



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΑΦΝΗ Ι. ΔΕΛΗΟΓΛΑΝΗ

Η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στην έκταση του
παγοκαλύμματος στον Αρκτικό κύκλο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020



Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στην έκταση του παγοκαλύμματος στον Αρκτικό κύκλο» πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών μου σπουδών στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια Χριστίνα Αναγνωστοπούλου για την πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας. Το εαρινό εξάμηνο του 2020 υπήρξε ιδιαίτερα δύσκολο για όλους, αναγκάζοντάς μας να βρούμε τρόπους να ανταπεξέλθουμε σε μία πρωτόγνωρη κατάσταση. Ωστόσο, όποτε χρειάστηκα βοήθεια, η κα Αναγνωστοπούλου ήταν πάντα πρόθυμη να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Δεληογλάνη Δάφνη



ΔΑΦΝΗ Ι. ΔΕΛΗΟΓΛΑΝΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5522

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ
ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΡΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Αναγνωστοπούλου Χριστίνα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια



© Δάφνη Ι. Δελιογλάνη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΡΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΟ– *Διπλωματική Εργασία*

© Dafni I. Delioglani, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2020

All rights reserved.

THE EFFECTS OF RISING AIR TEMPERATURE ON THE ICE EXTENT IN THE ARCTIC CIRCLE – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: <https://www.carbonbrief.org/humans-causing-up-to-two-thirds-arctic-summer-sea-ice-loss-study-confirms>



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Αρκτική-Αρκτικό Κλίμα.....	6
1.1.1 Αρκτική	6
1.1.2 Πολικό κλίμα	7
1.1.3 Κλίμα Αρκτικής	8
1.2 Κλιματική Αλλαγή.....	8
1.2.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	8
1.2.2 Στοιχεία που δείχνουν την κλιματική αλλαγή.....	10
1.2.3 Κλιματική αλλαγή στην Αρκτική.....	11
1.2.4 Κλιματική αλλαγή και αρκτικά θαλάσσια ρεύματα	13
1.2.5 Έκλυση εγκλωβισμένου μεθανίου	15
1.3 Έκταση Αρκτικού Παγοκαλύμματος.....	16
1.3.1 Επίδραση μείωσης παγοκαλύμματος στον καιρό και το κλίμα	18
1.3.2 Μελλοντικές προβλέψεις για την Αρκτική	20
1.4 Στόχος Εργασίας.....	22
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	23
2.1 Δεδομένα	23
2.2 Μεθοδολογία	26
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΚΤΙΚΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	30
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ	110
4.1 Τάση της Έκτασης του Παγοκαλύμματος ανά Μήνα	110
4.2 Τα Έτη με τις Μέγιστες και τις Ελάχιστες Τιμές της Παγοκάλυψης	113
4.2.1. Μέγιστη έκταση του παγοκαλύμματος.....	113
4.2.2. Ελάχιστη έκταση του παγοκαλύμματος.....	115
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
Ελληνική Βιβλιογραφία	122

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αρκτική-Αρκτικό Κλίμα

1.1.1 Αρκτική

Στις μέρες μας, υπάρχουν τρεις απόψεις όσον αφορά την περιοχή που ορίζεται ως Αρκτική (NSIDC 2020a).

Η επικρατούσα θεωρεί ότι πρόκειται για την περιοχή πάνω από την νοητή γραμμή των $66^{\circ} 34' N$, γνωστή ως Αρκτικός Κύκλος. Στα γεωγραφικά πλάτη που υπέρκειται αυτού του δακτυλίου ο ήλιος δεν δύει και δεν ανατέλει κατά το θερινό (21/06) και χειμερινό (22/12) ηλιοστάσιο, αντίστοιχα. Συνεπώς, επικρατούν έως και έξι μήνες συνεχόμενης ημέρας και έως έξι μήνες συνεχόμενης νύχτας σε μία θέση της Αρκτικής, ανάλογα με την απόσταση αυτής από τον Βόρειο Πόλο.

Άλλοι επιστήμονες θεωρούν ότι ως Αρκτική ορίζεται η περιοχή βορειότερα της αρκτικής ισόθερμης γραμμής, δηλαδή του σημείου της Γης πάνω από το οποίο δε φυτρώνουν δέντρα και διαχωρίζει τα οικοσυστήματα της τούνδρας και της τάιγκας.

Ο τρίτος ορισμός της Αρκτικής την αναφέρει ως την περιοχή που καλύπτει τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, των οποίων η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού είναι μικρότερη των $10^{\circ}C$.

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής συνιστάται από νερό στην υγρή και στερεή μορφή του. Αν και οι παγετώνες και τα παγόβουνα της αποτελούν το 1/5 του γλυκού νερού του πλανήτη, η Αρκτική διαθέτει τεράστιες ποσότητες θαλάσσιου πάγου, δηλαδή παγωμένου αλμυρού νερού.



Σχήμα 1.1.1. Οι τρεις ορισμοί της Αρκτικής.

Πηγή: <https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/arctic.html>

1.1.2 Πολικό κλίμα

Στις περιοχές της Γροιλανδίας, της Ανταρκτικής και του αρκτικού ωκεανού επικρατεί το πολικό κλίμα. Στο συγκεκριμένο τύπο κλίματος, η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα του έτους είναι μικρότερη του μηδενός και η παγοκάλυψη είναι μόνιμη. Η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα εντοπίζεται τους χειμερινούς μήνες, λίγη ώρα πριν την ανατολή του ηλίου (Φλόκας, 1997).

Στην ατμόσφαιρα παρατηρούνται κυρίως ασθενή βαρομετρικά υψηλά, αλλά και η συχνή παρουσία υφέσεων. Ως αποτέλεσμα της εμφάνισης των βαρομετρικών χαμηλών, οι δριμείς χειμώνες επηρεάζονται από τις θερμές αέριες μάζες που αυτά μεταφέρουν στην ατμόσφαιρα.

Οι κυκλώνες είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση ισχυρών ανέμων και χιονοπτώσεων. Στις πολικές περιοχές το ύψος του χιονιού αυξάνεται όσο αυτές βρίσκονται πιο κοντά τη θάλασσα. Ακόμα, η έντονη θερμική ακτινοβολία που δέχεται η Γη οδηγεί στον σχηματισμό ενός επιφανειακού στρώματος πολύ ψυχρού αέρα και επομένως καταβατικών ανέμων. Οι καταβατικοί άνεμοι μπορούν να πνέουν με ταχύτητα έως 320 km/h και συνεπώς να δημιουργούν σφοδρές χιονοθύελλες. Ο σχηματισμός των χαρακτηριστικών δομών χιονιού «Sastrugi» ή «Οροσειρές, κορδέλλες και χαραδρώσεις» είναι συχνό φαινόμενο (Φλόκας, 1997).



Σχήμα 1.1.2. «Sastrugi» ή «Οροσειρές, κορδέλλες και χαραδρώσεις».

Πηγή: <https://media.arcus.org/album/polartrec-2017-jennifer-bault/29578>

Καθώς η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, μεγάλο μέρος της Αρκτικής καλύπτεται από ένα μόνιμα παγωμένο έδαφος, γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως «permafrost». Το πάχος του ποικίλλει ανάλογα με την εποχή, δηλαδή τη θερμή περίοδο ένα τμήμα του λιώνει εξαιτίας της ανόδου της θερμοκρασίας, ενώ τον χειμώνα το έδαφος παγώνει ξανά και αυξάνεται λόγω των χιονοπτώσεων.

1.1.3 Κλίμα Αρκτικής

Είναι γνωστό πως το κλίμα επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, οι πιο σημαντικοί είναι μετεωρολογικοί και γεωγραφικοί. Στην Αρκτική, ο σημαντικότερος μετεωρολογικός παράγοντας είναι η ηλιοφάνεια. Η παρουσία ή απουσία του ηλίου στις περιοχές βορειότερα του Αρκτικού Κύκλου καθορίζει τη θερμοκρασία του αέρα στην Αρκτική.

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, στο συγκεκριμένο μέρος επικρατεί απόλυτο σκοτάδι, ενώ το καλοκαίρι συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη θέση της Γης σε σχέση με τον ήλιο μέσα στο χρόνο.

Ένα άλλο συχνό φαινόμενο που λαμβάνει συχνά χώρα στην ατμόσφαιρα της Αρκτικής είναι οι θερμοκρασιακές αναστροφές. Το παγωμένο έδαφος ακτινοβολεί μεγαλύτερο ποσό θερμότητας από αυτό που δέχεται και συνεπώς το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας γίνεται πολύ ψυχρό και η θερμοκρασία αυτής αυξάνεται με το ύψος. Η συγκεκριμένη κατάσταση τείνει να μειώνει την ταχύτητα του ανέμου κοντά στην επιφάνεια.

Το κλίμα της Αρκτικής μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες, με βάση την επιρροή του από τη θάλασσα: το ωκεάνιο κλίμα και το ηπειρωτικό κλίμα (NSIDC 2020b).

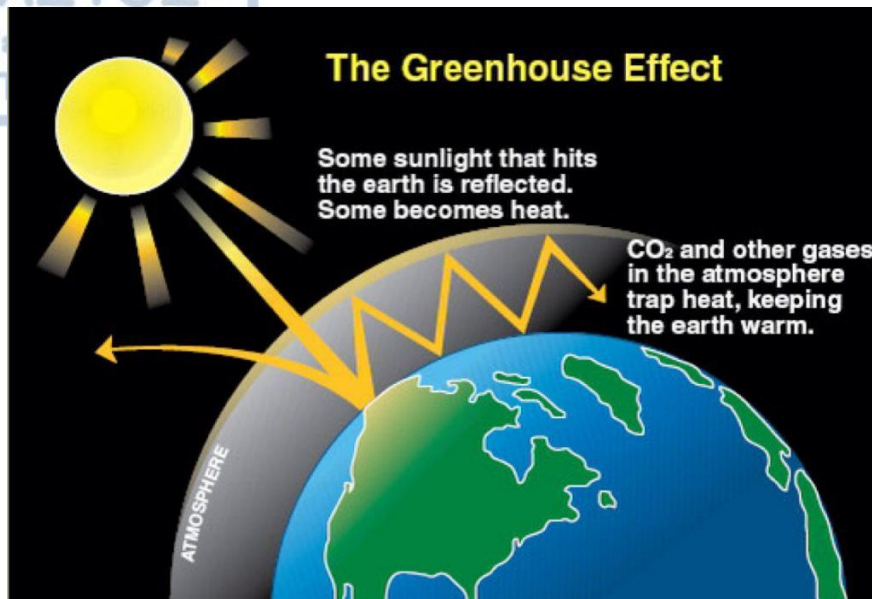
Ωκεάνιο Πολικό Κλίμα: συναντάται σε περιοχές κοντά στον ωκεανό, όπως η Αλάσκα, η Ισλανδία, η Σκανδιναβία και η βόρεια Ρωσία. Τα καλοκαίρια είναι ψυχρά και νεφελώδη με μία μέση θερμοκρασία περίπου 10 °C, ενώ τους χειμώνες επικρατούν καταιγίδες και το ύψος των κατακρημνισμάτων κυμαίνεται μεταξύ 600-1250 mm.

Ηπειρωτικό Πολικό Κλίμα: σε περιοχές στο εσωτερικό των ηπείρων, όπως η Σιβηρία. Το κλίμα είναι ξηρότερο, με χειμώνες δριμύως ψύχους και πιθανές θερμοκρασίες χαμηλότερων των -40°C και καλοκαίρια με έντονη ηλιοφάνεια που προκαλεί την τήξη του ανώτερου στρώματος του παγοκαλύμματος και ανεβάζει τη θερμοκρασία υψηλότερη από τους 10 °C.

1.2 Κλιματική Αλλαγή

1.2.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο πλανήτης δέχεται τους δύο τύπους ακτινοβολίας, την ορατή και την υπέρυθρη, από το διάστημα, ενώ η βλαβερή υπεριώδης παρεμποδίζεται από το στρατοσφαιρικό όζον. Η Γη με τη σειρά της εκπέμπει μία ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος προς τα έξω. Ένα μεγάλο μέρος αυτής απορροφάται από χημικές ενώσεις που καλούνται «θερμοκηπικά αέρια» και συνεπώς εγκλωβίζεται στα στρώματα της ατμόσφαιρας, συμβάλλοντας στην άνοδο της θερμοκρασίας της Γης. Το γεγονός αυτό είναι γνωστό με τον όρο «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» (Λαζαρίδης, 2010).



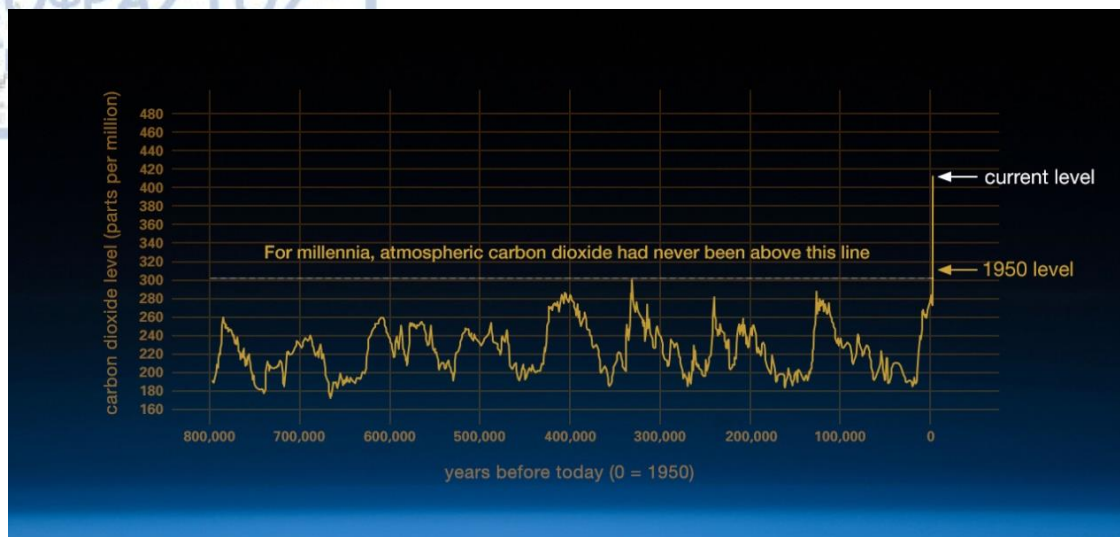
Σχήμα 1.2.1. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Πηγή: <https://medium.com/@tutorbin/greenhouse-effect-advantages-and-disadvantages-4d4f113ec61d>

Η ατμόσφαιρα συνιστάται από πολυάριθμες χημικές ενώσεις, η συγκέντρωση των οποίων ποικίλλει. Κάποιες από αυτές τις και ειδικότερα οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες είναι γνωστές ως «θερμοκηπικά αέρια» κι έχουν την ιδιότητα να απορροφούν θερμότητα από την ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στους 15 °C.

Στην περίπτωση που τα θερμοκηπικά αέρια δεν είχαν την παραπάνω ιδιότητα, τότε η θερμοκρασία του αέρα θα ήταν τόσο χαμηλή ώστε η Γη να μην είναι βιώσιμη. Ωστόσο, αύξηση της συγκέντρωσης τους οδηγεί σε μεγαλύτερη άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από το 1950 άρχισε να παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας με ταχύτερο ρυθμό από το φυσιολογικό. Το γεγονός αυτό συνδέθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων λόγω της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο κλίμα. Για παράδειγμα, το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα αυξήθηκε λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων και η συγκέντρωσή του σήμερα υπερβαίνει τα 400 ppm. Δεν είναι η πρώτη φορά που ο πλανήτης διαθέτει αυτή την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά η τελευταία φορά που τα επίπεδα της συγκεκριμένης ένωσης ήταν τόσο υψηλά ήταν πριν από περίπου 3-5 εκατομμύρια χρόνια (NASA 2020a).



Σχήμα 1.2.2. Συγκέντρωση CO₂ τα τελευταία χιλιάδες χρόνια.

Πηγή: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

1.2.2 Στοιχεία που δείχνουν την κλιματική αλλαγή

Χάρη στη μελέτη και ανάλυση διαφόρων κλιματικών δεικτών, έγινε αντιληπτό ότι το κλίμα στη Γη δεν ήταν ποτέ σταθερό. Πριν από εκατομμύρια χρόνια υπήρξαν περίοδοι έντονου ψύχους ή καύσωνα, θερμοκρασίες στις οποίες δε θα μπορούσε να ζήσει η ανθρωπότητα. Πριν από 11.700 χρόνια, με το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, διαμορφώθηκε το σύγχρονο κλίμα, καθιστώντας πλέον τις συνθήκες κατάλληλες για την εμφάνιση των πρώτων ανθρώπων.

Ωστόσο, όλες οι προηγούμενες μεταβολές του κλίματος οφείλονταν αποκλειστικά και μόνο σε φυσικούς παράγοντες, ενδογενείς και εξωγενείς. Οι πρώτοι αναφέρονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών και στις εκρήξεις ηφαιστειών, ενώ οι δεύτεροι σε αστρονομικά φαινόμενα και την ηλιακή δραστηριότητα (Desonie, 2008).

Η διαφορά με την κλιματική αλλαγή που ενδιαφέρει στη σύγχρονη εποχή τους επιστήμονες είναι το γεγονός ότι αυτή οφείλεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην ανθρώπινη δραστηριότητα που ξεκίνησε από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα.

Σύμφωνα με δεδομένα που συλλέχθηκαν από ποικίλους κλιματικούς δείκτες- ωκεάνια ιζήματα, κορμοί δένδρων, κοράλλια, ιζηματογενή πετρώματα- διαπιστώθηκε πως η θερμοκρασία ανεβαίνει δέκα φορές γρηγορότερα από τη μέση θέρμανση που θα έπρεπε να παρατηρείται αν οφειλόταν μόνο σε φυσικά αίτια.

