ΠΑΝΑΚΕΙΑ - Παραδοτέο Π8.11 (ΙΙΒΕΑΑ)

Δημοσιεύσεις για την ατμοσφαιρική ρύπανση σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια (τουλάχιστον 1)

ΠΕ 8: Ρύπανση της Ατμόσφαιρας και έκθεση πληθυσμού (JRA1)

Ημερ/νία έναρξης – λήξης: 03.09.2018 – 02.04.2022

Ημερ/νία παράδοσης: 28.02.2022

Ημερ/νία ενημέρωσης παραδοτέου: 19.02.2023

Το Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών (ΙΙΒΕΕΑ) συμμετείχε στην ερευνητική υποδομή ΠΑΝΑΚΕΙΑ, α) με την ανάλυση μετρήσεων του στρώματος του όζοντος που πραγματοποιήθηκαν στο Κέντρο Επιπτώσεων του Περιβάλλοντος στην Υγεία του ΙΙΒΕΑΑ, και β) με την ανάλυση μετρήσεων του επιφανειακού όζοντος και του μονοξειδίου του άνθρακα που πραγματοποιήθηκαν στο συνεργαζόμενο ερευνητικό περιβαλλοντικό παρατηρητήριο Navarino Environmental Observatory (NEO) στη Μεσσηνία.

Στα πλαίσια του έργου, η ερευνητική ομάδα του ΙΙΒΕΑΑ δημοσίευσε 5 πρωτότυπες ερευνητικές εργασίες σε επιστημονικά με κριτές και πραγματοποίησε 4 ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια, με ευχαριστίες και χρηματοδότηση από το έργο ΠΑΝΑΚΕΙΑ, όπως αναλύονται παρακάτω.

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά με κριτές

Οι δημοσιεύσεις που προέκυψαν στα πλαίσια του έργου από την ανάλυση μετρήσεων όζοντος και ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας από το φασματοφωτόμετρο Brewer που λειτουργεί στο ΙΙΒΕΑΑ, ήταν οι εξής:

1. Eleftheratos, K., Zerefos, C. S., Balis, D. S., Koukouli, M.-E., Kapsomenakis, J., Loyola, D. G., Valks, P., Coldewey-Egbers, M., Lerot, C., Frith, S. M., Haslerud, A. S., Isaksen, I. S. A., and Hassinen, S.: The use of QBO, ENSO and NAO perturbations in the evaluation of GOME-2 MetOp A total ozone measurements, Atmospheric Measurement Techniques, 12, 987–1011, https://doi.org/10.5194/amt-12-987-2019, 2019.

2. Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Zerefos, C. S., Bais, A. F., Fountoulakis, I., Dameris, M., Jöckel, P., Haslerud, A. S., Godin-Beekmann, S., Steinbrecht, W., Petropavlovskikh, I., Brogniez, C., Leblanc, T., Liley, J. B., Querel R., and Swart, D. P. J.: Possible Effects of Greenhouse Gases to Ozone Profiles and DNA Active UV-B Irradiance at Ground Level, Atmosphere, 11, 228, doi:10.3390/atmos11030228, 2020.

3. Raptis, P., Eleftheratos, K., Kazadzis, S., Kosmopoulos, P., Papachristopoulou, K., and Solomos, S.: The combined effect of ozone and aerosols on erythemal irradiance in an extremely low ozone event during May 2020, Atmosphere, 12, 145, https://doi.org/10.3390/atmos12020145, 2021.

4. Eleftheratos, K., Kouklaki, D., and Zerefos, C. S.: 16 years of measurements of ozone over Athens, Greece with a Brewer spectrophotometer, Oxygen, 1(1), 32–45, https://doi.org/10.3390/oxygen1010005, 2021.

5. Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Fountoulakis, I., Zerefos, C. S., Jöckel, P., Dameris, M., Bais, A. F., Bernhard, G., Kouklaki, D., Tourpali, K., Stierle, S., Liley, J. B., Brogniez, C., Auriol, F., Diémoz, H., Simic, S., Petropavlovskikh, I., Lakkala, K., and Douvis, K.: Ozone, DNA-active UV radiation, and cloud changes for the near-global mean and at high latitudes due to enhanced greenhouse gas concentrations, Atmos. Chem. Phys., 22, 12827–12855, https://doi.org/10.5194/acp-22-12827-2022, 2022.

