рядов метеорологических параметров позволяет установить зависимости концентрации загрязняющего вещества в ячейке от скорости и направления ветра. Это дает возможность оценить степень загрязнения атмосферы вблизи техногенных объектов, установить наиболее подверженные загрязнению территории, а также дальность распространения вредного вещества.

В процессе исследований было установлено, что максимальный риск наблюдается практически всегда не в ячейке, которая соответствует крупному источнику выбросов, а на некотором расстоянии от нее.

Поскольку концентрация вещества определяется для всей ячейки, можно предположить, что чувствительность радиометра ОМІ не позволяет обнаружить узкую полосу дымового шлейфа вблизи источника. На некотором расстоянии от дымовой трубы за счет диффузии облако загрязнения становится достаточно широким и содержание вещества в атмосфере уже может определяться радиометром. Если это так, то можно судить о дальности переноса SO_2 от источника выброса и зоне его влияния.

На полярной диаграмме, на основе наблюдений за весь доступный период времени, для каждой скорости и направления ветра из узла (48^{2/3}, 24) решетки MERRA показана средняя концентрация SO_2 в ячейке (49.25, 24.25), которая расположена на северо-западе от Бурштынской ТЭС (рис. 2а). Аналогичные данные представлены для узла решетки MERRA (49, 38) и ячейки (49, 38), которая расположена на северо-востоке от Славянской ТЭС (рис. 2б). Указаны левые нижние углы ячеек SO_2 .

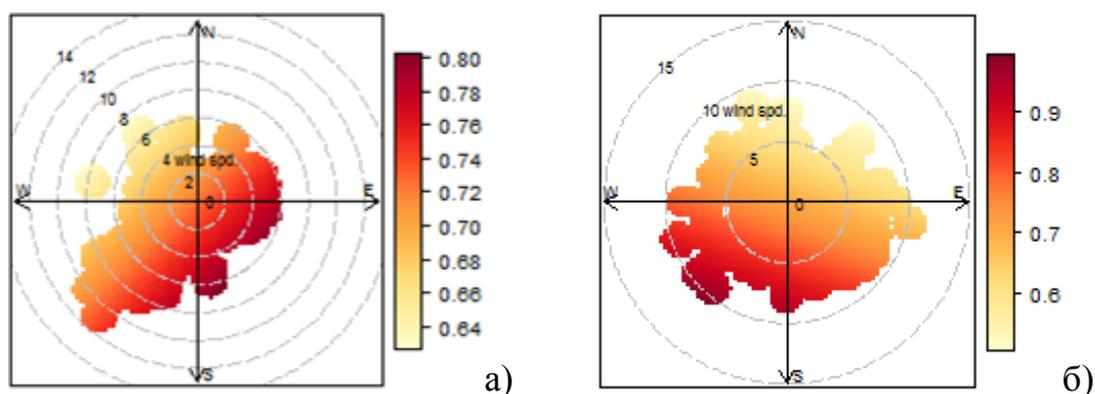


Рис. 2. Влияние (а) Бурштынской и (б) Славянской ТЭС на уровень загрязнения воздуха SO_2 в зависимости от скорости и направления ветра

Центру диаграммы соответствует нулевая скорость ветра, которая возрастает радиально. Как видно из рисунка 2,а, максимальные концентрации SO_2 наблюдаются при юго-восточном ветре со скоростью 2-4 м/с, а минимальные при северо-западном ветре. На юго-востоке, на расстоянии 30 км от центра ячейки (49.25, 24.25) находятся источники выбросов Бурштынской ТЭС. Для Луганской ТЭС расстояние, где наблюдается влияние станции, может достигать 45 км.

Авторами также замечены случаи, когда заметные концентрации SO_2 наблюдаются также при направлении ветра не со стороны источника выброса, например при юго-западном ветре (рис. 2а). Вероятно, это объясняется дрейфом облака SO_2 по ячейке. Когда ветер направлен в сторону ячейки, облако SO_2 накапливается и рассеивается по ячейке. При изменении ветром направления, оно не исчезает мгновенно. Иногда это приводит к повышению концентрации, фиксируемой радиометром, поскольку ветер может перераспределить облако над территорией ячейки. Часть облака могла выйти за пределы ячейки, а затем возвратиться назад при изменении ветра, сохраняя высокие показатели загрязнения.

Сравнение Украины с соседними странами по риску загрязнения атмосферы SO_2 . Визуально видны очень высокие уровни риски загрязнения воздуха на юго-западе Румынии, которые превышают максимальный риск в пределах территории Украины в 2 раза (рис. 3). Т.о, путем использования данных ДЗЗ, предложенные методы анализа позволяют проводить оценки трансграничного переноса загрязнителей.