Πολλά είναι τα στοιχεία που υποδηλώνουν την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής. Η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, η μείωση των παγοκαλυμμάτων και του πάχους της χιονοκάλυψης, η υποχώρηση των παγετώνων, η μείωση του Αρκτικού πάγου, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η οξύνιση των ωκεανών είναι μερικά από τα σημαντικότερα παραδείγματα (NASA 2020b).



(a)



(b)



(c)



(d)

Σχήμα 1.2.3. Στοιχεία που υποδηλώνουν την κλιματική αλλαγή (μείωση του παγοκαλύμματος (a), μείωση του αρκτικού πάγου (b), μείωση του πάχους της χιονοκάλυψης (c), υποχώρηση των παγετώνων (d)).

Πηγή: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

1.2.3 Κλιματική αλλαγή στην Αρκτική

Η Αρκτική είναι η περιοχή της Γης στην οποία έχει παρατηρηθεί η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 30 χρόνια. Ενώ η θερμοκρασία του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα έχει αυξηθεί κατά περίπου 1°C μέσα στον τελευταίο αιώνα, στην Αρκτική η αύξηση αυτή είναι διπλάσια. Η μεταβολή αυτή έχει προκαλέσει αλλαγές στη χιονοκάλυψη, το παγοκάλυμμα και το θαλάσσιο πάγο της περιοχής. Ήδη από τις δεκαετίες του '70 και '80 είχε γίνει αντιληπτή η μείωση των παγετώνων. Μάλιστα, σύμφωνα με έρευνες που έλαβαν χώρα τα τελευταία 30 χρόνια σημειώθηκε μείωση 30% του αρκτικού θαλάσσιου πάγου το μήνα Σεπτέμβριο (NSIDC 2020c).

Η κλιματική αλλαγή που εμφανίζεται στην Αρκτική έχει επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλίμα, λόγω του γεγονότος ότι εκπέμπει μεγαλύτερο ποσό θερμότητας προς το διάστημα από αυτό που απορροφάει και αποτρέπει την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές της Γης, στην Αρκτική σημειώνεται ταχύτερη θέρμανση εξαιτίας της λευκαύγειας του χιονιού. Η λευκαύγεια (albedo) αποτελεί το μέτρο της ανακλαστικότητας ενός σώματος και στον πάγο παρουσιάζει μεγάλη τιμή,

δηλαδή αυτός ανακλά μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια.

Πίνακας 2.1. Ανακλαστικότητα (albedo) διαφόρων επιφανειών (Λαζαρίδης, 2010)

Επιφάνεια	Ανακλαστικότητα (%)
Χιόνι (φρέσκο)	75-95
Χιόνι (παλιό και βρώμικο)	40-60
Πάγος	70
Νερό	10
Γυμνό έδαφος	15

Ωστόσο, η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει τη λευκαύγεια του αρκτικού εδάφους. Καθώς ο πάγος λιώνει, τα νερά που τον περιβάλλουν σκουραίνουν σε χρώμα, αλλά και τα υποκείμενα εδαφικά στρώματα αρχίζουν να εμφανίζονται. Το σκουρόχρωμο νερό και το γυμνό έδαφος απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τον πάγο, ενισχύοντας το φαινόμενο της θέρμανσης.

Η θέρμανση της ατμόσφαιρας έχει οδηγήσει πολλές περιοχές της Αρκτικής να φθάσουν στα λεγόμενα «κρίσιμα σημεία», δηλαδή σε καταστάσεις πιθανόν μη αναστρέψιμες. Το λιώσιμο του παγωμένου εδάφους της Αλάσκας, αλλά και οι τεράστιες μεταβολές του θαλάσσιου πάγου και του παγοκαλύμματος στην Γροιλανδία αποτελούν τέτοια παραδείγματα.

Ειδικότερα για τη Γροιλανδία, το παγοκάλυμμα της λιώνει σε υπερβολικά υψηλούς ρυθμούς, γεγονός το οποίο επηρεάζει όλο τον πλανήτη. Σε περίπτωση που έλιωνε όλος ο πάγος του νησιού, η στάθμη της θάλασσας θα σημείωνε μία αύξηση 7 μέτρων. Συνεπώς, τέτοια δραματική άνοδος θα είχε δραματικές επιπτώσεις σε πολλές από τις παράκτιες μεγαλουπόλεις του κόσμου (NASA 2020c).

Ακόμα, η κλιματική αλλαγή έχει αρνητικές επιπτώσεις και στο θαλάσσιο πάγο της Αρκτικής. Κατά τον προηγούμενο αιώνα η έκταση του κυμαινόταν μεταξύ 15 km² στην αρχή της θερμής περιόδου (Μάρτιος) και 7 km² στο τέλος της (Σεπτέμβριο). Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση της έκτασής του.

Οι μεταβολές στο αρκτικό παγοκάλυμμα και τον θαλάσσιο πάγο έχουν οδηγήσει σε μεγάλες αλλαγές στα αρκτικά και πολικά οικοσυστήματα. Την περίοδο του καλοκαιριού όταν λιώνει ο θαλάσσιος πάγος και το χρώμα του νερού γίνεται πιο σκούρο, τότε αυτό απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας και εκτός από το γεγονός πως τήκει μεγαλύτερη ποσότητα πάγου, αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία του. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί επηρεάζονται από αυτήν τη θέρμανση αλλά και από τα πολυάριθμα παράσιτα, η ανάπτυξη κι εξάπλωση των οποίων ευνοείται από την υψηλότερη θερμοκρασία.



Εξαιτίας του φαινομένου της Αρκτικής ενίσχυσης (το γεγονός ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν διπλάσια ένταση στον Αρκτικό Κύκλο σε σχέση με τον υπόλοιπο πλανήτη), το παγοκάλυμμα υποχωρεί και αποκαλύπτονται οργανισμοί της πανίδας και της χλωρίδας που είχαν καλυφθεί από πάγο. Συνεπώς, ξεκινά η διαδικασία αποσύνθεσής τους, η απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και η ενίσχυση της θέρμανσης του πλανήτη. Μάλιστα, υπολογίζεται πως η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο παγωμένο έδαφος της Αρκτικής είναι περίπου η διπλάσια από αυτήν της ατμόσφαιρας.

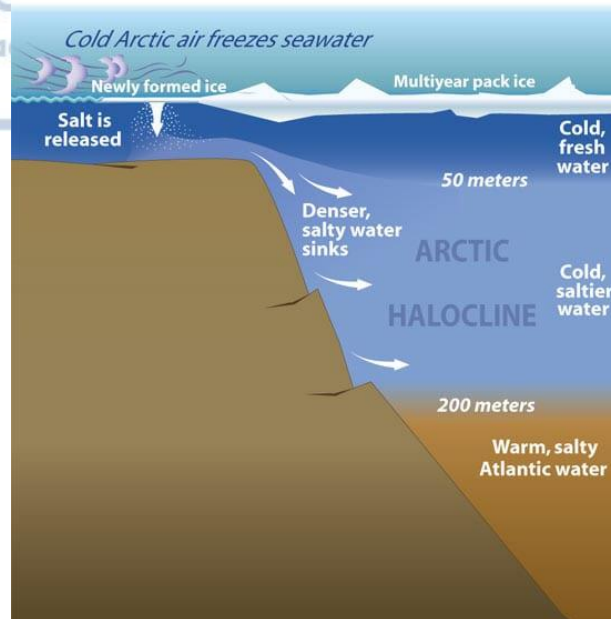
Συνδεδεμένη με το παραπάνω φαινόμενο είναι και η οξύνιση του θαλασσινού νερού. Ένα μέρος του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές απορροφάται από τους ωκεανούς, μειώνοντας το pH τους και μετατρέποντάς τους σε πιο όξινους, με αποτέλεσμα πλαγκτονικοί οργανισμοί και μαλάκια να σχηματίζουν εύθραυστα ανθρακικά κελύφη.

Σε κάποιες περιπτώσεις οι μεταβολές των χαρακτηριστικών της Αρκτικής μπορούν να συμβάλλουν στο φαινόμενο της ψύξης του πλανήτη, ωστόσο τα στοιχεία που οδηγούν στη θέρμανση υπερτερούν. Ακόμα, σύμφωνα με μία πρόσφατη έρευνα που διεξείχθησε η NOAA, το κλίμα στην Αρκτική δεν θα μπορέσει να επανέλθει στις αρχικές του συνθήκες.

1.2.4 Κλιματική αλλαγή και αρκτικά θαλάσσια ρεύματα

Τα βαθιά ωκεάνια νερά πραγματοποιούν οριζόντιες και κατακόρυφες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις στη στήλη του νερού. Το φαινόμενο αυτό καλείται «Θερμόαλος (ή Αλοθερμική) Κυκλοφορία» και εξυπηρετεί στην ισορροπία του θαλάσσιου συστήματος, όταν αυτό δέχεται γλυκό νερό.

Στο βάθος του Αρκτικού ωκεανού υπάρχουν μεγάλες ποσότητες θερμού νερού το οποίο χωρίζεται με ένα στρώμα επιφανειακού νερού από το θαλάσσιο πάγο. Αυτό το αρκτικό αλοκλινές στρώμα βυθίζεται καθώς αυξάνεται η πυκνότητά του από την απελευθέρωση αλατιού κατά το σχηματισμό του πάγου. Αν δεν υπήρχε, το βαθύ θερμό νερό θα τον έλιωνε.



Σχήμα 1.2.4. Αρκτικό αλοκλινές.

Πηγή: <https://www.whoi.edu/multimedia/arctic-halocline/>

Στην Αρκτική, το επιφανειακό γλυκό νερό το οποίο προέρχεται από την τήξη του πάγου, την ποτάμια απορροή και τα κατακρημνίσματα κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα. Ωστόσο, ενώ η διεπιφάνεια που χωρίζει το γλυκό από το αλμυρό νερό θα έπρεπε να βυθίζεται σε μεγαλύτερο βάθος, αυτό δεν συμβαίνει στην περιοχή του «Στροβίλου του Μποφόρ».

Στρόβιλος του Μποφόρ

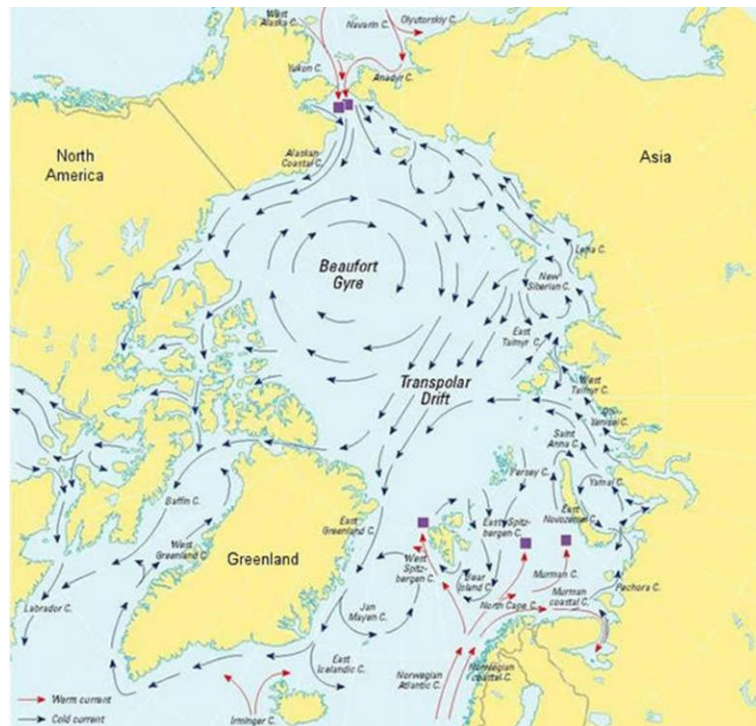
Ο «Στρόβιλος του Μποφόρ» (Beaufort Gyre) είναι ένα κυκλικό θαλάσσιο ρεύμα στον Αρκτικό Ωκεανό. Κινείται δεξιόστροφα με τη βοήθεια του ανέμου και συλλέγει γλυκό νερό προερχόμενο από την τήξη των παγετώνων, την απορροή και τα κατακρημνίσματα. Είναι σημαντικός ρυθμιστής του κλίματος και ο κύριος παράγοντας σχηματισμού του αρκτικού πάγου. Το γλυκό νερό που μεταφέρει, επιπλέει ανάμεσα στο αλμυρό θαλασσινό νερό και αποτρέπει το λιώσιμο του θαλάσσιου πάγου. Στη συνέχεια, το ρεύμα απελευθερώνει με πολύ αργούς ρυθμούς γλυκό νερό στον Ατλαντικό Ωκεανό κι από εκεί μεταφέρεται σε όλο τον κόσμο.

Ωστόσο, από την τελευταία περίπου εικοσαετία, ο «Στρόβιλος του Μποφόρ» άρχισε να συσσωρεύει τεράστιες ποσότητες γλυκού νερού, γεγονός που οφείλεται στην τήξη του θαλάσσιου πάγου κατά τη θερινή και φθινοπωρινή περίοδο (NASA 2020d). Το λιώσιμο των πάγων οφείλεται σε δύο κύριους μηχανισμούς: την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και της εξάχνωσης του πάγου λόγω της μείωσης της νεφοκάλυψης. Συνεπώς, το θαλάσσιο ρεύμα δέχεται μεγαλύτερη επίδραση από τους ανέμους, με αποτέλεσμα να γίνεται ασθενέστερο και να παγιδεύει στο εσωτερικό του το γλυκό νερό. Αυτό με τη σειρά του δεν μπορεί να βυθιστεί όπως

προαναφέρθηκε και η αιτία είναι η έντονη δραστηριότητα των δινών που σχηματίζονται και δέχονται ισχυρότερη επίδραση από τον αέρα.

Λόγω των δινών αναμειγνύονται τα στρώματα του νερού, με αποτέλεσμα οι μεγάλες ποσότητες θερμού νερού στο βάθος του Αρκτικού Ωκεανού να ακολουθήσουν μια ανοδική πορεία και να συμβάλουν στη ταχύτερη τήξη του αρκτικού πάγου.

Ακόμα, έχει διαπιστωθεί πως οι δυτικοί άνεμοι (westerlies winds) κυριεύουν στην περιοχή τα τελευταία χρόνια, γεγονός που δεν συνέβαινε παλαιότερα, και ενισχύουν τη δεξιόστροφη και ταχύτερη κυκλοφορία του ρεύματος. Σε περίπτωση που η διεύθυνση των ανέμων αλλάξει, τότε ο «Στρόβιλος του Μποφόρ» θα απελευθερώσει όλη την ποσότητα γλυκού νερού που κατακρατεί στον Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, επιφέροντας μεγάλες μεταβολές σε ολόκληρο τον πλανήτη. Για παράδειγμα, το θερμό θαλάσσιο ρεύμα θα επηρεαστεί αν απελευθερωθεί το ψυχρό γλυκό νερό και θα οδηγήσει στην ψύξη της Ευρωπαϊκής ηπείρου.



Σχήμα 1.2.5. «Στρόβιλος του Μποφόρ».

Πηγή: <http://northmeteo.gr/poy-mporei-na-ofeilontai-akraies-katastaseis-stin-eyropi-opos-oi-fetines/>

1.2.5 Έκλυση εγκλωβισμένου μεθανίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τήξη των αρκτικών πάγων λόγω της παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ποσοτήτων χημικών στοιχείων και ενώσεων ηλικίας ακόμα και 2.000-43.000 ετών που ήταν εγκλωβισμένα στο εσωτερικό τους. Μάλιστα, η Αρκτική διαθέτει στα στρώματα της τα μεγαλύτερα αποθέματα άνθρακα στον πλανήτη και μία από τις χημικές του ενώσεις που απελευθερώνονται είναι το μεθάνιο (CH₄).

Ένα μέρος του μεθανίου εκλύεται με αργούς ρυθμούς από τη φυσιολογικού ρυθμού τήξη του αρκτικού παγετώνα, αλλά η μεγαλύτερη και πιο ανησυχητική ποσότητα απελευθερώνεται από περιπτώσεις απότομης υποχώρησής του. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κάτω από μία ειδική κατηγορία λιμνών, γνωστές ως θερμοκαρστικές λίμνες.

Οι θερμοκαρστικές λίμνες σχηματίζονται όταν υποχωρεί ένα πέρμαφροστ και αναπτύσσονται όσο το θερμό νερό στο εσωτερικό τους λιώνει τον πάγο στον πυθμένα τους. Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, η υγρή περίοδος ξεκινάει νωρίτερα και έχει μεγαλύτερη διάρκεια με αποτέλεσμα τα συγκεκριμένα κοιλάματα να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και να απελευθερώνουν μεγάλη ποσότητα άνθρακα μέχρι να ξαναπαγώσει το υποκείμενο στρώμα πάγου. Μεγαλύτερη ποσότητα θερμοκηπικών αερίων απελευθερώνεται την άνοιξη, μόλις αρχίσει η τήξη του πάγου, και στα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη.



Σχήμα 1.2.6. Θερμοκαρστικές λίμνες στη Δυτική Σιβηρία.

Πηγή: <https://arctic.ru/news/20190423/849864.html>

Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι η απότομη υποχώρηση του παγετώνα λόγω της παραπάνω διαδικασίας αυξάνει την έκλυση μεθανίου από το έδαφος κατά 125-190% (NASA 2020e). Ακόμα, όμως τα κλιματικά μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψη την απελευθέρωση του μεθανίου με αυτόν τον τρόπο.

