Геополитика и экогеодинамика регионов.
Том 6 (16). Вып. 1. 2020 г. С. 173–179.

УДК 551.515

Н. И. Керимов

Методика расчета пылевого потока природного происхождения, эмитируемого в атмосферу

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку.
Азербайджанская Республика
e-mail: asadzade@rambler.ru

Аннотация. *Статья посвящена усовершенствованию методики расчета пылевого потока природного происхождения, эмитируемого в атмосферу. Анализ известной методики подсчета потока пылевых частиц направленного в атмосферу показал, что в данной методике совершенно не учитывается совместное влияния изменения суммарного (природного и антропогенного) аэрозоля на точность проводимых измерений $NDVI$ на исследуемой территории. Учет известной корреляционной связи между аэрозольной загрязненностью атмосферы и измеренной величиной $NDVI$ позволил оценить влияния аэрозоля на точность получаемой оценки исследуемого потока. Определен порядок компенсации влияния изменения AOD а течение всего цикла измерений путем адаптивного изменения показателя пороговой величины $NDVI$.*

Ключевые слова*: пылевой поток, атмосфера, оптическая толщина, аэрозоль, корреляция, нормализованный разностный вегетационный индекс.*

Введение

Как отмечается в работе [1], аэрозольные частицы диаметром менее 2,5 мкм являются пятыми по счету фактором риска преждевременной смерти человека. Указанная фракция атмосферного аэрозоля в основном состоит из углерода, неорганических ионов и минеральной пыли. Минеральная пыли, в свою очередь содержат три широкие категории [2]:

1. Минеральная пыль привносимая ветром из аридных пустынных регионов.
2. Привносимая ветром пыли антропогенного происхождения, порождаемая воздействием человека на почву из-за изменения практики землепользования, а также в результате уничтожения лесов.
3. Аэрозоли, сформированные как побочный продукт антропогенной и индустриальной деятельности, результат сгорания и масштабных пожаров.

Согласно[3], подъем пыли в атмосферу происходит в основном из-за возникновения песочных струй, а также ударного воздействия на почву. В соответствии с моделью GOCART (Радиационная и Транспортная модель химии аэрозоля Годдардского центра космических полетов) вертикальный поток аэрозольных частиц пропорционален горизонтальному потоку ветра [4]. Поток аэрозольных частиц E_p природного происхождения в атмосферу согласно этой модели определяется как

$$E_p = C \cdot S \cdot S_p \cdot U_{10}^2 \cdot (V_{10} - V_t); \quad \text{если} \quad U_{10} > V_t \qquad (1)$$

где: C – коэффициент размерности (1мкг с^{2}м$^{-5}$);

S – функция источника пыли, или показатель подъема пыли, принимающая значения в диапазоне (0÷1);

S_p – показатель доли фракции пыли размером p в почве;

V_{10} – скорость ветра на высоте 10 м (м/сек);

V_t – пороговая скорость образования эрозии из-за ветра, являющаяся функцией плотности пыли, диаметра частиц, влажности поверхности Земли.

Согласно [3], функция S определяется как произведение показателя незаросшести почвы (B) и показателя топографической депрессии (H). Указанные показатели определяются следующим образом:

$$H = \left(\frac{Z_{max} - Z_i}{Z_{max} - Z_{min}}\right)^5 \qquad (2)$$

где: H – вероятность того, что в исследуемой ячейке i местности существуют накопленные осадки высотой Z_i ;

Z_{max}, Z_{min} – максимальные и минимальные уровни высоты аккумулированных осадков в топографической структуре местности $10^0 \times 10^0$.

Существующая методика вычисления показателя *B*

В каждой ячейке $1^0 \times 1^0$ рассматриваемой сетки участка показатель B определялся по формуле

$$B = \frac{N_{<0.15}}{N_{total}} \qquad (3)$$

где: $N_{<0.15}$ количество пикселей в ячейке, где: значение индекса NDVI не превышаем величину 0.15;

N_{total} – общее количество пикселей в ячейке.

При этом индекс NDVI определяется как [5]

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

где: NIR – величина отражательного сигнала в близкой инфракрасной зоне;

RED – величина отражательного сигнала в «красной» зоне.