Дальнейшие исследования перспективно направить на уточнение характера загрязнения диоксидом серы территории дельты Дуная, Днепра и Черного моря. Интерес также вызывают многие территории и зоны с заметными уровнями рисков, где поблизости отсутствуют промышленные предприятия. Анализ уровня загрязнения Украины и стран Европы позволит провести сравнительную оценку уровней загрязнения территорий близлежащих государств. Наконец, возможна разработка упрощенных численных моделей переноса загрязнителей в атмосфере с использованием

диоксида серы в качестве индикатора диффузионных процессов. В заключение отметим, что созданные в ДонНТУ информационные ресурсы и базы данных несут исключительно обширную информацию об экологической обстановке на территории Европы.

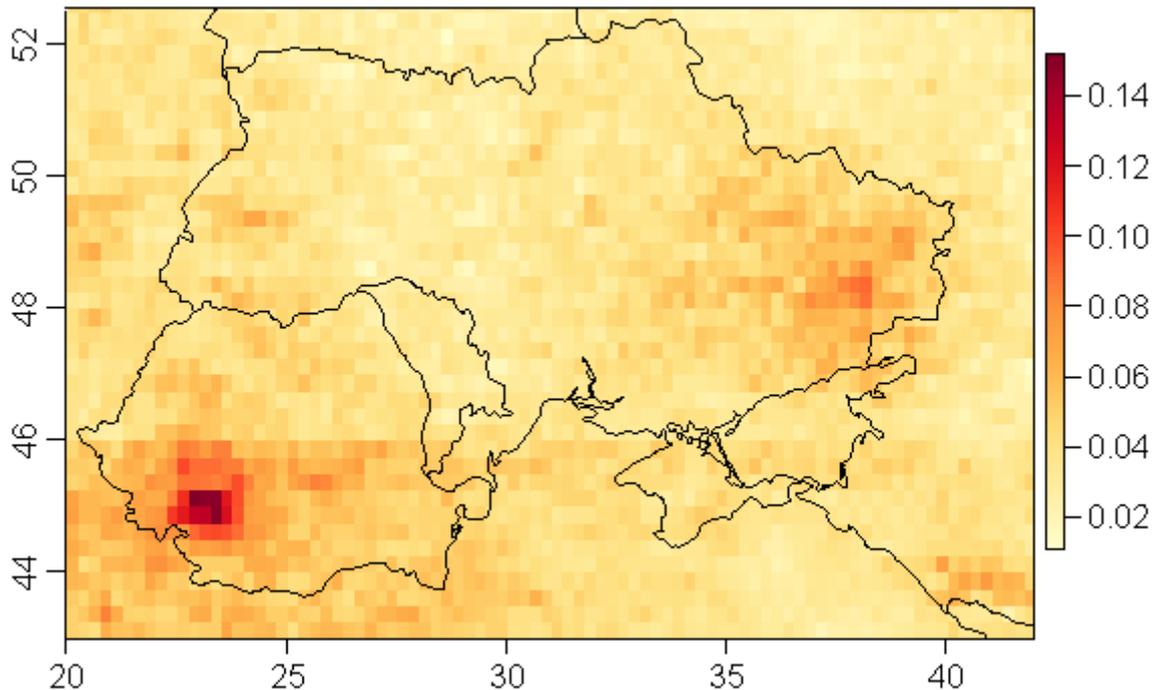


Рис. 3. Риск умеренного уровня загрязнения атмосферы SO_2

Список литературы

- [1] Rodrigues Zalipynis, R.A. Representing Earth remote sensing data as time series / R.A. Rodrigues Zalipynis // Donetsk National Technical University. Series: System analysis and information technology in environmental and social sciences, №2, 2012 (accepted).
- [2] Aura OMI Sulphur Dioxide [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI/omso2e_v003.shtml
- [3] MERRA: Modern Era Retrospective-Analysis [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>
- [4] R: A language and environment for statistical computing [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.R-project.org/>
- [5] Carslaw, D.C. openair – an R package for air quality data analysis / D.C. Carslaw, K. Ropkins // Environmental Modeling, № 27, 2012. – P. 52 – 61.
- [6] Екологічні паспорти регіонів [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.menr.gov.ua/content/category/65>
- [7] Wijsman, J.W.M. A model for early diagenetic processes in sediments of the continental shelf of the Black Sea / J.W.M Wijsman, P.M.J. Herman, J. J. Middelburg, K. Soetaert // Estuarine Coastal, № 54, 2002. – P. 403–421.
- [8] Взрыв сероводорода Чёрного моря [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ufodos.org.ua/publ/7-1-0-136>

Родригес Залепинос, Р.А. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы над территорией Украины [Текст] / Р.А. Родригес Залепинос, Г.В. Аверин // труды Второго международного научно-практического семинара «Повховские научные чтения». – [под общ. ред. А.Б. Ступина]. – Донецк: ДонНУ, 20 декабря 2012 г. –335 с. – С. 131 – 137.

Rodrigues Zalipynis R.A., Averin G.V., Ecologic assessment of air pollution over the territory of Ukraine by sulphur dioxide, The Second International Scientific-Practical Workshop “Povh Scientific Readings”, Donetsk National University, 20 December 2012. – P. 131 – 137.