1.3 Έκταση Αρκτικού Παγοκαλύμματος

Η έκταση του παγοκαλύμματος της Αρκτικής παρουσιάζει δραματική μείωση τα τελευταία χρόνια. Η συνεχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας του αέρα έχει ως συνέπεια

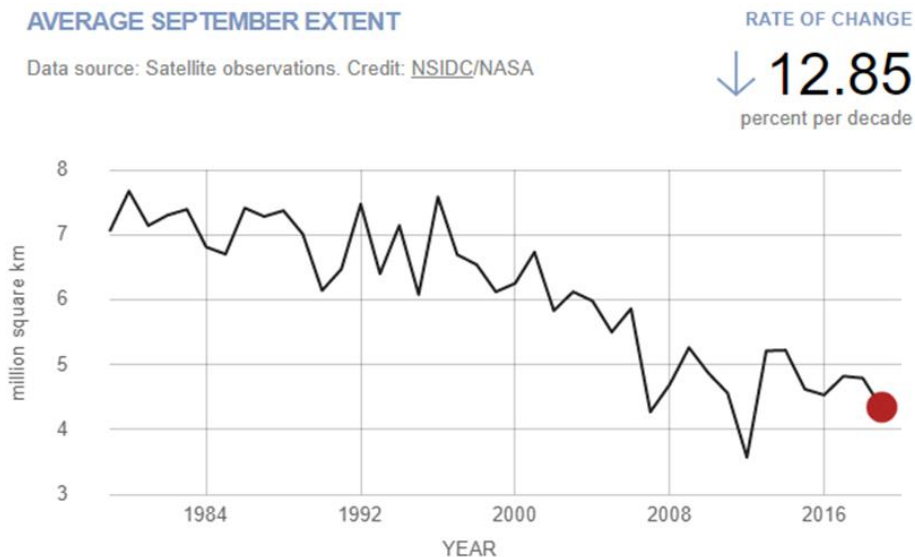
το άλλοτε παχύ στρώμα σκληρού παλιού χιονιού (μεγαλύτερο των 4 ετών) να μετατραπεί σε ένα λεπτό και εύθραυστο στρώμα νέου χιονιού.

Σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, το Μάρτιο του 1985 το στρώμα παλαιού χιονιού συνιστούσε το 33% του παγοκαλύμματος, ποσοστό το οποίο μειώθηκε σε 1,2% το Μάρτιο του 2019.

Όπως είναι φυσιολογικό, η νέα αυτή κατάσταση έχει τεράστια επίδραση στους πληθυσμούς της περιοχής. Η αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας συνεπάγεται και με άνοδο της θερμοκρασίας των ωκεανών. Έτσι, το ψάρεμα- η βασική πηγή τροφής των ιθαγενών κοινοτήτων έγινε πιο επικίνδυνη και δύσκολη, λόγω του λεπτού στρώματος πάγου και του γεγονότος ότι οι θαλάσσιοι οργανισμοί μετανάστευσαν σε περιοχές με ψυχρότερα νερά αντίστοιχα.

Η ελάχιστη έκταση του παγοκαλύμματος της Αρκτικής παρατηρείται τον 9^ο μήνα του χρόνου. Το Σεπτέμβριο του 2019, η έκταση του παγοκαλύμματος σημείωσε την μικρότερη τιμή της για το συγκεκριμένο έτος και τη δεύτερη μικρότερη τιμή μαζί με τα έτη 2007 και 2016.

Το 2012 ήταν το έτος με τη μικρότερη έκταση του παγοκαλύμματος. Σημαντικό αίτιο αυτής της μείωσης του πάγου αποτέλεσε μία ισχυρή καταιγίδα που έλαβε χώρα τον Αύγουστο στη Θάλασσα Μποφόρ και απέσπασε ένα μεγάλο τμήμα του πάγου. Στη συνέχεια αυτό έλιωσε εξ ολοκλήρου (Simmonds and Rudeva, 2012). Ωστόσο, σύμφωνα με την ομάδα ερευνητών Zhang et al. (2013), το 2012 θα καταγραφόταν το ελάχιστο του παγοκαλύμματος ακόμα και χωρίς την καταιγίδα.



Σχήμα 1.3.1. Ρυθμός μεταβολής της έκτασης του παγοκαλύμματος το μήνα Σεπτέμβριο των τελευταίων δεκαετιών.

Πηγή: NASA, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>

Τα δεδομένα κάνουν λόγο για μείωση του παγοκαλύμματος 12,85% αυτή τη δεκαετία σε σχέση με το μέσο ρυθμό μεταβολής της περιόδου 1981-2010 (NASA 2020f).

Πίνακας 3.1. Τα έτη με τη μικρότερη έκταση παγοκαλύμματος (NSIDC 2020d)

Βαθμίδα	Έτος	Έκταση παγοκαλύμματος (km ²)
1	2012	3.6
2	2019	4,3
	2007	4,3
	2016	4,5
5	2011	4,6

1.3.1 Επίδραση μείωσης παγοκαλύμματος στον καιρό και το κλίμα

Έρευνες έδειξαν ότι η μείωση του παγοκαλύμματος έχει επηρεάσει τον καιρό και το κλίμα πολλών περιοχών του πλανήτη. Η επίδραση αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες: την τοπική και την μη τοπική. Η πρώτη αναφέρεται σε περιοχές στις οποίες απαντώνται πάγοι, οι οποίοι τα τελευταία χρόνια είτε έχουν εξασθενήσει είτε ένα μεγάλο μέρος τους έχει λιώσει. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν μέρη του κόσμου χωρίς την παρουσία πάγων τους τελευταίους δύο αιώνες.

Οι συνέπειες που προκύπτουν στην ατμόσφαιρα από τη μείωση της έκτασης του πάγου διαφέρουν ανάλογα με την εποχή του χρόνου και είναι μεγαλύτερες κατά την καλοκαιρινή και φθινοπορινή περίοδο. Σε περιοχές με παγοκάλυψη παρατηρείται μεγαλύτερη ροή αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας και μεγαλύτερη εκπομπή μεγάλου κύματος ακτινοβολίας από τη θάλασσα. Αρκετοί επιστήμονες κάνουν λόγο και για τοπική αύξηση της νεφοκάλυψης κι όλων των συντελεστών του υδατικού ισοζυγίου και μείωση της θερμοκρασιακής αναστροφής το φθινόπωρο και τις αρχές του χειμώνα ως αποτέλεσμα της μείωσης της έκτασης του παγοκαλύμματος.

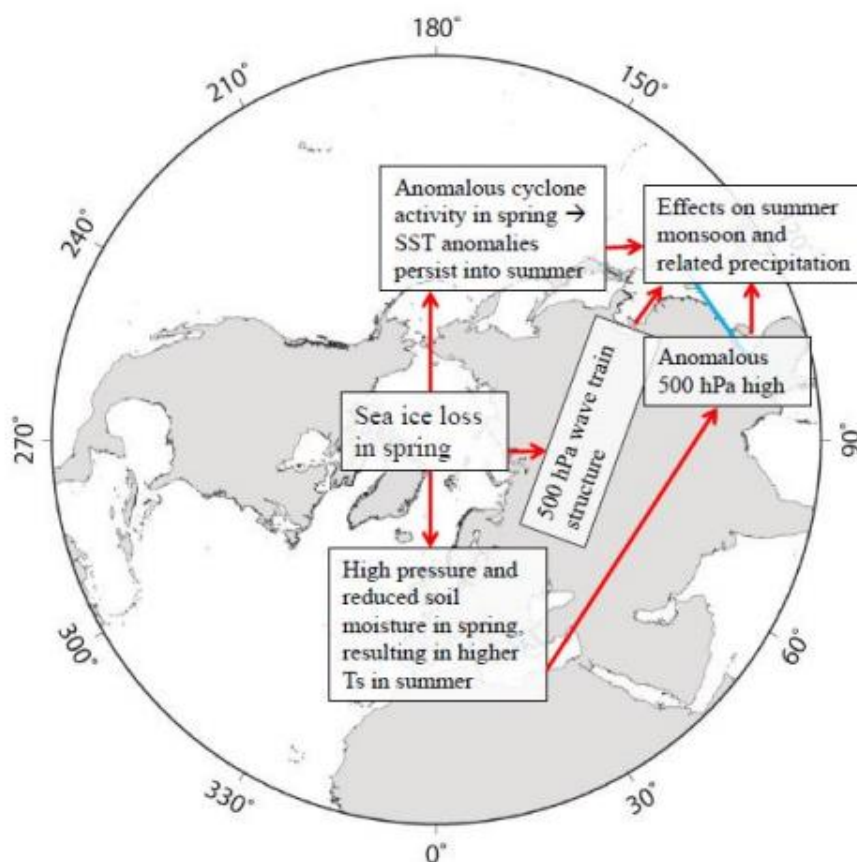
Αντίθετα, σε περιοχές όπου απουσιάζουν οι πάγοι η κατάσταση είναι πολύπλοκότερη και ακόμα δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως η επίδραση στον καιρό των βορειότερων μέσων γεωγραφικών πλακών.

Μεγαλύτερη σημασία για την ατμόσφαιρα έχει η παρουσία ή μη χιονιού πάνω από τον πάγο (Vihma et al., 2002; Cheng et al., 2013). Η ποιότητα και ποσότητα του πάγου καθορίζει το ρυθμό τήξης του παγετώνα, επομένως και της ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που θα απορροφήσει η περιοχή.

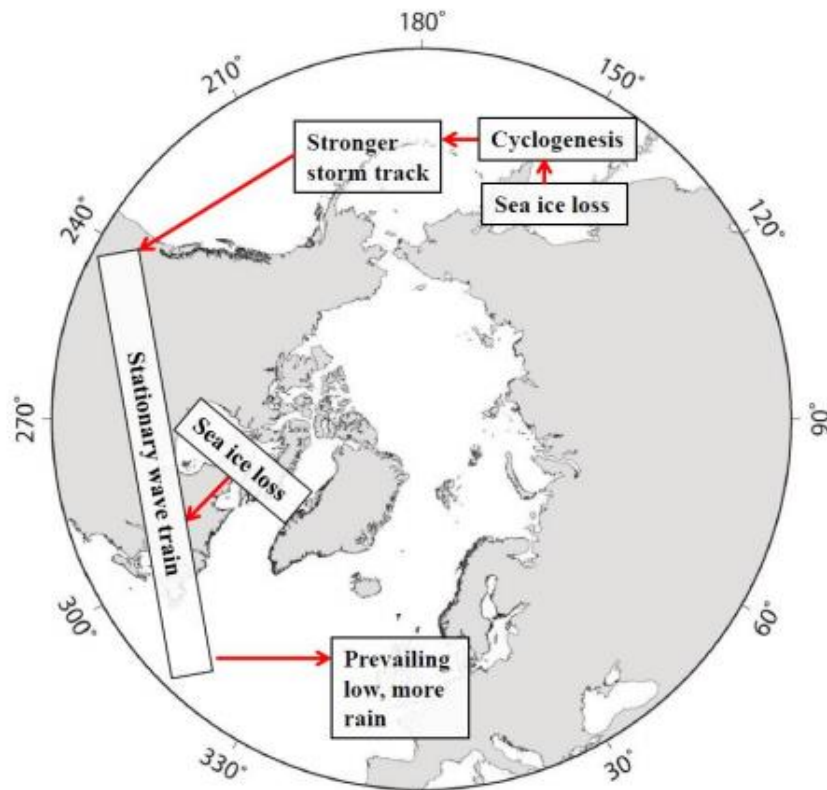
Η διάρκεια της περιόδου τήξης είναι άλλη μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ατμόσφαιρα. Τα τελευταία χρόνια, η περίοδος αυτή ξεκινάει νωρίτερα και τελειώνει αργότερα κάθε χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο παγετώνας να απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας και να μην μπορεί να ανακάμψει στο αρχικό του μέγεθος, μειώνοντας την έκτασή του κάθε έτος.

Ακόμα, διαπιστώθηκε πως λόγω της μείωσης του αριθμού των χιονοπτώσεων και της αύξησης των βροχοπτώσεων στην Αρκτική, λεπτύνει το πάχος της παγοκάλυψης και αυξήθηκαν τα κομμάτια θαλάσσιου πάγου, ο οποίος ωστόσο έχει μικρότερη ανακλαστικότητα από το παγοκάλυμμα και επηρεάζεται περισσότερο από τον άνεμο.

Γίνονται πολλές έρευνες σχετικές με την αλληλεπίδραση της μείωσης του παγοκαλύμματος με άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα σε όλο τον κόσμο. Για παράδειγμα, επιστήμονες προσπαθούν να συνδέσουν τη μεταβαλλόμενη κατάσταση της Αρκτικής με τους μουσώνες της Ασίας, αλλά με τις καλοκαιρινές βροχοπτώσεις στην Ευρώπη.



Σχήμα 1.3.2. Σύνδεση μείωσης έκτασης παγοκαλύμματος με τους Μουσώνες.
(Zhao et al. (2004), Wu et al. (2009), Guo et al. (2013))



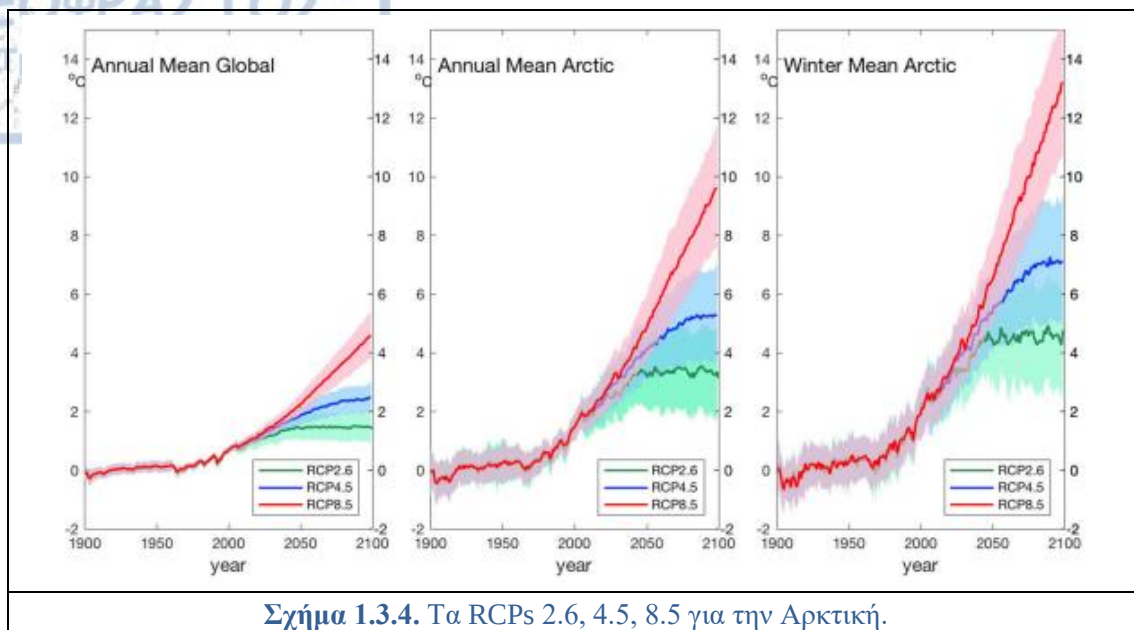
Σχήμα 1.3.3. Σύνδεση της μείωσης έκτασης παγοκαλύμματος με τις θερινές βροχοπτώσεις στην Ευρώπη.

(Screen (2013), Mesquita et al. (2011), Wu et al. (2013))

1.3.2 Μελλοντικές προβλέψεις για την Αρκτική

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται μεγαλύτερη άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη από τη φυσιολογική λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων. Σύμφωνα με τους επιστήμονες, σκοπός είναι αυτή η αύξηση να μην υπερβεί τους 2 °C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (IPCC, 2018; UNFCCC, 2015; Boucher et al., 2016; Hulme, 2016; Sigmond et al., 2018). Ωστόσο, ακόμα κι αν επιτευχθεί αυτός ο στόχος, η μέση θερμοκρασία της Αρκτικής θα αυξηθεί περίπου 4 °C μέχρι το 2050.

Για την πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών του κλίματος, χρησιμοποιούνται τα «Αντιπροσωπευτικά Μονοπάτια Συγκέντρωσης» (RCPs) τα οποία αποτελούν σενάρια εκπομπών θερμοκηπικών αερίων. Υπάρχουν 4 RCPs το καθένα από τα οποία περιγράφει ένα διαφορετικό μελλοντικό κλιματικό σενάριο.



Σχήμα 1.3.4. Τα RCPs 2.6, 4.5, 8.5 για την Αρκτική.

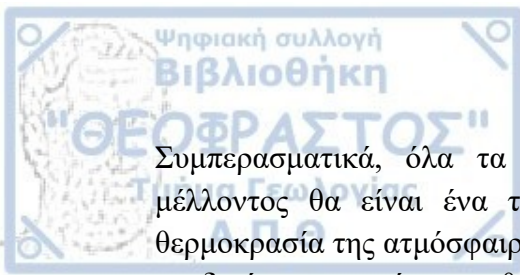
Σύμφωνα με το σενάριο RCP 4.5, που αποτελεί και μία πιθανή εξέλιξη της κλιματικής κατάστασης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας θα έχει φτάσει τους περίπου 2 °C το 2100, ενώ η Αρκτική θα έχει φτάσει τη συγκεκριμένη θερμοκρασία το 2050.

Όπως είναι αναμενόμενο, η παραπάνω μεταβολή θα επιφέρει τεράστιες αλλαγές στο οικοσύστημα της Αρκτικής. Το RCP 4.5 κάνει λόγο για σοβαρές απώλειες χιονιού και παγωμένου εδάφους, αλλά και θαλάσσιου και χερσαίου πάγου.