В таблице 1 приведены длины волны, используемые для вычисления NDVI в разных спектрорадиометрах.

Таблица 1.

Область измерений	MODIS	TM/ETM	OLI
NIR	841-876 (нм)	760-900 (нм)	0.85 мнм
RED	620-670 (нм)	630-690 (нм)	0.66 мнм

Предлагаемая методика

Очевидно, что выбросы аэрозоля а атмосферу приводит к изменению измеренных значений NIR и RED, а следовательно и $NDVI$ в течение всего цикла измерений. Выясним, как повлияет аэрозольные выбросы в атмосферу на величину B. Выражение (3) в случае равно вероятных значений $NDVI$ по всем пикселям можно записать следующим образом:

$$B = \frac{P_1}{P_1 + P_2} \tag{4}$$

где: P_1 *– вероятность того, что значения* $NDVI$ *в пикселе меньше, чем 0.15.*
P_2 *– вероятность того, что значения* $NDVI$ *в пикселе равно или больше 0.15.*

Очевидно, что

$$P_1 + P_2 = 1 \tag{5}$$

Следовательно, с учетом (4) и (5) получаем

$$B = P_1 \tag{6}$$

Далее, в первом приближении примем равновероятный закон распределения $NDVI$ (рис.1).

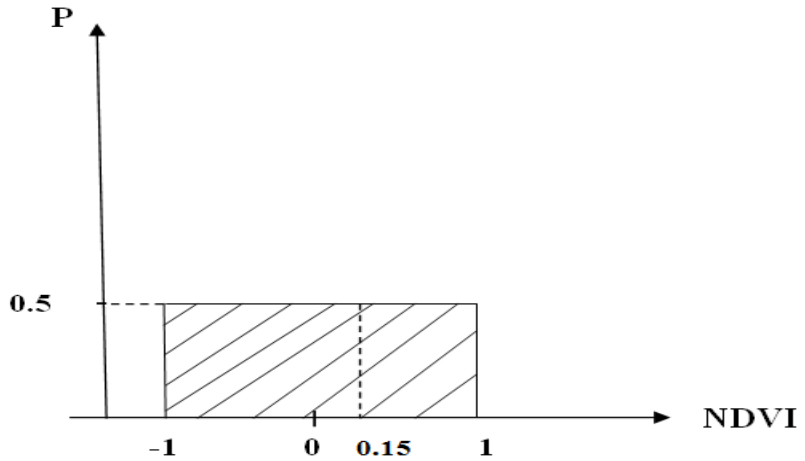

Рис.1. Графическое отображение равновероятного распределения $NDVI$

Вычислим P_1 для случая равновероятного распределения $NDVI$. Имеем:

$$P_1 = 0.5|-1| + 0.15 \cdot 0.5 = 0.5 + 0.075 = 0.575$$

В общем случае имеем

$$B = P_1 = 0.5|NDVI_{min}| + NDVI_{\text{пор}} \cdot 0.5 \tag{7}$$

где: $NDVI_{\text{пор}} = 0.15$

Хорошо известно, что между значениями $NDVI$ и оптической плотности аэрозоля (AOD) имеется корреляционная связь. Так, согласно [6], между $NDVI$ и AOD имеется следующая регрессионная зависимость

$$AOD = -a_1 \cdot NDVI + a_2 \tag{8}$$

где: a_1, $a_2 = const$

Согласно [7], среднее значение коэффициента корреляции между AOD и $NDVI$ равно (-0.5).

Очевидно, что всякое изменение AOD в течение проводимого цикла измерений приводит к изменению значения $NDVI$, что дает основание предположить, что между погрешностями определения $NDVI$ и AOD также имеется линейная регрессионная зависимость, т.е.

$$\Delta AOD = -a_1 \cdot \Delta NDVI \tag{9}$$

где: ΔAOD *и* $\Delta NDVI$ *являются соответственно, приращениями* $NDVI$ *и* AOD.