Η πρώτη εργασία είχε σκοπό να αναδείξει την επίδραση βασικών κλιματικών διαταραχών στην μεταβλητότητα της ολικής στήλης του όζοντος στα μέσα και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Οι κλιματικές διαταραχές που μελετήθηκαν ήταν η Σχεδόν Διετής Κύμανση (QBO), η Νότια Κύμανση (ENSO) και η Κύμανση του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού (NAO). Συγκρίθηκαν οι επίγειες μετρήσεις του όζοντος με τις μετρήσεις σύγχρονων δορυφορικών οργάνων (GOME-2A) για την περίοδο 2007-2016. Οι μέσες διαφορές ήταν της τάξεως του –0.7±1.4% στους τροπικούς, 0.1±2.1% στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, και 2.5±3.2% και 0.0±4.3% στα βόρεια και νότια μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, αντίστοιχα. Οι δορυφορικές και οι επίγειες μετρήσεις συμφωνούν πολύ καλά ως προς τις επιδράσεις των φυσικών διακυμάνσεων QBO, ENSO, NAO. Οι διαφορές μεταξύ του όζοντος από τις δορυφορικές και τις επίγειες μετρήσεις λόγω της QBO είναι εντός του 1% στις τροπικές περιοχές. Οι διαφορές μεταξύ των δορυφορικών και των επίγειων μετρήσεων στο νησί Σαμόα (Αμερικανική Σαμόα) είναι εντός του ±1.9%.

Βρήκαμε πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων όζοντος στον Καναδά και την Ευρώπη ως προς τη μεταβλητότητα που σχετίζεται με το NAO, με τις μέσες διαφορές να φθάνουν τα επίπεδα του 1%. Η συμφωνία και οι μικρές διαφορές που βρέθηκαν μεταξύ των δορυφορικών και των επίγειων δεδομένων όζοντος ως προς την επίδραση των QBO, ENSO και NAO έδειξαν τη σημασία αυτών των κλιματολογικών δεικτών για την παρακολούθηση της μακροχρόνιας σταθερότητας των δορυφορικών – επίγειων διαφορών.

Η δεύτερη εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη του αντίκτυπου της μείωσης των στρατοσφαιρικών αλογόνων (χημεία) και της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου (υπερθέρμανση) στις αλλαγές του στρατοσφαιρικού όζοντος. Δόθηκε προσοχή στην επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου στην υπεριώδη-Β ακτινοβολία στο έδαφος. Χρησιμοποιήθηκαν επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις όζοντος καθώς και προσομοιώσεις μοντέλων χημείας-μεταφοράς και χημείας-κλίματος. Προέκυψε ότι (α) η μείωση των αλογόνων μεγιστοποιεί την ανάκαμψη του όζοντος στα 1,7 hPa, κάτι που παρατηρείται σε όλους τους επίγειους σταθμούς, και (β) ότι σημαντική επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου στην ανάκαμψη του στρατοσφαιρικού όζοντος προβλέπεται μετά το έτος 2050. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υπεριώδης-Β ηλιακή ακτινοβολία που προκαλεί βλάβη στο DNA θα αυξηθεί μετά το έτος 2050 κατά +1,3% ανά δεκαετία. Μια τέτοια αλλαγή οφείλεται σε μια σημαντική μείωση της νεφοκάλυψης λόγω της εξέλιξης των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον και μιας ασήμαντης τάσης στο ολικό όζον. Εάν οι εκτιμήσεις αποδειχθούν αληθείς, τότε είναι πιθανό ότι η διαδικασία της κλιματικής αλλαγής θα κατακλύσει την επίδραση της ανάκαμψης του όζοντος στην ακτινοβολία UV-B στα μέσα πλάτη.

Η τρίτη εργασία εστίασε στις μετρήσεις υπεριώδους ακτινοβολίας στην περιοχή της Αθήνας, κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου με χαμηλή ποσότητα ολικού όζοντος. Κατά την περίοδο 12-19 Μαΐου 2020, η ολική στήλη του όζοντος έδειξε εξαιρετικά χαμηλές τιμές, περίπου 35-55 μονάδες Dobson (έως 15%) κάτω από το μέσο όρο (μικρότερες του 2σ). Αυτή η κατάσταση ευνόησε την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας UV, καθώς το στρατοσφαιρικό όζον είναι ο σημαντικότερος παράγοντας εξασθένισης στη φασματική περιοχή UV-B. Ταυτόχρονα, μία εισβολή αερολυμάτων σκόνης από την έρημο Σαχάρα σκίασε ένα μεγάλο μέρος της επίδρασης του χαμηλού όζοντος στην υπεριώδη ακτινοβολία. Για να διερευνηθούν οι επιδράσεις των δύο φαινομένων, αναλύθηκαν οι φασματικές ηλιακές μετρήσεις από το φασματοφωτόμετρο PSR, οι μετρήσεις του ολικού όζοντος από το φασματοφωτόμετρο Brewer και υπολογισμοί από μοντέλο διάδοσης της ακτινοβολίας. Οι υπολογισμοί του δείκτη UV έδειξαν αύξηση κατά