Ειδικότερα, καθώς η θερμοκρασία θα ανεβαίνει, η διάρκεια της χιονοκάλυψης προβλέπεται να μειωθεί κατά 10-20% μέχρι το 2050 και το φαινόμενο αυτό θα συνεχίσει αν και θα μπορέσει να σταθεροποιηθεί από την ενδεχόμενη μείωση εκπομπής θερμοκηπικών αερίων. Τα μοντέλα δείχνουν ότι θα παρατηρείται άνοδος των κατακρημνισμάτων, αλλά περισσότερα υπό τη μορφή βροχής και λιγότερο χιονιού. Το παγωμένο έδαφος προβλέπεται να μειωθεί κατά 20% μέχρι τα μέσα του αιώνα (Arzhanov et al., 2013; Slater and Lawrence, 2013).

Ο θαλάσσιος πάγος φαίνεται ότι θα μειωθεί δραματικά σύμφωνα με το RCP 4.5. Μάλιστα, πιθανολογείται η μερική ή ολική εξαφάνισή του την καλοκαιρινή περίοδο κοντά στο τέλος του 21^{ου} αιώνα. Επίσης, ο χερσαίος πάγος, επειδή ανταποκρίνεται στις κλιματικές αλλαγές με χαμηλότερους ρυθμούς από ότι ο θαλάσσιος, θα συνεχίσει να μειώνεται ακόμα κι αν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας δεν υπερβεί τους 2°C και θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να σταθεροποιηθεί η μείωσή του.

Ενδιαφέρον ακόμα προκαλεί το γεγονός πως ενώ το μεθάνιο που προέρχεται από την υποχώρηση των παγετώνων τώρα αποτελεί μόνο το 1% του συνόλου του μεθανίου που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το ποσοστό θα αυξηθεί δραματικά μέχρι τη μέση-τέλος του αιώνα, φτάνοντας τα επίπεδα της δεύτερης ανθρωπογενούς πηγής έκλυσης θερμοκηπικών αερίων που είναι η χρήση γης.



Συμπερασματικά, όλα τα κλιματικά σενάρια προβλέπουν ότι η Αρκτική του μέλλοντος θα είναι ένα τελείως διαφορετικό περιβάλλον από το σημερινό. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και η υγρασία θα εξακουλουθούν να ακολουθούν την ανοδική τους πορεία και ο θαλάσσιος πάγος θα συνεχίσει να λιώνει. Οι μεταβολές της περιοχής θα ασκούν μεγάλη επίδραση στο κλίμα του υπόλοιπου πλανήτη η οποία ακόμα δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια.

1.4 Στόχος Εργασίας

Όπως έχει γίνει αντιληπτό από το πρώτο μέρος της εργασίας, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ένα τμήμα της παγκόσμιας θέρμανσης μπορεί να αποδοθεί σε φυσικούς παράγοντες, ωστόσο μόνο σε ένα μικρό ποσοστό. Ο κύριος λόγος που έχει οδηγήσει σε αυτό το ραγδαίο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας είναι η εξέλιξη των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η οικιακή θέρμανση, τα μέσα μεταφοράς, η παραγωγή ενέργειας, αλλά και οι βιομηχανίες αποτελούν τις σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής θερμοκηπικών αερίων.

Η άνοδος της θερμοκρασίας φαίνεται να επηρεάζει και το βορειότερο τμήμα του πλανήτη, την περιοχή της Αρκτικής. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των διακυμάνσεων της έκτασης του αρκτικού παγοκαλύμματος κατά τη χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1980-2019, το οποίο σημειώνει δραματική μείωση της έκτασής του τη σημερινή εποχή λόγω της κλιματικής αλλαγής.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

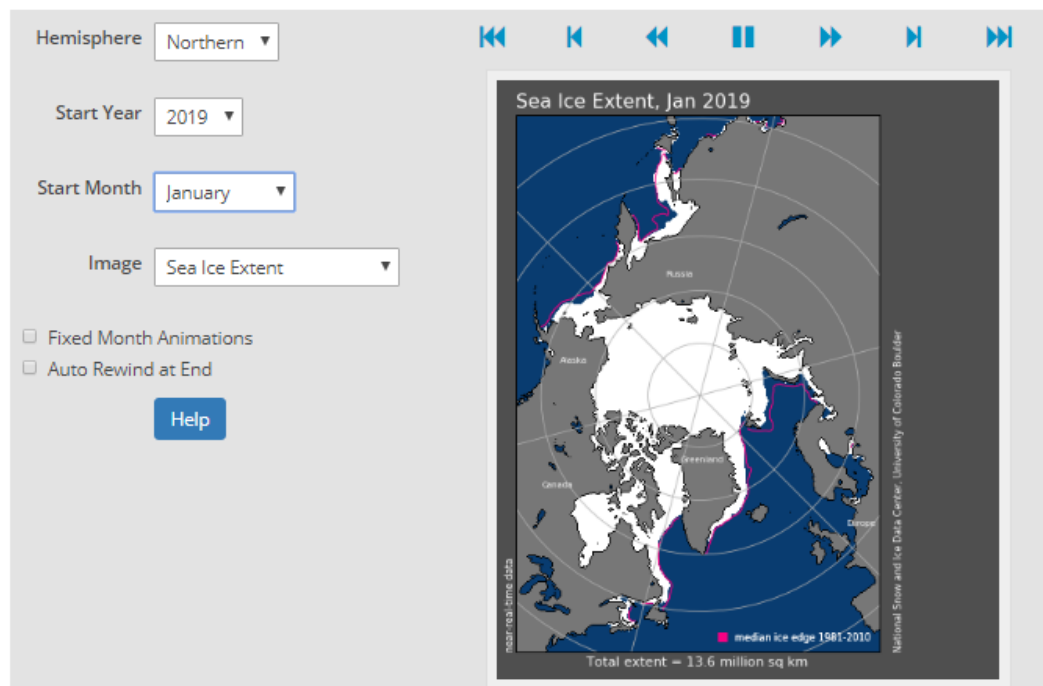
2.1 Δεδομένα

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και χάρτες του αμερικανικού κέντρου δεδομένων «National Snow and Ice Data Center» (NSIDC) που αφορούν στην έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος.

Sea Ice Index Animation Tool

Animate Monthly Extent, Concentrations, Anomalies, and Trends

Note: There is a bug in the code for this animation that is causing it to fail to recognize when the animation should stop. Thus, when you get to the end of the animation, the image will disappear and the words "Sea Ice Image" will be in its place.

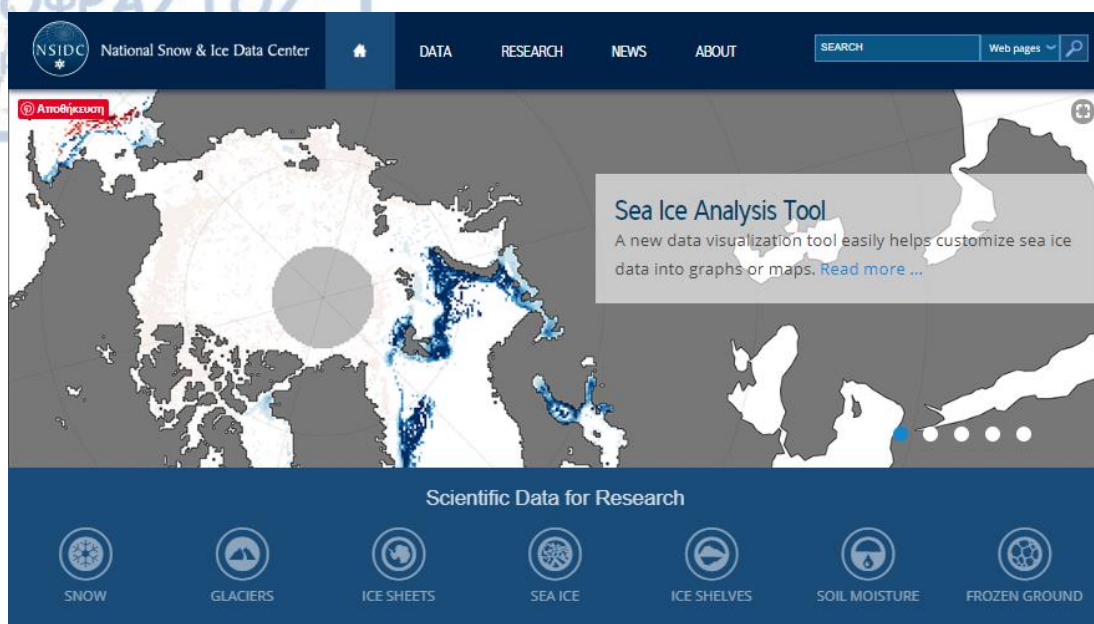


Σχήμα 2.1.1. Η πλατφόρμα στην ιστοσελίδα του NSIDC, από την οποία πάρθηκαν οι χάρτες.

Πηγή: https://nsidc.org/data/seaice_index/archives/image_select

Το εν λόγω κέντρο έχει ως πεδίο έρευνας την κρυόσφαιρα. Ερευνά και μελετά όλα τα χαρακτηριστικά που αφορούν τα παγωμένα περιβάλλοντα, όπως η χιονοκάλυψη, οι παγετώνες και τα παγοκαλύμματα. Ιδρύθηκε το 1976 ως απλά ένα κέντρο που παρείχε ψηφιακά δεδομένα για την κρυόσφαιρα, ενώ σήμερα προσφέρει πιο σύγχρονα δεδομένα (δορυφορικά) και εύχρηστα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από επιστήμονες παγκοσμίως.

Στην ιστοσελίδα του NSIDC μπορεί κανείς να αναζητήσει ενδεικτικά δεδομένα που αφορούν το χιόνι, τους παγετώνες, τα παγοκαλύμματα, το θαλάσσιο πάγο. Ακόμα, διαθέτει δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες σχετικές με το αντικείμενο της κρυόσφαιρας.



Πηγή: <https://nsidc.org/>

Monthly/Seasonal Climate Composites

Plot seasonal composites (averages) of the mean or anomalies (mean - total mean) of variables from the NCEP reanalysis and other datasets. NCEP data is available from **Jan 1948** to **Apr 2020**. Other datasets have different time ranges. Note the climatology used for the anomaly and long term mean plots is now **1981-2010** to match the [new climate normal](#) timeperiod.

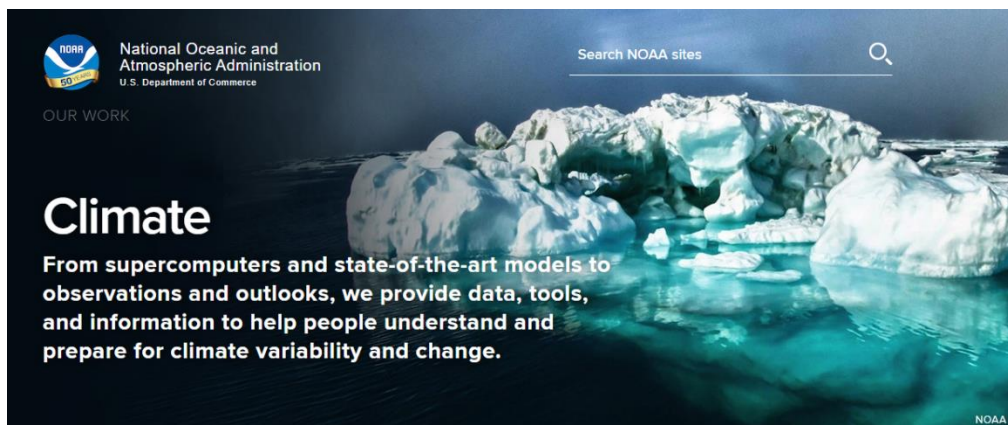
Which variable? **Level?**
Beginning month of season: **Ending month:**
Enter years for composites (from 1 to 20): e.g. 1972. For seasons that span a year (e.g. DJF), please enter year of the **LAST** month.

To subtract one set of years from another, use a minus sign (-) before the years that are to be subtracted.

OR Enter range of years: to (optional minus to)
OR List of years: Enter filename:
OR Years from values in Time Series:
If CUSTOM Time Series:
Value to composite on:
Type of comparison:
Lag: Plot composites for months before or after dates chosen
Color? **Shading:**
Plot type? ☒ Mean ☐ Anomaly ☐ Long Term Mean
Scale plot size (%) **Plot contour labels?** ☐ No ☒ Yes
Reverse colorbar? ☐ No ☒ Yes
Override default contour interval? Interval: Range: low high
Map projection
If CUSTOM projection:

Πηγή: <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>

Η NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) είναι μία υπηρεσία που ασχολείται με φαινόμενα που συμβαίνουν σε όλη τη ζώνη μεταξύ της ατμόσφαιρας και των πυθμένων των ωκεανών. Στόχος της είναι η συλλογή δεδομένων για την κατανόηση της παρελθοντικής ιστορίας της Γης, αλλά και για την πρόβλεψη και εκτίμηση της μελλοντικής της πορείας. Ακόμα, χρησιμοποιώντας νέες πληροφορίες που λαμβάνει συνεχώς, συμβάλλει στο σχεδιασμό μέτρων διαχείρισης παράκτιων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων.



Σχήμα 2.1.4. Ιστοσελίδα της NOAA.

Πηγή: <https://www.noaa.gov/climate>

Το PSL είναι ένα τμήμα της NOAA και ειδικεύεται στην επιστημονική έρευνα των ακραίων καταστάσεων των ατμοσφαιρικών και ωκεάνων φαινομένων και των επιπτώσεων τους. Στοχεύει στη βελτίωση της παρακολούθησης και την πρόβλεψη των κλιματικών, καιρικών και υδάτινων συνθηκών. Στην ιστοσελίδα του, εκτός από δημοσιευμένες εργασίες, μπορεί κανείς να αναζητήσει δεδομένα για το κλίμα, τα νέφη, τον άνεμο, ακόμα και δορυφορικές φωτογραφίες σε ζωντανή αναμετάδοση.



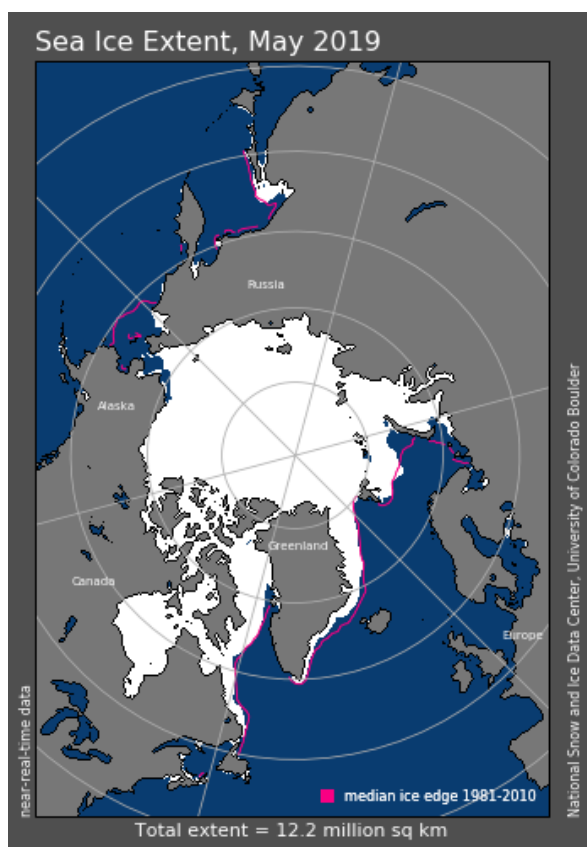
Σχήμα 2.1.5. Αρχική σελίδα της ιστοσελίδας του PSL.

Πηγή: <https://psl.noaa.gov/>

2.2 Μεθοδολογία

Έχουν χρησιμοποιηθεί για το χρονικό διάστημα 1980-2019 χάρτες έκτασης του παγοκαλύμματος και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας που αφορούν στους θερινούς μήνες, από Μάιο έως Σεπτέμβριο, καθώς επίσης και στον Οκτώβριο, πρώτο μήνα της αρκτικής χειμερινής περιόδου. Επιλέχθηκαν συνολικά 480 χάρτες, 240 για κάθε αντικείμενο μελέτης και χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που αφορούν μόνο στην περιοχή της Αρκτικής.

Στους πρώτους χάρτες απεικονίζεται το παγοκάλυμμα ενός μήνα κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου έτους. Παράδειγμα ενός τέτοιου χάρτη αποτελεί το Σχήμα 2.2.1.

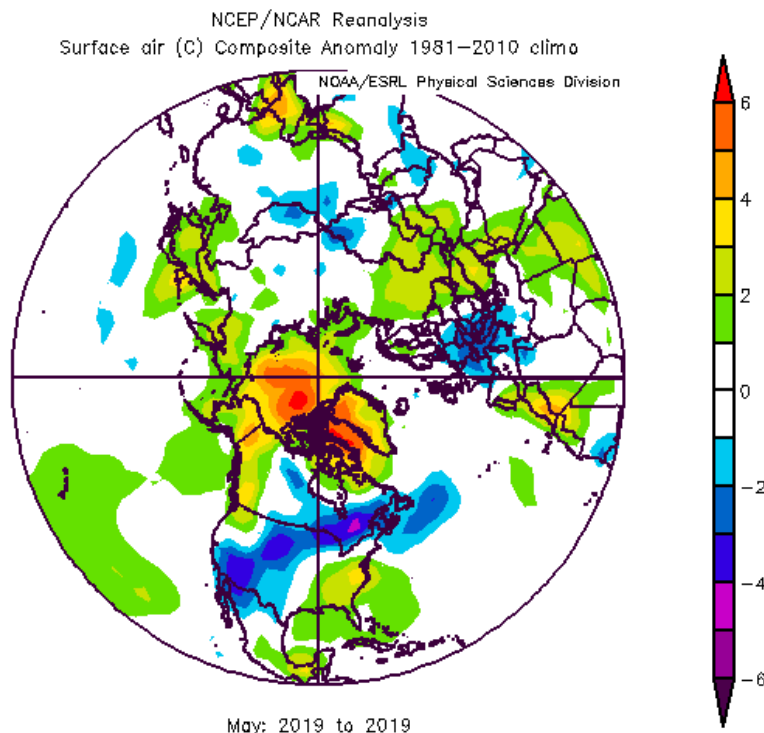


Σχήμα 2.2.1. Χάρτης παγοκαλύμματος (Μάιος 2019).