Из выражения (7) получим следующую оценку изменения ΔB в течение всего цикла изменения:

$$\Delta B = \Delta P_1 = 0.5|NDVI_{min} + \Delta NDVI_{min}| + \left(NDVI_{\text{пор}} + \Delta NDVI_{\text{пор}}\right) \cdot 0.5 \tag{10}$$

С учетом равенства

$$\Delta NDVI_{min} = \Delta NDVI_{\text{пор}} = \Delta NDVI,$$

а также выражения (9) приращение ΔB определим следующим образом:

$$\Delta B = \Delta P_1 = 0.5\left|NDVI_{min} - \frac{\Delta AOD}{a_1}\right| + \left(NDVI_{\text{пор}} - \frac{\Delta AOD}{a_1}\right) \cdot 0.5 \tag{11}$$

С учетом $NDVI_{min} = -1$; $a_1 = 0.5$ из (11) получим

$$\Delta B = 0.5 - \Delta AOD + \left(NDVI_{\text{пор}} - \frac{\Delta AOD}{0.5}\right) \cdot 0.5 \tag{12}$$

Из (12) окончательно имеем:

$$\Delta B = 0.5\left(1 + NDVI_{\text{пор}}\right) - 2\Delta AOD$$

Таким образом, между приращениями ΔB и ΔAOD имеется связи в виде (12).

Для исследования влияния ΔAOD на величину E_p прологарифмируем выражение (1) и заменим дифференциалы на приращения, т.е.

$$\frac{\Delta E_p}{E_p} = \frac{\Delta \mathrm{C}}{\mathrm{C}} + \frac{\Delta S_p}{S} + \frac{2 \cdot \Delta U_{10}}{U_{10}} + \frac{\Delta(V_{10} + V_t)}{V_{10} + V_t} \tag{13}$$

условно приняв

$$\Delta C = \Delta S_p = \Delta U_{10} = \Delta(V_{10} + V_t) = \Delta H = 0 \quad (14)$$

из (12) и (13) получим

$$\frac{\Delta E_p}{E_p} = \frac{0.5(1+NDVI_{\text{пор}})-2\Delta AOD}{S} \quad (15)$$

С учетом условия (14) из (15) получим следующее выражения для выполнения условия $\frac{\Delta E_p}{E_p} = 0$

$$0.5(1 + NDVI_{\text{пор}}) = 2\Delta AOD \quad (16)$$

Из (16) получаем:

$$NDVI_{\text{пор}} = \frac{2\Delta AOD}{0.5} - 1 \quad (17)$$

График функции (17) показан на рис. 2.

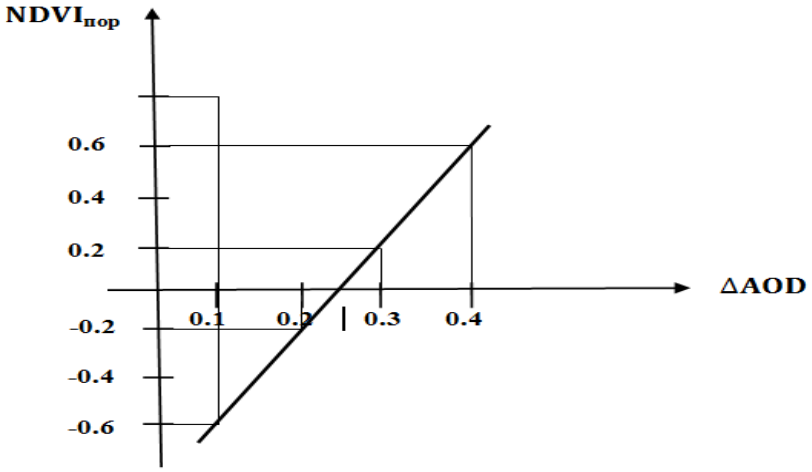

Рис.2. График функции (17)

Как видно из графика, приведенного рис. 2 при $\Delta AOD = 0.25$ $NDVI_{\text{пор}}$ меняет свой знак и становится положительной величиной. Таким образом, просматривается возможность корректировки известной методики вычисления вертикально направленного потока пылевых частиц природного происхождения.