~30% σε σχέση με τις μακροχρόνιες τιμές του δείκτη λόγω του χαμηλού όζοντος, ενώ ταυτόχρονα τα αερολύματα σκίαζαν αυτό το αποτέλεσμα σε συγκεκριμένες ημέρες κατά ~20%. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της απόκρισης αυτών των μεταβολών στη φασματική περιοχή UV σε διάφορες ηλιακές ζενίθιες γωνίες. Τα προσομοιωμένα φάσματα συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις και βρέθηκε μια μέση διαφορά της τάξεως του 2%. Η μελέτη επισήμανε τη σημασία των ακριβών μετρήσεων και των προβλέψεων του όζοντος και των αερολυμάτων για τον υπολογισμό του δείκτη UV υπό ασυνήθιστες συνθήκες χαμηλού όζοντος – υψηλής συγκέντρωσης αερολυμάτων.

Η τέταρτη εργασία παρουσίασε τα επίπεδα του στρώματος του όζοντος στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας από τις μετρήσεις του φασματοφωτόμετρου Brewer που λειτουργεί στο ΙΙΒΕΑΑ από τον Ιούλιο του 2003. Το στρώμα του όζοντος παρουσιάζεται σταθεροποιημένο κατά την τελευταία 18ετία πάνω από την Αττική, χωρίς να παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή. Η μέση τιμή του στρώματος του όζοντος παραμένει σταθερή στις 320 μονάδες Dobson, ποσότητα που αντιστοιχεί σε ένα στρώμα πάχους 3,2 χιλιοστών. Τα δεδομένα του όζοντος από το φασματοφωτόμετρο Brewer συγκρίθηκαν με τα δορυφορικά δεδομένα TOMS, OMI και GOME-2A. Τα αποτελέσματα έδειξαν εξαιρετικές συσχετίσεις μεταξύ των επίγειων και των δορυφορικών δεδομένων μεγαλύτερες από 0,9. Τέλος, μελετήθηκε η μεταβλητότητα του στρώματος του όζοντος στην Αθήνα λόγω των εποχιακών μεταβολών, της σχεδόν διετούς κύμανσης (Quasi Biennial Oscillation), της νότιας κύμανσης (El Nino Southern Oscillation), της κύμανσης του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού (North Atlantic Oscillation), της ενδεκαετούς ηλιακής δραστηριότητας (11-year solar cycle) και των μεταβολών του ύψους της τροπόπαυσης.

Η πέμπτη εργασία αποτέλεσε συνέχεια της δεύτερης εργασίας με επέκταση της ανάλυσης στα βόρεια και νότια μεγάλα γεωγραφικά πλάτη σε σχέση με τον σχεδόν παγκόσμιο μέσο όρο (50° B–50° N). Η εργασία υπολόγισε το ποσοστό αλλαγής της υπεριώδους-Β ηλιακής ακτινοβολίας που βλάπτει το DNA λόγω των αλλαγών του όζοντος και της νεφοκάλυψης μέσω στατιστικού μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (MLR), κάτι που δεν έγινε στην προηγούμενη μελέτη. Η προηγούμενη μελέτη ανέλυσε δεδομένα από 5 σταθμούς μεταξύ 50° B και 50° N, ενώ η νέα μελέτη χρησιμοποίησε δεδομένα από 13 σταθμούς, μεταξύ των οποίων τα δεδομένα από το φασματοφωτόμετρο του ΙΙΒΕΑΑ, παρέχοντας πληρέστερα αποτελέσματα, αναλύοντας παράλληλα μέσες τιμές ανά γεωγραφικές ζώνες. Τα πληρέστερα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία Β που βλάπτει το DNA αναμένεται να αυξηθεί μετά το 2050 μεταξύ των 50° B και 50° N λόγω των μειώσεων στα νέφη και στο όζον από την αύξηση των αερίων

του θερμοκηπίου, κάτι που είναι πιθανό να μην συμβεί στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπου εκεί η υπεριώδης ακτινοβολία Β θα συνεχίζει την πτωτική της τάση λόγω της ανάκαμψης του στρατοσφαιρικού όζοντος από τη μείωση των ουσιών που το καταστρέφουν.

Ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια

Οι ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια στις οποίες παρουσιάστηκαν μετρήσεις από το φασματοφωτόμετρο Brewer του ΙΙΒΕΑΑ και από τους αναλυτές αέριων ρύπων όζοντος και μονοξειδίου του άνθρακα του Navarino Environmental Observatory (N.E.O.), ήταν οι εξής:

1. Eleftheratos, K., Zerefos, C., Kapsomenakis, J., Bais, A., Fountoulakis, I., Dameris, M., Haslerud, A. S., Godin-Beekmann, S., Steinbrecht, W., Petropavlovskikh, I.: A note on possible effects of the unexpected increase in global CFC-11 to ozone profiles and erythemal doses at ground level, International Symposium On: The Unexpected Increase in Emissions of Ozone-Depleting CFC-11, Vienna, Austria, 25–27 March 2019.

2. Eleftheratos, K., Stavraka, T., and Zerefos, C.: 15 years of measurements of total ozone over Athens, Greece with a Brewer spectrophotometer, First scientific conference PANACEA, University of Crete, Heraklion, 23–24 September 2019.

3. Weber M., Schüller L., and Eleftheratos K.: The role of Dobsons and Brewers in satellite ground-truthing: Will that change in the future?, Commemorative event celebrating 20 Years WMO Regional Dobson Calibration Centre Europe / Middle East, Invitation by Dr. Ulf Köhler and Dr. Wolfgang Steinbrecht, Meteorological Observatory Hohenpeissenberg, 2 October 2019.

4. Stavraka, T., Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Zerefos, C., Gerasopoulos, E., Pantazis, C., Maneas, G., Kouvarakis, G., and Mihalopoulos, N.: Ozone and carbon monoxide measurements at the Navarino Environmental Observatory (NEO) in Messenia, Greece, Second scientific conference PANACEA, Web Conferencing, 29 September – 1 October 2020.

Στην πρώτη ανακοίνωση παρουσιάστηκαν οι πιθανές επιπτώσεις από την απροσδόκητη αύξηση του παγκόσμιου CFC-11 στα προφίλ του στρατοσφαιρικού όζοντος και στην ερυθηματογόνο ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη.

Η δεύτερη ανακοίνωση οδήγησε στη δημοσίευση με αριθμό 4 από τους Eleftheratos et al. (2021).

Στην τρίτη ανακοίνωση γιορτάστηκαν τα 20 χρόνια λειτουργίας του κέντρου βαθμονόμησης των φασματοφωτόμετρων Dobson του WMO, όπου παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις του στρώματος του όζοντος στα μέσα και τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη από τα φασματοφωτόμετρα τύπου Dobson και Brewer.

Στην τέταρτη ανακοίνωση παρουσιάστηκαν οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του όζοντος (O_3) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στη Μεσσηνία, από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον σταθμό ατμοσφαιρικής παρακολούθησης Ν.Ε.Ο. στη Μεθώνη κατά την περίοδο 2016-2010. Ο ρόλος του σταθμού, ο οποίος είναι μέρος της ερευνητικής υποδομής της ΠΑΝΑΚΕΙΑ, είναι να παρακολουθεί σε μακροχρόνια βάση τα επίπεδα βασικών σωματιδίων και αέριων ρύπων, σε μια προσπάθεια να ρίξει φως στους παράγοντες που ελέγχουν τα επίπεδα και τη μεταβλητότητά τους, και να διαχωρίσει τη σχετική συμβολή των τοπικών πηγών από πηγές περιφερειακής κλίμακας. Υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές για τη μελέτη του εποχιακού κύκλου των δύο ρύπων. Για να διερευνηθεί η περιφερειακή αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων, ειδικά εντός των κλιματολογικά διαφορετικών τμημάτων του δυτικού και ανατολικού τμήματος της Ελλάδας, τα δεδομένα συγκρίθηκαν με αντίστοιχες συγκεντρώσεις από τον σταθμό της Φινοκαλιάς στην Κρήτη. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων O_3 και CO στη Μεθώνη και τη Φινοκαλιά, είναι περίπου +0,5 και +0,6, αντίστοιχα. Δόθηκε έμφαση στους παράγοντες που καθορίζουν τη συμμεταβολή τους και στις περιόδους όπου τα επίπεδα διέφεραν σημαντικά.