Πρόκειται για μία προβολή της Γης έχοντας στο κέντρο τον Βόρειο Πόλο. Οι περιοχές με λευκό χρώμα υποδηλώνουν την έκταση του παγοκαλύμματος. Η ροζ γραμμή είναι η μέση έκταση του παγοκαλύμματος για τη περίοδο 1981-2010. Τον Μάιο του 2019, το παγοκάλυμμα εκτεινόταν σε όλον τον αρκτικό ωκεανό και στη θάλασσα του Λαμπραντόρ, αλλά βλέπουμε ότι έχει λιώσει σε μερικές περιοχές όπως ο Βερίγγειος πορθμός. Στο κάτω μέρος του χάρτη εμφανίζεται η έκταση του πάγου σε τετραγωνικά χιλιόμετρα, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι 12.2 εκ. km².

Όσον αφορά στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, επιλέχθηκαν συγκεκριμένες μεταβλητές της πλατφόρμας που είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα της NOAA προκειμένου να εξαχθούν οι επιθυμητοί χάρτες.

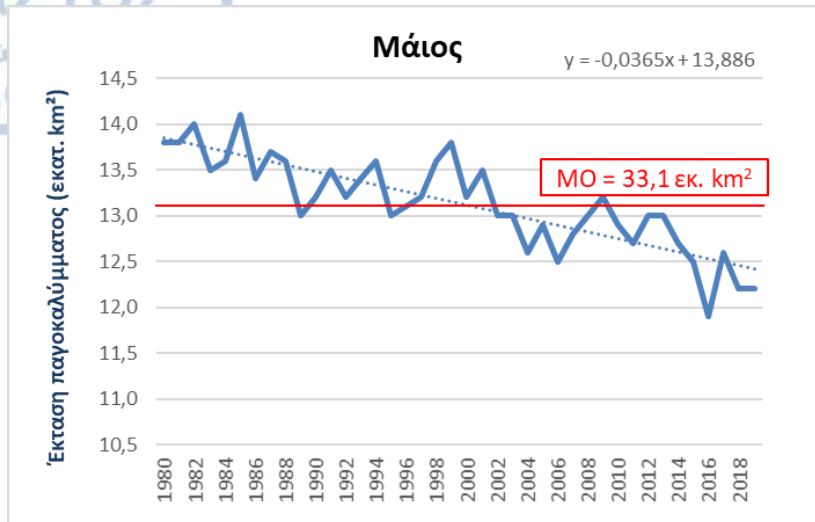
Ειδικότερα, για τα έτη 1980-2019 που αποτελούν αντικείμενο αυτής της μελέτης, ζητήθηκε η απόκλιση της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της Γης για κάθε υπό εξέταση μήνα σε σχέση με τη μέση τιμή, ανά μήνα, της περιόδου 1981-2010. Το Σχήμα 2.2.2 αποτελεί ένα παράδειγμα.



Σχήμα 2.2.2. Χάρτης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (Μάιος 2019).

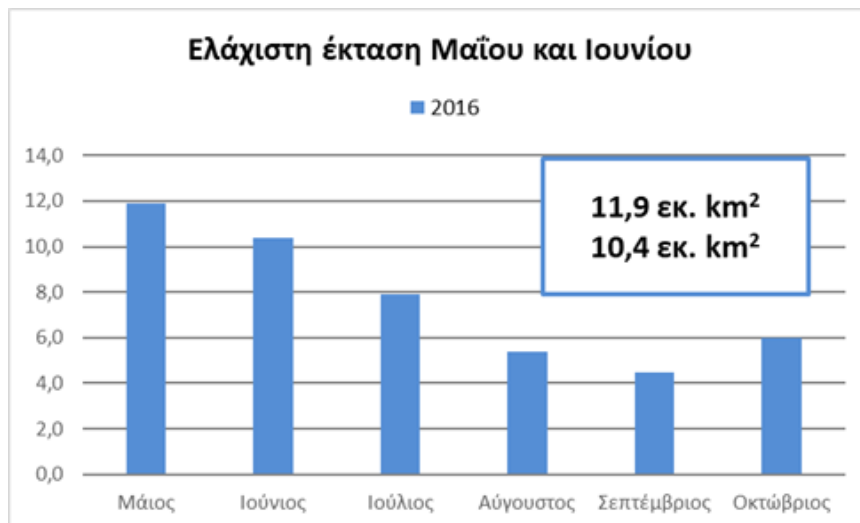
Στον χάρτη απεικονίζεται η θερμοκρασιακή ανωμαλία που παρουσιάζεται τον Μάιο του 2019 σε σχέση με το μέσο όρο της προαναφερθείσας χρονικής περιόδου για κάθε περιοχή του Βορείου Ημισφαιρίου. Στο πλάι υπάρχει μία σειρά από χρωματικές διαβαθμίσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την απόκλιση της θερμοκρασίας το συγκεκριμένο μήνα από τη μέση τιμή των ετών 1981-2010. Παρατηρείται πως ο Αρκτικός ωκεανός εμφανίζει πολύ υψηλές θερμοκρασίες, φτάνοντας την τάξη των +6 °C από τη μέση τιμή σε ένα μέρος του. Σε όλη την έκταση της Αρκτικής η παραπάνω απόκλιση είναι μεγαλύτερη, κάνοντας λόγο για μία δραματική αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή, η οποία, όπως είναι φυσιολογικό, έχει τεράστιες επιπτώσεις στο αρκτικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα της έκτασης του παγοκαλύμματος ανά μήνα για την περίοδο 1980-2019 (Σχήμα 2.2.3). Με μπλε γραμμή παρουσιάζεται η πτωτική τάση της περιοχής παγοκάλυψης και με την κόκκινη γραμμή η μέση τιμή της έκτασης για τον συγκεκριμένο μήνα. Ακόμα, στο δεξί πάνω τμήμα του γραφήματος αναγράφεται η αριθμητική εξίσωση της μείωσης των πάγων.

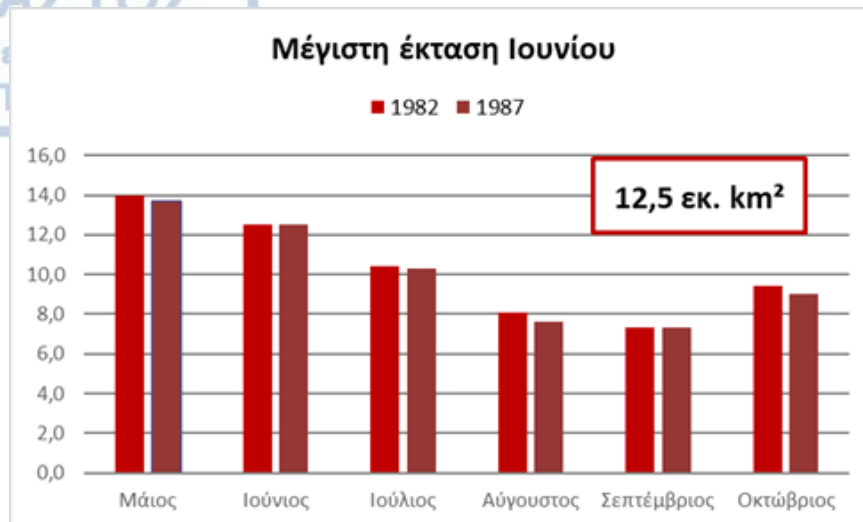


Σχήμα 2.2.3. Διάγραμμα έκτασης παγοκαλύμματος τον Μάιο για το διάστημα 1980-2019.

Επίσης, κατασκευάστηκαν διαγράμματα για κάθε έτος κατά το οποίο σημειώνεται η μέγιστη ή ελάχιστη τιμή του παγοκαλύμματος κάθε μήνα (Σχήμα 2.2.4). Στα δεξιά, αναγράφεται η αντίστοιχη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή της έκτασης. Στην περίπτωση που η μέγιστη ή ελάχιστη παγοκάλυψη ενός μήνα εμφανίζεται σε περισσότερα του ενός έτη, στο γράφημα συγκρίνονται οι τιμές όλων των μηνών των συγκεκριμένων χρόνων (Σχήμα 2.2.5).



Σχήμα 2.2.4. Διάγραμμα ελάχιστης έκτασης παγοκαλύμματος τον Μάιο και τον Ιούνιο για το διάστημα 1980-2019.



Σχήμα 2.2.5. Διάγραμμα σύγκρισης έκτασης παγοκαλύμματος τα έτη 1982 και 1987, κατά τα οποία εμφανίζεται η μέγιστη έκταση του 1980-2019.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΚΤΙΚΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

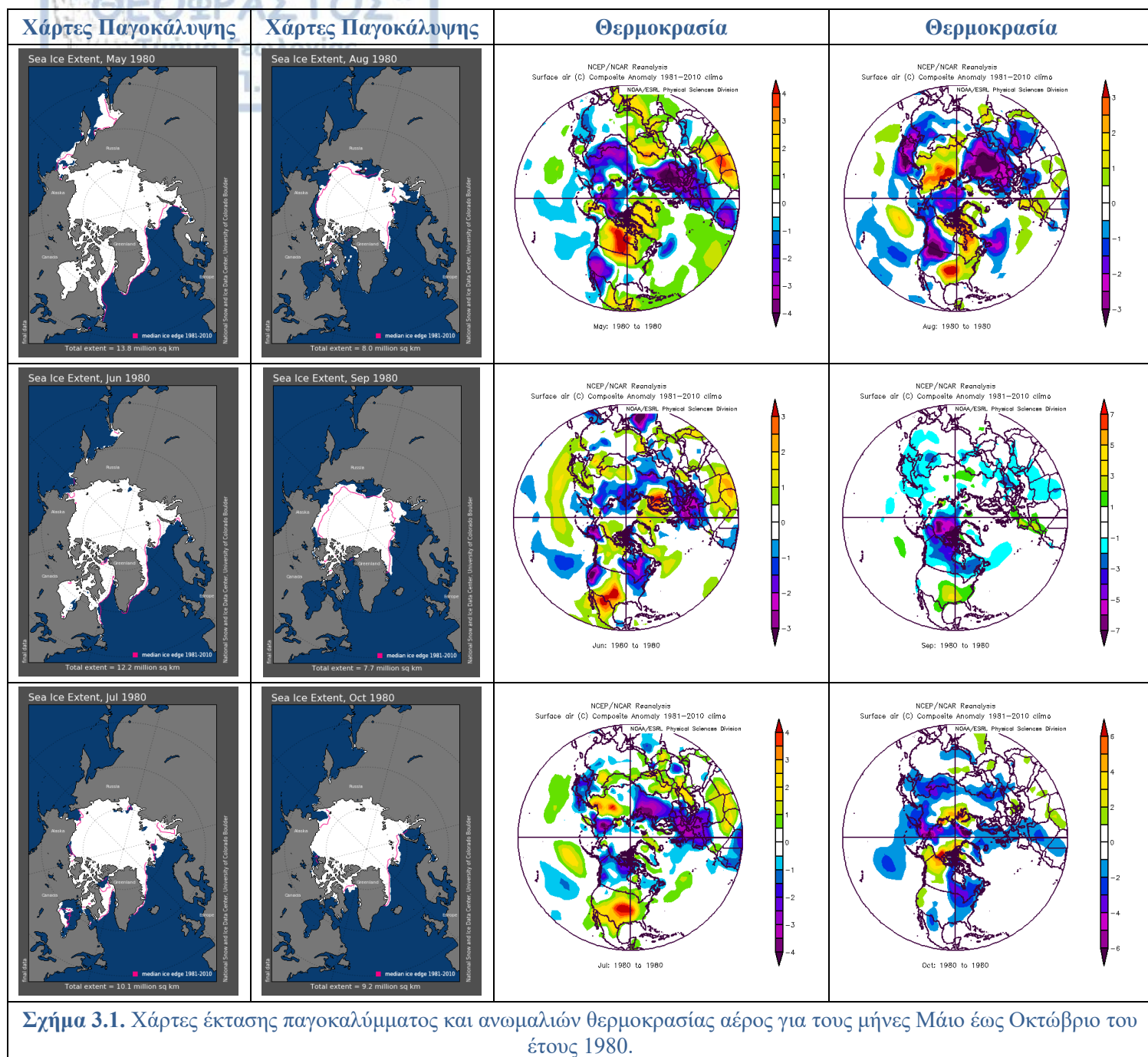
Στη συνέχεια, θα γίνει ανάλυση των χαρτών της έκτασης της αρκτικής ζώνης ανά μήνα και χρόνο καθώς και ανάλυση των ανωμαλιών της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς 1981-2010.

Έτος 1980

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του 1980, η έκταση του παγοκαλύμματος υπερβαίνει τη μέση τιμή έκτασής του για το χρονικό διάστημα 1981-2010. Επίσης, σχεδόν σε όλη την Αρκτική, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζεται 1°C - 2°C χαμηλότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά τα έτη 1981-2010.

Ειδικότερα, το παγοκάλυμμα, τον Μάιο καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,8 εκ. km^2 . Ο πάγος εκτείνεται από τη θάλασσα Κάρα έως το βόρειο τμήμα της Βερίγγεια θάλασσας και την Οχοτσική θάλασσα (θάλασσα που συνήθως δεν είναι παγωμένη αυτή τη περίοδο, Σχήμα 3.1). Ο κόλπος Μπάφιν καθώς ο κόλπος Χάτσον είναι παγωμένοι. Με τη φυσιολογική, λόγω της περιόδου, άνοδο της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά. Τον Σεπτέμβριο το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, οπότε πλέον καταλαμβάνει 7,7 εκ. km^2 . Τον Οκτώβριο, δηλαδή τον πρώτο μήνα κατά τον οποίο η Αρκτική βυθίζεται στο σκοτάδι, η έκταση του παγοκαλύμματος αυξάνεται στα 9,2 εκ. km^2 .

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία μικρή διαφορά από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Το Μάιο η ανωμαλία φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ -2°C - $+2^{\circ}\text{C}$, ενώ μόνο σε ελάχιστες περιοχές παρατηρούνται ακραίες τιμές, όπως -4°C στη Βόρεια Ευρώπη και $+4^{\circ}\text{C}$ στον Βόρειο Καναδά. Οι περιοχές της Βόρειας Σιβηρίας εμφανίζουν θερμοκρασίες μικρότερες από τις μέσες του Μαΐου κατά 3 με 4°C , γεγονός που μπορεί να επηρέασε την εμφάνιση της παγοκάλυψης στη Οχοτσική θάλασσα. Τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο η απόκλιση από τη μέση τιμή κυμαίνεται μεταξύ $-1,5^{\circ}\text{C}$ - $+1,5^{\circ}\text{C}$, ενώ τον Αύγουστο εμφανίζεται μία μέγιστη ανωμαλία $+3^{\circ}\text{C}$ στη βόρεια Ασία. Σημαντική είναι επίσης και η αύξηση της θερμοκρασίας δυτικά της Γροιλανδίας, στη περιοχή ανάμεσα στο κόλπο Χάντσον και το κόλπο Μπάφιν. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο Σεπτέμβριος, ο οποίος είναι ψυχρότερος σε κάποιες περιοχές της Αρκτικής και στον Αρκτικό ωκεανό εμφανίζεται απόκλιση -7°C . Στην αρχή της χειμερινής περιόδου, η θερμοκρασία είναι κατά κύριο λόγο 2°C ψυχρότερη.