Обсуждения и выводы

Вышеизложенная существующая методика декларируя в качестве своей цели подсчет вертикально направленного потока аэрозольных частиц природного происхождения совершенно не учитывает наличие сильной корреляционной связи между $NDVI$ и суммарной оптической толщиной аэрозольных частиц как природного, так и антропогенного происхождения. Наличие такого суммарного аэрозольного воздействия приводит с смещению пороговой величины $NDVI_{\text{пор}}$ в

строну малых величин т. к. рост аэрозольного загрязнения приводит к снижению измеренных значений $NDVI$ в течение цикла проводимых измерений. Для устранения погрешности подсчета потока природных пылевых частиц в сторону атмосферы предлагается осуществлять адаптивное изменения показателя $NDVI_{\text{пор}}$, где по увеличению ΔAOD значение $NDVI_{\text{пор}}$ должно быть повышено.

В заключение сформулирует основные выводы проведенного исследования:

1. Анализ известной методики подсчета потока пылевых частиц направленного в атмосферу показал, что в данной методике совершенно не учитывается совместное влияния изменения суммарного (природного и антропогенного) аэрозоля на точность проводимых измерений $NDVI$ на исследуемой территории.
2. Учет известной корреляционной связи между аэрозольной загрязненностью атмосферы и измеренной величиной $NDVI$ позволил оценить влияния аэрозоля на точность получаемой оценки исследуемого потока.
3. Определен порядок компенсации влияния изменения AOD а течение всего цикла измерений путем адаптивного изменения показателя пороговой величины $NDVI$.

Литература

1. Forouzanfar M (2016). Global regional and national comparative risk assessment 0f 79 behavioral, environmental and occupational and metabolic risks or clusters of risk, 1990-21015: a systematic analysis for the global burden of disease study 2015. Lancet. Vol. 388. Pp. 1659-724.
2. Sajeev Philip, Randall V. Martin, Graydon Snider, Crystal L. Weagle, Aaron van Donkelaar, Michael Brauer, Daven K. Henze, Zbigniew Klimont, Chandra Venkataraman, Sarath K. Guttikunda, Qiang Zhang. Anthropogenic fugitive, Combustion and industrial dust is a significant, Underrepresented fine particulate matter source in global atmospheric models// Environ. Res. Let. 2017. Vol. 12. 044018. URL: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa65a54 .
3. Dongchul Kim, Mian Chin, Husheng Bian, Qian Tan, Molly E. Brown, Tai Zheng, Renjie You, Tomas Diehl, Paul Ginoux, Tom Kucsera. The effect of the dynamic surface bareness on dust source function, emission and distribution// Journal of Geophysical Research. 2013. Vol. 118. Pp. 1-16. doi: 10.1029/2012JD017907.
4. Ginoux P., Chin M., Tegen I., M. Prospere J., Holben B., Dubivik O., Lin S-J. Source and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model// J. Gephys. Res. 2001. Vol. 106(D17). Pp. 20255-20173. doi: 10.1029/2000JD000053.
5. Tucker C. J (1979)., Dregne H. E., Newcomb W. W (1991). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation// Remote Sens. Environ. Vol. 8. Pp. 127-150.
6. Dong Z. P., Yu X., Li X. M. Analysis of variation trends and causes of aerosol optical depth in Shaanxi Province using MODIS data// Chin Sci. Bull. 2013. Vol. 58. Pp. 4486-4496. doi: 10.1007/s11434-013-5991-z.
7. Xiao Z., Jiang H., Zhou G., Chen J., Zhang R. characteristic of aerosol optical thickness as well the relationship with NDVI in the Yangtze River Delta// China. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2013. Vol. 24. Pp. 8630876. doi: 10.3319/TAO.2013.05.02.01(A).

N. Kerimov

Methodic for calculation of dust flow of natural origin emitted to atmosphere

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

Abstract. *The paper is devoted to modification of methodic for calculation of dust flow of natural origin emitted to atmosphere. The analysis of known methodic for calculation of flow of dust particles directed to atmosphere shown that this methodic didn't take into account the joint effect of total(of natural and anthropogenic origin) aerosol variation on accuracy of held measurements of NDVI at the researched territory. The accounting of known correlation link between aerosol pollution of atmosphere and measured value of NDVI make it possible to evaluate impact of aerosol on accuracy of obtained assessment of researched flow. The order for compensation of effect of AOD variation during whole cycle of measurements by adaptive variation of limiting value of NDVI has been defined.*

Keywords: *dust flow; atmosphere; optical depth; aerosol; correlation; normalized differential vegetation index.*

Поступила в редакцию 28.01.2020 г.