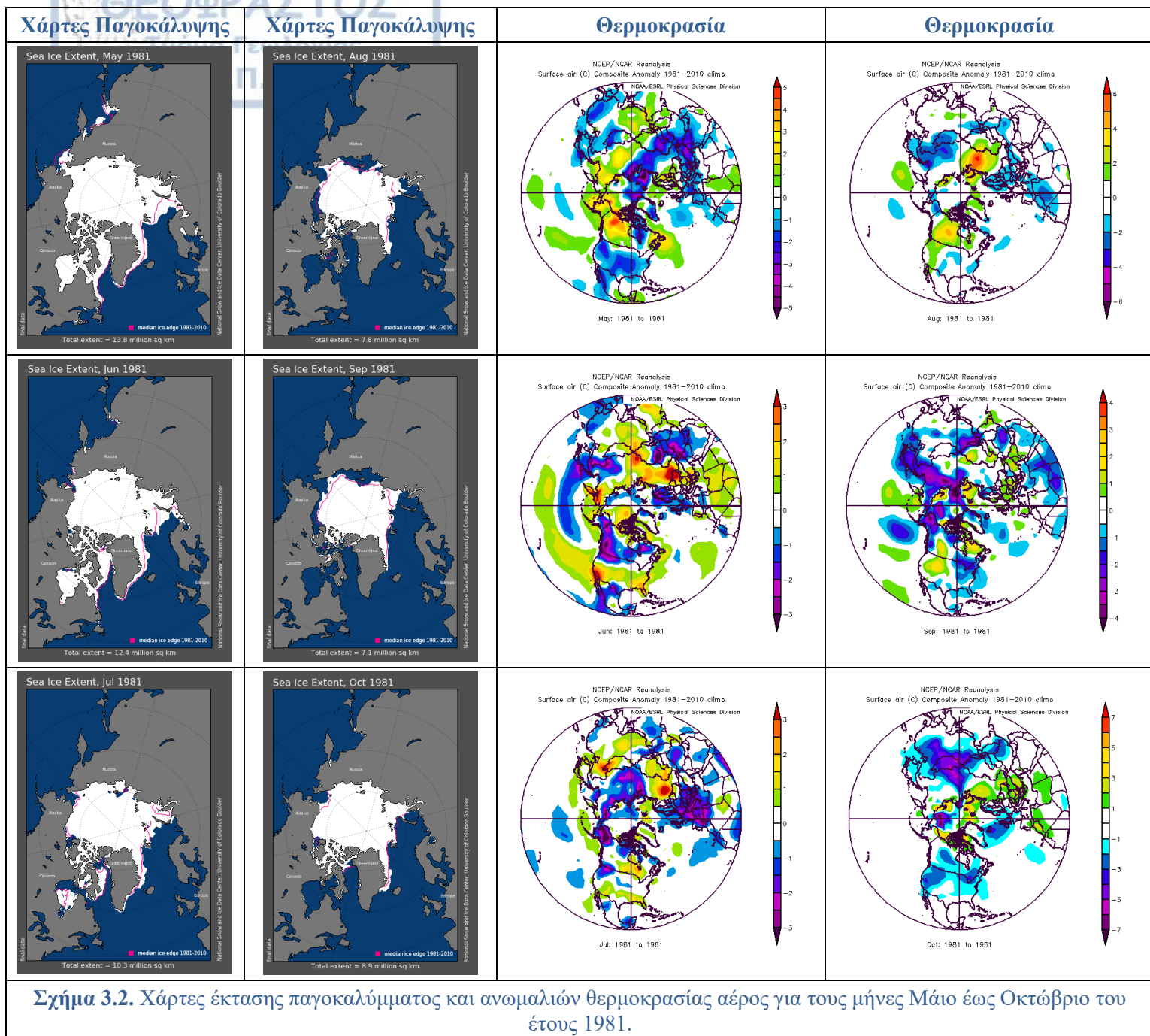


Έτος 1981

Κατά την θερμή περίοδο του 1981, η έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος είναι μεγαλύτερη της μέσης τιμής του για την περίοδο 1981-2010. Το ίδιο έτος, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ -7°C - $+6^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά τα προαναφερθείσα περίοδο (Σχήμα 3.2).

Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καλύπτει μία έκταση $13,8 \text{ εκ. km}^2$, όπως και το έτος 1980. Καταλαμβάνει την περιοχή από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα και την Οχοτσική θάλασσα έως τη θάλασσα Κάρα. Οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν είναι επίσης παγωμένοι. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στη θάλασσα Μπάρεντς, ένα μεγάλο μέρος της οποίας είναι καλυμμένο από το παγοκάλυμμα. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται μέχρι το Σεπτέμβριο, όταν έχει τιμή $7,1 \text{ εκ. km}^2$, και από τον Οκτώβριο αρχίζει να αυξάνεται.

Από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο, οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας εμφανίζουν σημαντική απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010. Τον Μάιο σημειώνεται μία ανωμαλία της τάξης των -5°C - $+5^{\circ}\text{C}$. Ο 270°S μεσημβρινός φαίνεται να χωρίζει τον Καναδά και γενικά τον Αρκτικό Κύκλο σε θερμό δυτικό και ψυχρό ανατολικό τμήμα, δικαιολογώντας τη μεγαλύτερη έκταση παγοκαλύματος στη περιοχή. Ειδικότερα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη Βόρεια Σιβηρία, ενώ οι θερμότερες στη Βόρεια Αμερική. Στη θάλασσα Μπάρεντς υπάρχει παγοκάλυψη, παρά το γεγονός πως η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλότερη κατά 1°C . Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, η απόκλιση από τη μέση τιμή κυμαίνεται μεταξύ -3°C - $+3^{\circ}\text{C}$. Τον Αύγουστο, η ατμόσφαιρα δε διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέση κατάστασή της, με μοναδική εξαίρεση μία μέγιστη ανωμαλία $+4^{\circ}\text{C}$ που σημειώνεται στη Βόρεια Ασία. Αντίθετα, ο Σεπτέμβριος είναι αρκετά ψυχρότερος και σε μερικές περιοχές, κυρίως βόρεια της Σιβηρίας και στη θάλασσα Μποφόρ, σημειώνεται απόκλιση έως -4°C . Ενδιαφέρον παρουσιάζει η θάλασσα Τσούκτσι τον Οκτώβριο, καθώς η απόκλιση της θερμοκρασίας φτάνει τους -7°C .

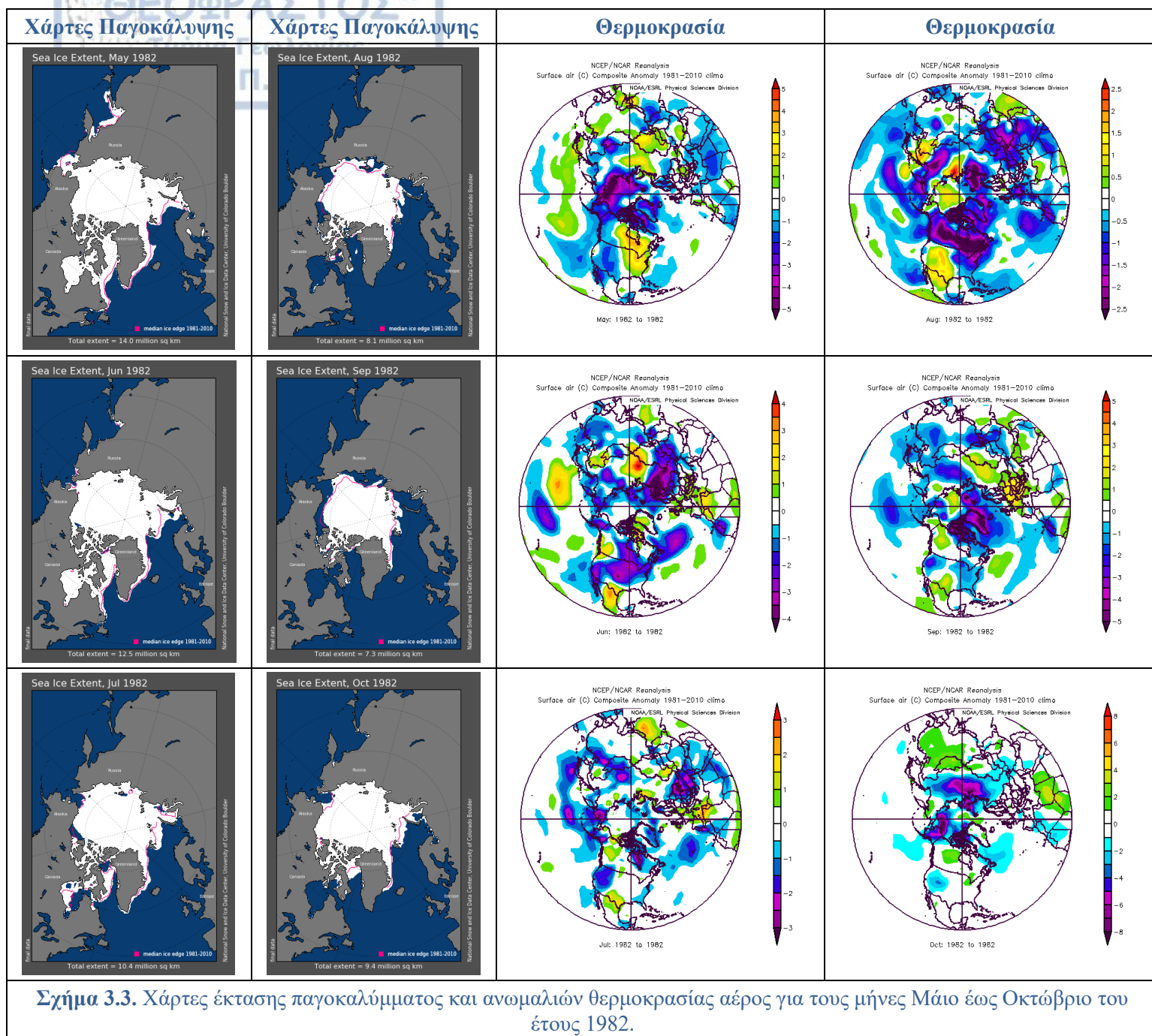


Έτος 1982

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1982, το παγοκάλυμμα υπερβαίνει σε κάποια σημεία τη μέση έκτασή του για το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η ατμόσφαιρα είναι αρκετά ψυχρότερη από τη μέση κατάστασή της κατά τα έτη 1981-2010.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας. Καλύπτει έκταση 14,0 εκ. km², μεγαλύτερη από τα έτη 1980 και 1981. Όπως τα προηγούμενα δύο έτη, μέρος της Οχοτσικής θάλασσας και της θάλασσας Μπάρεντς είναι επίσης παγωμένα (Σχήμα 3.3). Το ίδιο συμβαίνει και με τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει μία περιοχή 7,3 εκ. km². Τον Οκτώβριο, αρχίζει να αυξάνεται, κυρίως προς τον κόλπο Μπάφιν και τη θάλασσα Μπάρεντς.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει χαμηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο και τον Ιούνιο, παρουσιάζεται μία απόκλιση έως -5°C στη θάλασσα Τσούκτσι τον πρώτο μήνα και έως -4°C στη Βόρεια Σιβηρία τον δεύτερο. Τους επόμενους δύο μήνες, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ -3°C - +2,5°C με τον Καναδά, τη Γροιλανδία και τη περιοχή βόρεια της Σκανδιναβίας να εμφανίζει θερμοκρασίες έως και -2.5°C κατά τη διάρκεια του Αυγούστου. Τον Σεπτέμβριο, η θερμοκρασιακή ανωμαλία φτάνει τους -5°C στη θάλασσα της Γροιλανδίας έως +3°C στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι θάλασσες Μποφόρ και Τσούκτσι κατά τη διάρκεια του τελευταίου μήνα της θερμής περιόδου, στις οποίες σημειώνεται απόκλιση της θερμοκρασίας έως -8°C της αντίστοιχης μέσης τιμής.



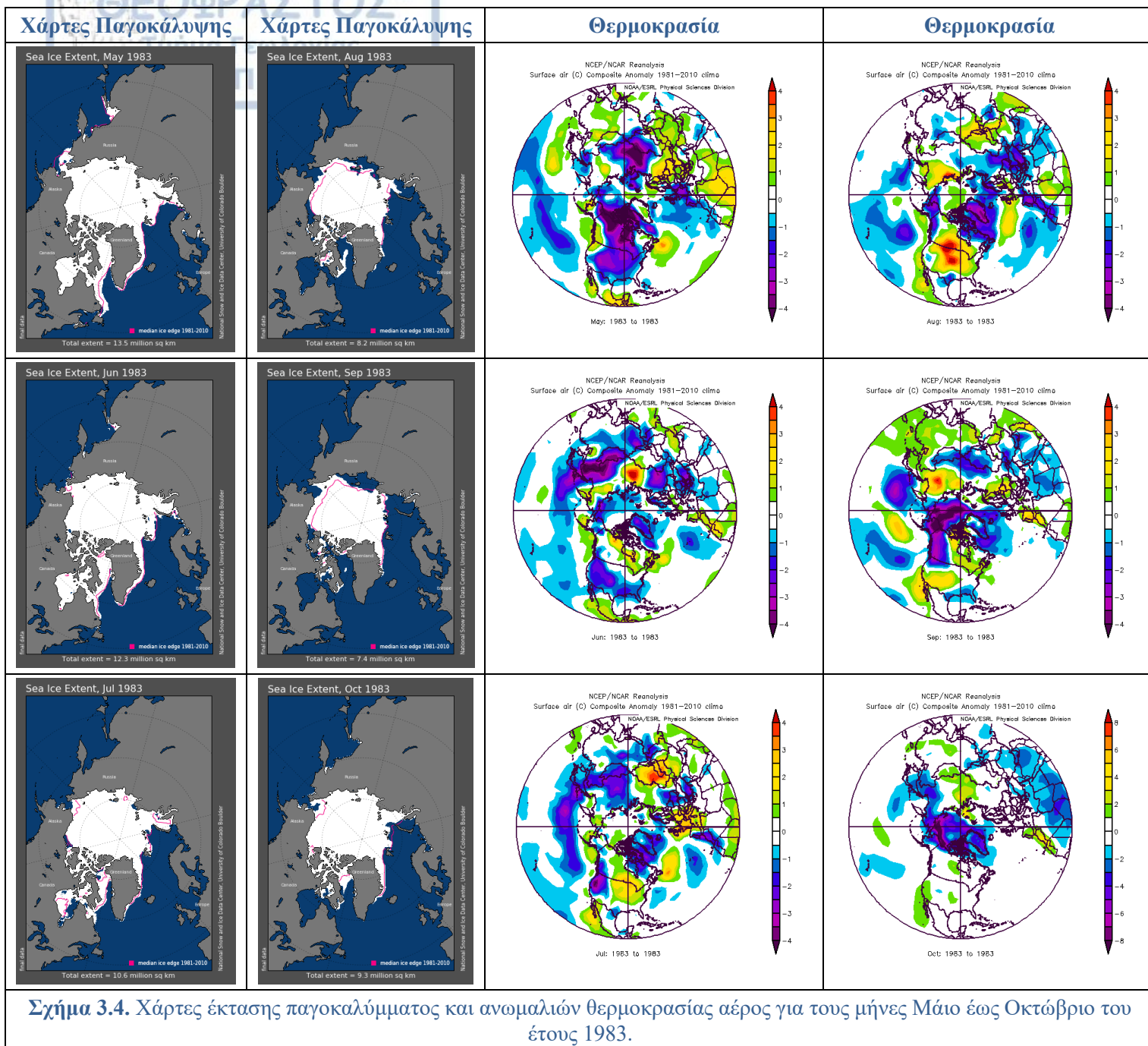
Σχήμα 3.3. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1982.

Έτος 1983

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 1983, η παγοκάλυψη μπορεί να χαρακτηριστεί φυσιολογική επειδή το παγοκάλυμμα έχει περίπου την ίδια έκταση με την αντίστοιχη μέση έκτασή του για τα έτη 1981-2010. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σημειώνουν απόκλιση -4°C - $+4^{\circ}\text{C}$ από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα. Εξαίρεση αποτελεί ο Οκτώβριος ο οποίος είναι ψυχρότερος (Σχήμα 3.4).

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση $13,5 \text{ εκ. km}^2$. Ωστόσο, η παγοκάλυψη εμφανίζεται μειωμένη στη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα σε σχέση με τη μέση έκταση που παρουσιάζει στο διάστημα 1981-2010. Έως και το Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή που καλύπτει μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή της είναι $7,4 \text{ εκ. km}^2$. Το παγοκάλυμμα είναι επεκτεταμένο σε σχέση με τη μέση κατάσταση του μήνα Σεπτεμβρίου για την περιοχή βόρεια των Αλεούτιων Νήσων. Τον Οκτώβριο, η έκταση του παγοκαλύμματος είναι της τάξης των $9,3 \text{ εκ. km}^2$ και θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι τον Μάιο του επόμενου έτους.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία αρκετά σημαντική διαφορά από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Το πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η θερμοκρασία πάνω από τις θάλασσες Μπάρεντς, Γροιλανδίας και Κάρα είναι υψηλότερη. Αντίθετα, σε όλη την αρκτική θαλάσσια περιοχή της Βόρειας Αμερικής σημειώνεται απόκλιση έως -4°C . Κατά τη θερινή περίοδο και το Σεπτέμβριο, οι θερμοκρασίες παραμένουν ψυχρότερες και κυμαίνονται μεταξύ -4°C - $+4^{\circ}\text{C}$. Η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη μόνο πάνω από ελάχιστες περιοχές, όπως η Βορειοανατολική Ασία. Τον Οκτώβριο, η μέγιστη διαφορά από τη μέση τιμή σημειώνεται στους -8°C στις θάλασσες Τσούκτσι και Μποφόρ.

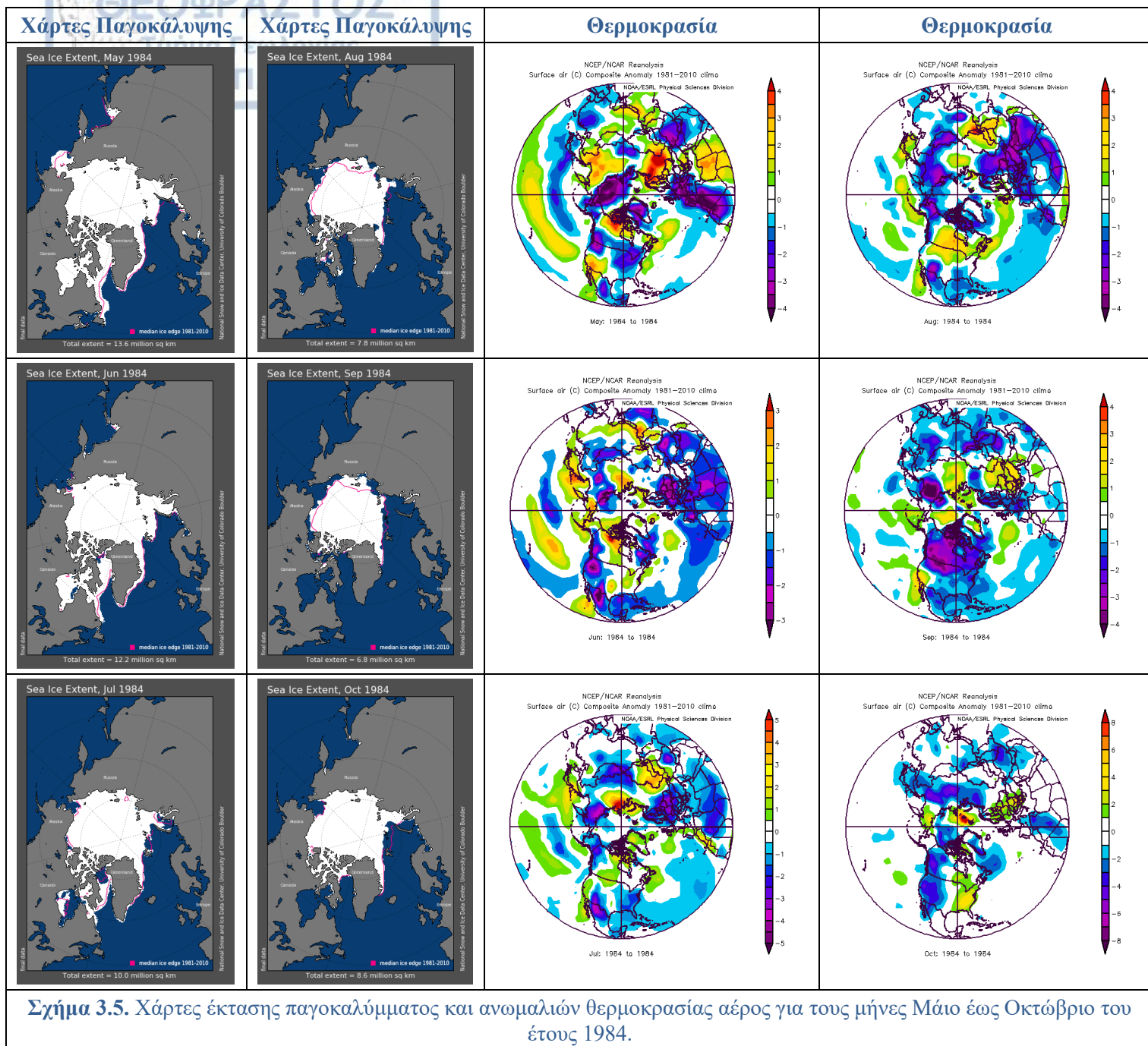


Έτος 1984

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 1984, η έκταση του παγοκαλύμματος υπερβαίνει τη μέση τιμή έκτασής του για το χρονικό διάστημα 1981-2010, με μοναδική εξαίρεση τον μήνα Οκτώβριο. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές της από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της κατά τα έτη 1981-2010.

Ειδικότερα, το παγοκάλυμμα, τον Μάιο, καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,6 εκ. km². Ο πάγος εκτείνεται από τη θάλασσα Κάρα έως το βόρειο τμήμα της Βερινγείου θάλασσας. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα χρόνια, στην Οχοτσική θάλασσα υπάρχει ελάχιστος πάγος (Σχήμα 3.5). Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον είναι επίσης παγωμένοι. Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά. Τον Σεπτέμβριο, το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, οπότε πλέον καταλαμβάνει περιοχή 6,8 εκ. km². Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τελευταίος μήνας της θερμής περιόδου, ο Οκτώβριος. Το παγοκάλυμμα καλύπτει μικρότερη έκταση από την μέση τιμή της για το διάστημα 1981-2010 και ένα μεγάλο μέρος της βόρειας θάλασσας Μπάρεντς δεν είναι καλυμμένο από πάγο.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία μέση προς μεγάλη απόκλιση από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, η απόκλιση της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -4°C - +4°C. Οι ψυχρότερες περιοχές είναι ο κόλπος Μπάφιν και οι θάλασσες Τσουνκσι και Ανατολικής Σιβηρίας, ενώ οι θερμότερες είναι οι θάλασσες Κάρα και Μπάρεντς και το Καναδικό Αρχιπέλαγος. Τον επόμενο μήνα, η διαφορά είναι μικρότερη, της τάξης των -3°C - +3°C. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται τον Ιούλιο, καθώς βόρεια της Αμερικής οι θερμοκρασίες είναι έως 4,5°C χαμηλότερες, αλλά στη Βόρεια Σιβηρία φτάνουν έως και τους +5°C. Τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται κοντά στην ήπειρο της Αμερικής, αλλά η απόκλισή τους από τη μέση τιμή δεν είναι τόσο μεγάλη. Ίσως η πιο σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει για την ατμοσφαιρική θερμοκρασία της θερμής περιόδου του έτους 1984 είναι αυτή του Οκτωβρίου. Όπως προαναφέρθηκε, το παγοκάλυμμα εμφανίζεται μειωμένο, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην δραματική ανωμαλία της τάξης των +8°C από τη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010 που εμφανίζεται σε μία περιοχή του αρκτικού ωκεανού βόρεια της Σιβηρίας.

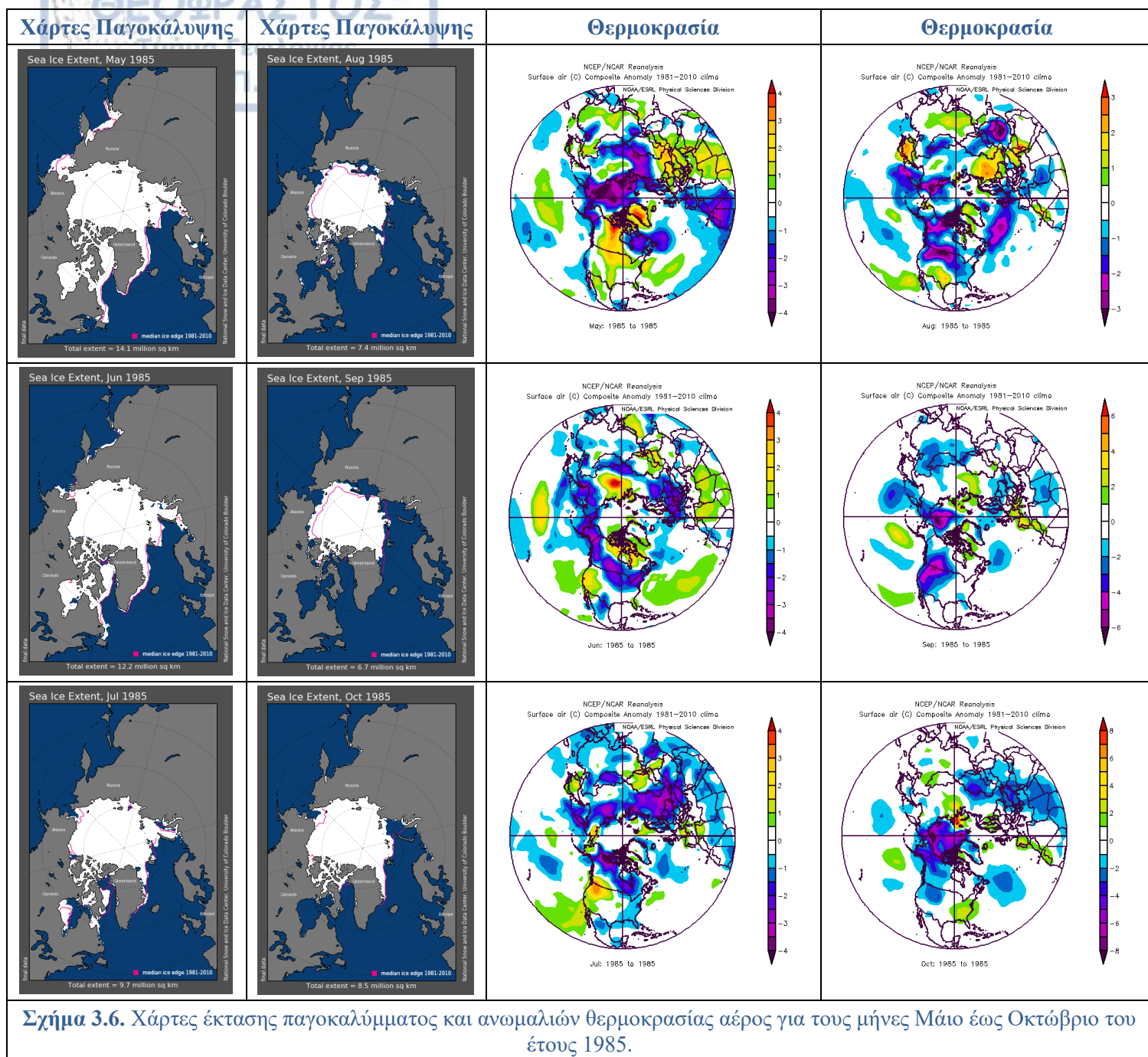


Έτος 1985

Κατά τη θερμή περίοδο του έτους 1985, η έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος έχει σχεδόν την ίδια τιμή με την αντίστοιχη μέση τιμή της για την περίοδο 1981-2010. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ -4°C - $+4^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά την προαναφερθείσα περίοδο, με εξαίρεση τους τελευταίους δύο μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων η ανωμαλία είναι πολύ μεγαλύτερη (Σχήμα 3.6).

Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα εμφανίζει μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τα προηγούμενα έτη και καλύπτει μία έκταση $14,1 \text{ εκ. km}^2$, καλύπτοντας την περιοχή από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν είναι επίσης παγωμένοι. Στην Οχοτσική θάλασσα υπάρχει πάλι πάγος, γεγονός που δεν ίσχυε το έτος 1984. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά μέχρι το Σεπτέμβριο, όταν έχει τιμή $6,7 \text{ εκ. km}^2$. Ενδιαφέρον προκαλεί η έκταση του παγοκαλύμματος τον Ιούλιο, καθώς στις περιοχές του Βόρειου Καναδά, στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν, ένα τμήμα του πάγου έχει λιώσει. Ακόμα, τον Οκτώβριο, όταν αρχίζει το παγοκάλυμμα να αυξάνεται σε έκταση, στη θάλασσα βόρεια της κεντρικής Σιβηρίας δεν έχει αναπτυχθεί ο πάγος σε αντίθεση με τη μέση κατάσταση που επικρατεί στο διάστημα 1981-2010.

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, τους μήνες Μάιο έως Αύγουστο, εμφανίζουν μέση απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010, αλλά δραματική διαφορά σημειώνεται τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο. Τον Μάιο, η ανωμαλία κυμαίνεται μεταξύ των -4°C - $+4^{\circ}\text{C}$. Υψηλότερες τιμές από τις μέσες εμφανίζονται στον κόλπο Μπάφιν, ενώ χαμηλότερες στη Βόρεια Σιβηρία, στην Οχοτσική θάλασσα και στον κόλπο Χάτσον. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, η απόκλιση από τη μέση τιμή κυμαίνεται μεταξύ -4°C - $+3,5^{\circ}\text{C}$. Οι θερμότερες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μπορεί να οδήγησαν στη σταδιακή μείωση του παγοκαλύμματος. Τον Αύγουστο, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας διαφέρει κατά -3°C - $+3^{\circ}\text{C}$. Αντίθετα, ο Σεπτέμβριος είναι αρκετά ψυχρότερος και σε μερικές περιοχές, κυρίως στις θάλασσες Τσούκτσι και Μποφόρ, σημειώνεται απόκλιση έως -6°C . Ενδιαφέρον παρουσιάζει ολόκληρη η Αρκτική τον Οκτώβριο, καθώς η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας φτάνει έως τους -8°C στη θάλασσα Τσούκτσι και $+8^{\circ}\text{C}$ στη Βόρεια Σιβηρία.

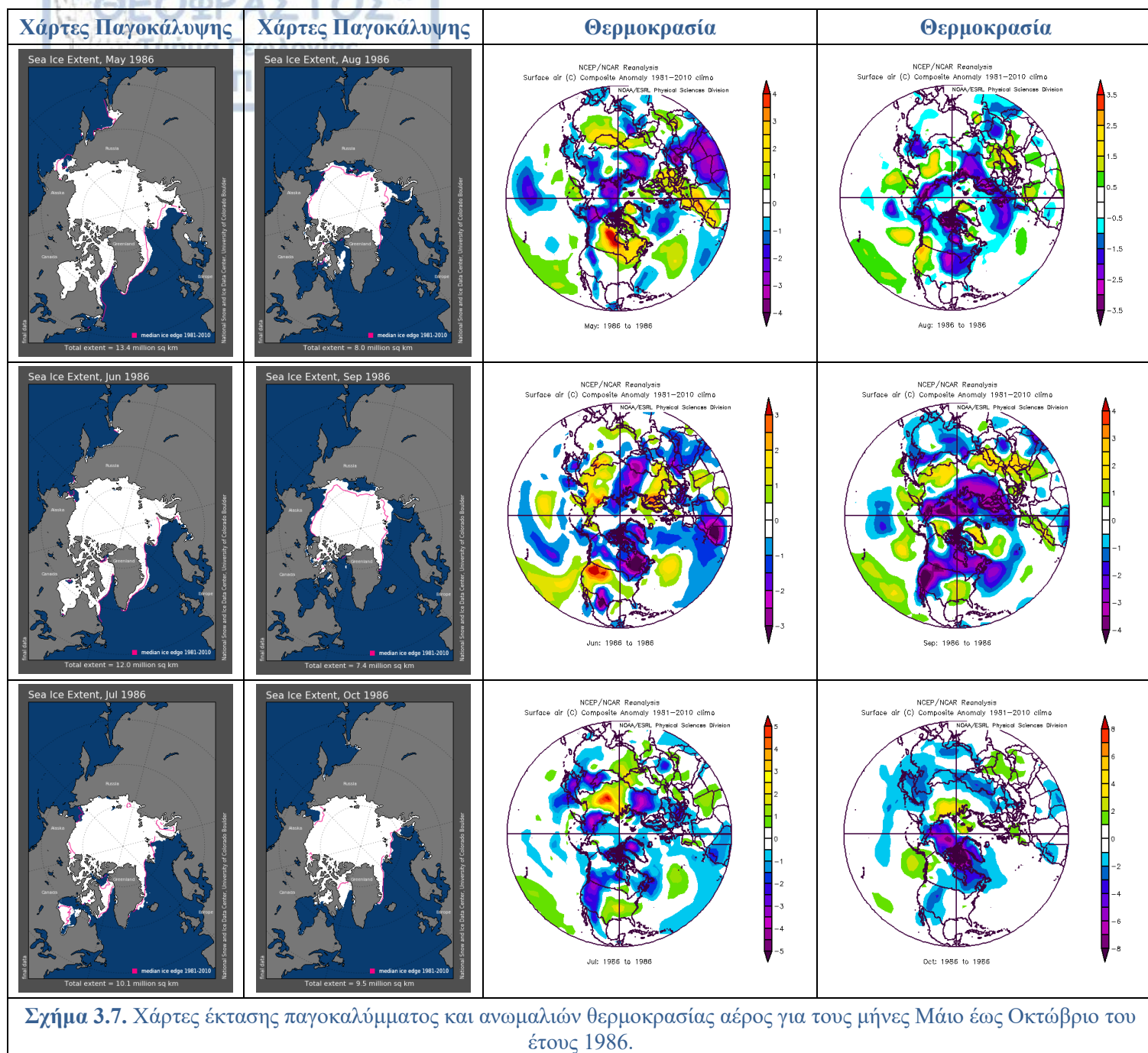


Έτος 1986

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1986, το παγοκάλυμμα έχει περίπου την ίδια έκταση με την αντίστοιχη μέση τιμή του για το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι αρκετά ψυχρότερη από τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας. Καλύπτει μία έκταση 13,4 εκ. km². Μέρος της Οχοτσικής θάλασσας και της θάλασσας Μπάρεντς είναι επίσης παγωμένα. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή 7,4 εκ. km². Με τη μείωση της θερμοκρασίας τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται, κυρίως προς τον κόλπο Μπάφιν και τη Βερίγγειο θάλασσα (Σχήμα 3.7).

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει χαμηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, σημειώνεται απόκλιση έως -4°C στη Βόρεια Σιβηρία και στη θάλασσα Μποφόρ και έως +4°C στον Βόρειο Καναδά. Τον επόμενο μήνα παρατηρείται μία αντιστροφή στις θερμοκρασίες των περιοχών που αναφέρθηκαν, δηλαδή οι πρώτες δύο είναι θερμότερες, ενώ ο Καναδάς ψυχρότερος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο Ιούλιος, καθώς κάποιες θέσεις όπως η θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας, εμφανίζουν διαφορά θερμοκρασίας -4°C από τη μέση τιμή. Τον όγδοο μήνα του χρόνου, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ -3,5°C - +2°C. Σημαντική είναι η απόκλιση της θερμοκρασίας από τη μέση θερμοκρασία του μήνα Σεπτεμβρίου, φτάνοντας τους -4°C σε πολύ μεγάλη αρκτική έκταση καθώς και στο βόρειο τμήμα της Ευρώπης και μόνο σε ελάχιστες περιοχές παρατηρούνται θερμότερες θερμοκρασίες της τάξης των +3°C, κυρίως νοτιότερα της Γροιλανδίας. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου μήνα της θερμής περιόδου, σημειώνεται έντονη απόκλιση της θερμοκρασίας από -8°C στο Καναδικό Αρχιπέλαγος έως +5°C στη Βόρεια Σιβηρία.



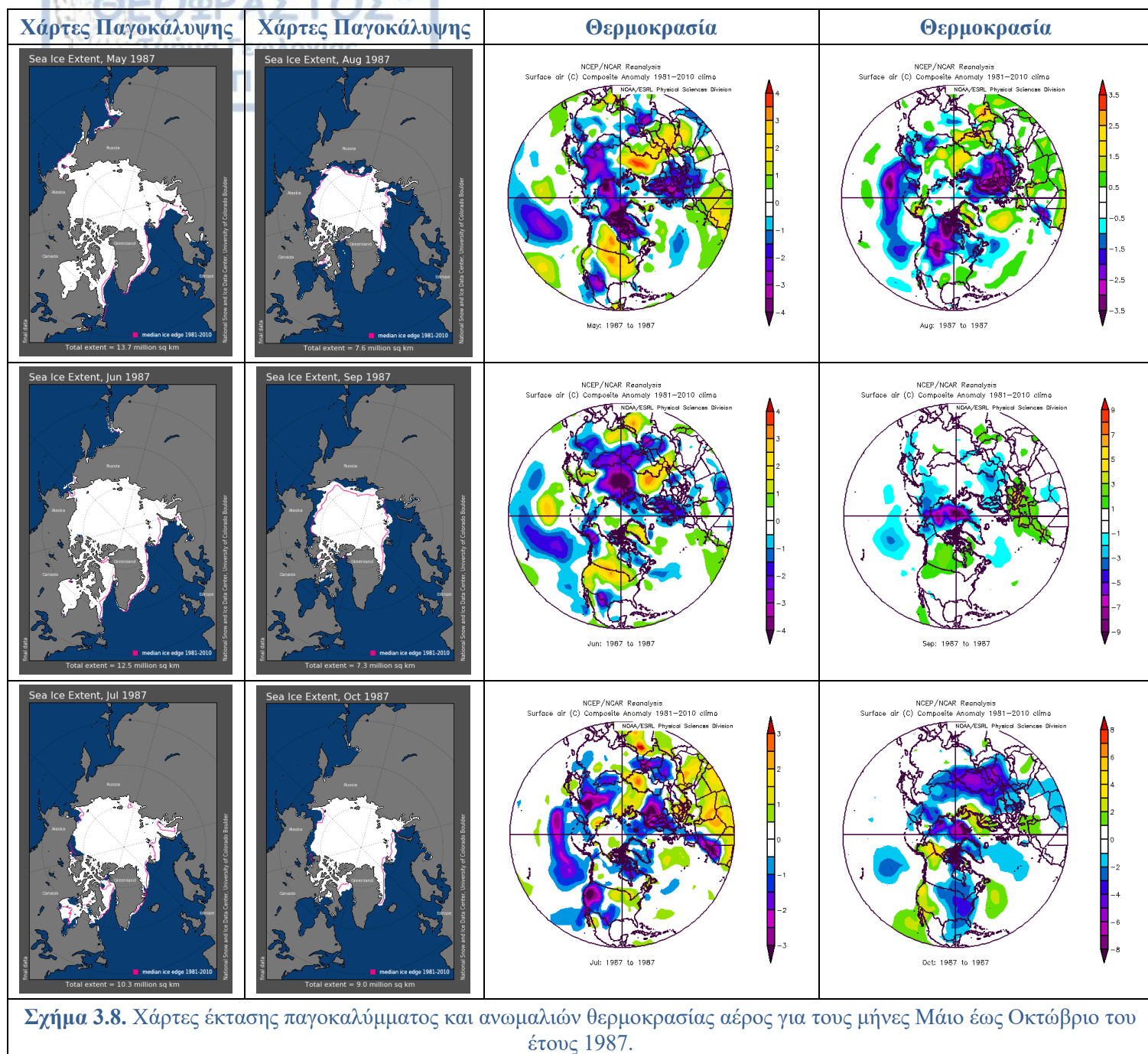
Σχήμα 3.7. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1986.

Έτος 1987

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 1987, η έκταση του παγοκαλύμματος υπερβαίνει την αντίστοιχη μέση της για τα έτη 1981-2010. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σημειώνουν μία σχετικά μέτρια απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα. Εξαίρεση αποτελούν οι δύο τελευταίοι μήνες, οι οποίοι είναι πολύ ψυχρότεροι σε μερικές περιοχές της Αρκτικής.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 13,7 εκ. km από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Έως και το Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή που καλύπτει μειώνεται σταδιακά και παίρνει την ελάχιστη τιμή της στα 7,6 εκ. km². Τον Αύγουστο, ωστόσο, ένα τμήμα της θάλασσας Μποφόρ δεν είναι παγωμένο. Τον Οκτώβριο το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε μία περιοχή της τάξης των 9,0 εκ. km² και θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι τον Μάιο του επόμενου έτους.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία εμφανή διαφορά από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010 (Σχήμα 3.8). Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η ατμόσφαιρα πάνω από ένα μεγάλο μέρος του αρκτικού ωκεανού είναι ψυχρότερη έως και 4°C. Μόνο η περιοχή που περιβάλλει την Ισλανδία εμφανίζει ελάχιστα θερμότερες συνθήκες. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ -4°C - +3°C και -3°C - +2,5°C, αντίστοιχα. Ψυχρότερη εμφανίζεται η ατμόσφαιρα πάνω από το Καναδικό Αρχιπέλαγος. Τον όγδοο μήνα του έτους, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία πάνω από όλη την περιοχή της Αρκτικής είναι ελαφρώς θερμότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010. Ωστόσο, σε ένα μικρό τμήμα βόρεια της αμερικανικής ηπείρου καθώς και σε μεγάλο τμήμα της Ευρώπης σημειώνεται απόκλιση έως -3,5°C. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες που διαγράφονται τους θερινούς μήνες πιθανόν να οφείλεται και το λιώσιμο του πάγου στη θάλασσα Μποφόρ. Κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου, οι θερμοκρασίες είναι σε φυσιολογικά επίπεδα σε μεγάλο τμήμα του βορείου ημισφαιρίου ενώ οι θερμοκρασίες του Οκτωβρίου εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε ελάχιστες περιοχές. Η ατμόσφαιρα πάνω από τη μεγαλύτερη έκταση της Αρκτικής είναι ψυχρότερη και μάλιστα οι θερμοκρασίες φτάνουν έως τους -9°C το Σεπτέμβριο και -8°C τον Οκτώβριο στη Βόρεια Σιβηρία.

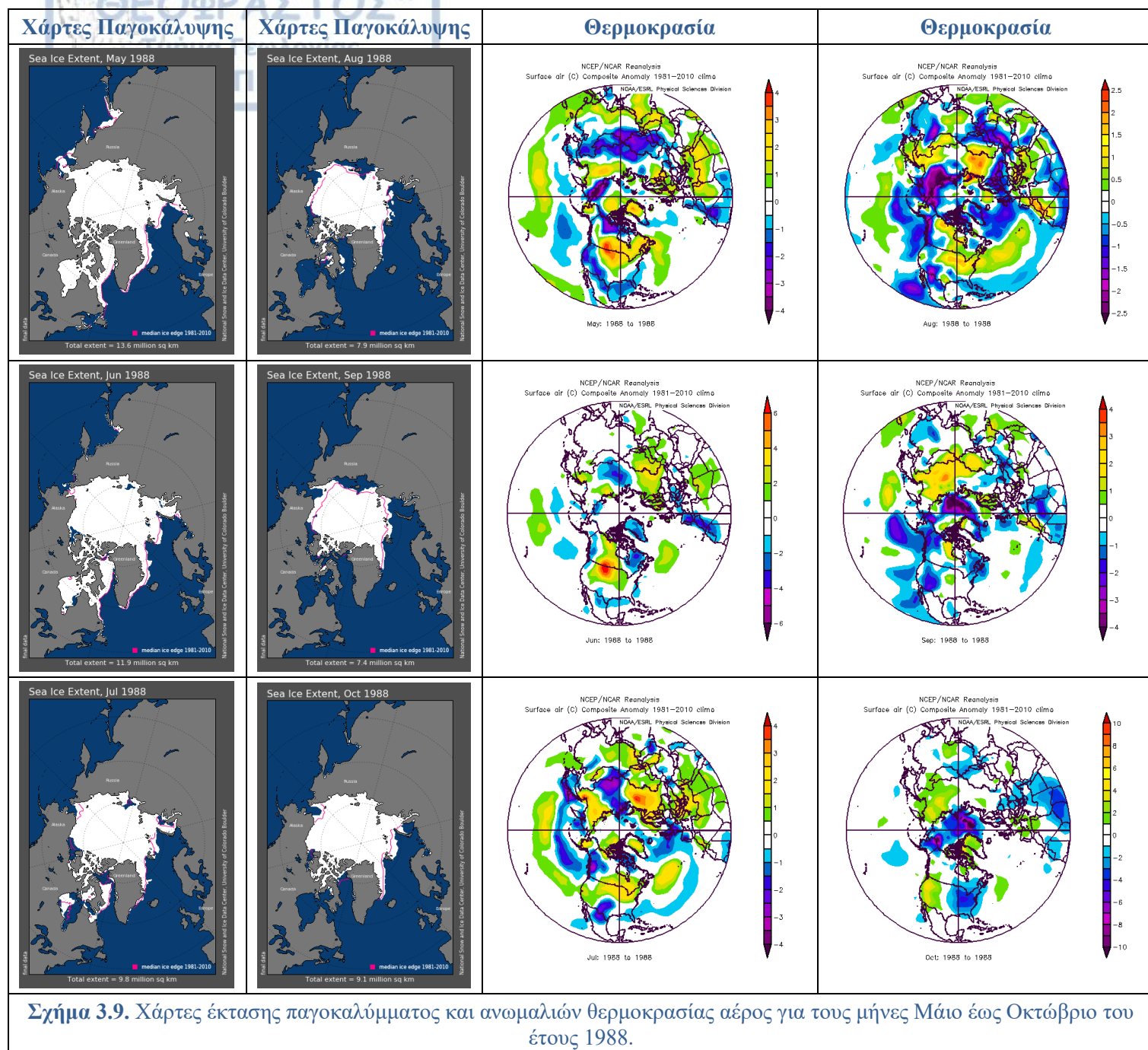


Έτος 1988

Κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιο έως Οκτώβριο του 1988, η έκταση του παγοκαλύμματος υπερβαίνει τη μέση τιμή έκτασής του για το χρονικό διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μέτριες αποκλίσεις στις τιμές της από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο Οκτώβριος, ο οποίος εμφανίζει πολύ διαφορετικές τιμές.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,6 εκ. km². Ο πάγος εκτείνεται από τη θάλασσα Κάρα έως την Οχοτσική θάλασσα και το βόρειο τμήμα της Βεριγγείου θάλασσας. Ωστόσο, ένα τμήμα της τελευταίας δεν είναι παγωμένο, διαφέροντας λοιπόν από τη μέση παγωμένη περιοχή κατά το διάστημα 1981-2010. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο (Σχήμα 3.9). Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά. Τον Σεπτέμβριο, εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, οπότε πλέον καταλαμβάνει 7,4 εκ. km². Τον Οκτώβριο, η παγοκάλυψη εκτείνεται 9,1 εκ. km², υπερβαίνοντας την αντίστοιχη μέση τιμή της. Όμως, ένα μέρος του παγοκαλύμματος απουσιάζει από το Καναδικό Αρχιπέλαγος.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν τους περισσότερους μήνες σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά της τάξης των -4°C - +4°C από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, η θάλασσα Τσούκτσι και η παράκτια περιοχή της Βόρειας Αμερικής είναι ψυχρότερες, ενώ γύρω από τη Γροιλανδία επικρατούν θερμότερες συνθήκες. Οι επόμενοι δύο μήνες είναι θερμότεροι και μόνο σε λίγες θέσεις, κυρίως στο Καναδικό Αρχιπέλαγος παρατηρούνται θερμοκρασίες με διαφορά της τάξης των -4°C τον Ιούνιο και -3°C τον Ιούλιο. Τον Αύγουστο, τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο, οι ψυχρότερες περιοχές είναι αυτές βορειότερα της Σιβηρίας. Τον Αύγουστο οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας είναι ελάχιστα χαμηλότερες από τη μέση τιμή και τον μήνα με το λιγότερο πάγο σημειώνεται απόκλιση έως -4°C. Ωστόσο, η πιο σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει για την ατμοσφαιρική θερμοκρασία της θερμής περιόδου του έτους 1988 είναι αυτή του Οκτωβρίου. Στη θάλασσα Λάπτεφ παρουσιάζεται μία δραματική απόκλιση της τάξης των -10°C από τη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010. Επιπρόσθετα, στην περιοχή του Καναδικού Αρχιπελάγους, η θερμοκρασίες φτάνουν τους +5°C, γεγονός στο οποίο πολύ πιθανόν να οφείλεται η μείωση του παγοκαλύμματος στη συγκεκριμένη περιοχή.



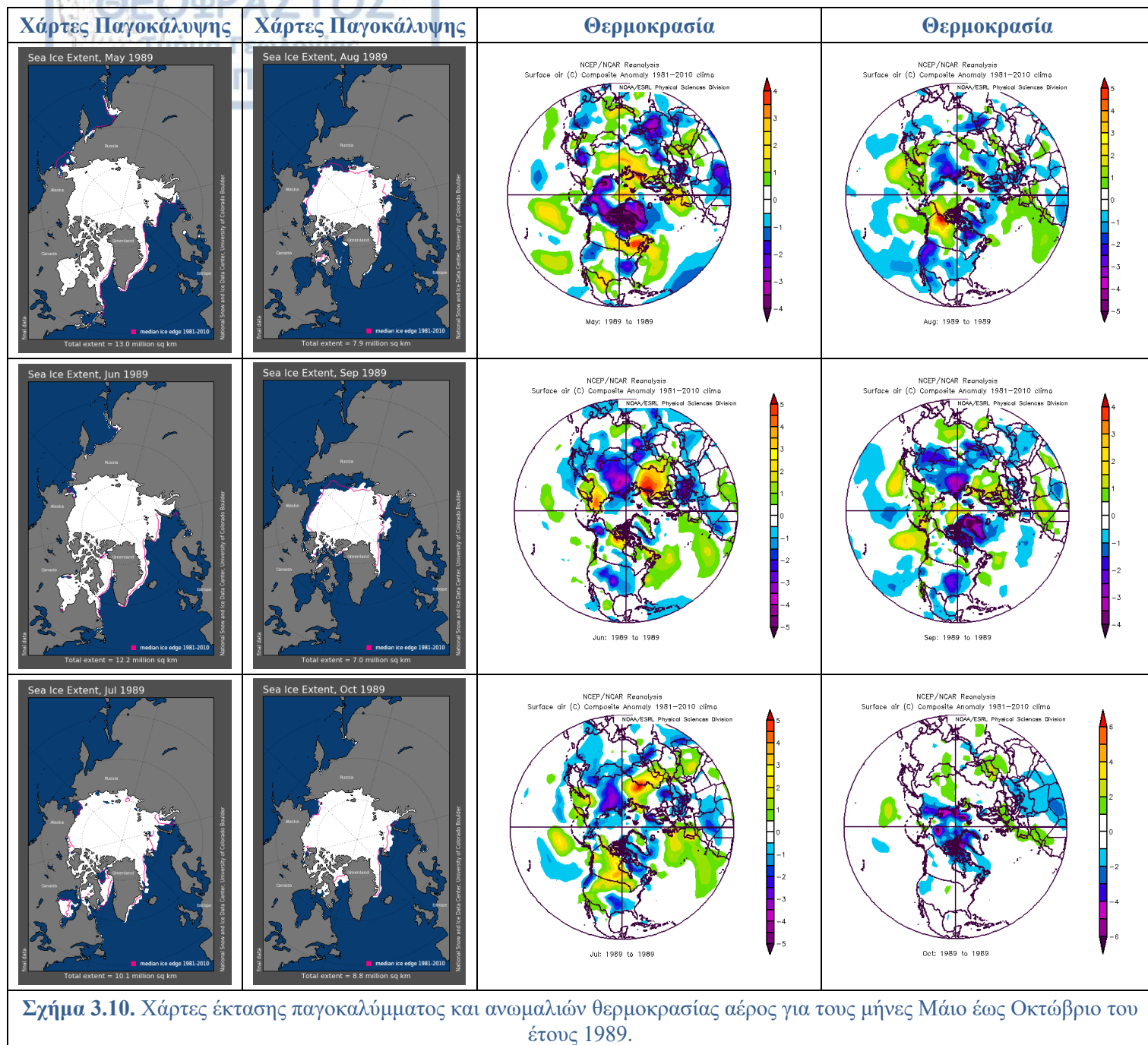
Σχήμα 3.9. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1988.

Έτος 1989

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 1989, η έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος υπερβαίνει την αντίστοιχη μέση τιμή της για την περίοδο 1981-2010. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στην περιοχή κυμαίνεται ως επί το πλείστον μεταξύ -4°C - $+5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την αντίστοιχη μέση της κατά την προαναφερθείσα περίοδο, με εξαίρεση τον Οκτώβριο που η ανωμαλία είναι λίγο μεγαλύτερη.

Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μικρότερη στη δεκαετία έκταση, η οποία καλύπτει μία περιοχή της τάξης των 13,0 εκ. km^2 , καλύπτοντας την περιοχή από τη θάλασσα Κάρα έως τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Ωστόσο, ένα μεγάλο τμήμα της τελευταίας δεν είναι παγωμένο. Οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν καλύπτονται επίσης από πάγο. Το συγκεκριμένο έτος, στην Οχοτσική θάλασσα δεν υπάρχει παγοκάλυψη, σε αντίθεση με το 1988 (Σχήμα 3.9, 3.10). Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά μέχρι το Σεπτέμβριο, όταν έχει τιμή 7,0 εκ. km^2 . Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αυξάνεται σε έκταση, φτάνοντας τα 8,8 εκ. km^2 .

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο, εμφανίζουν μέτρια προς μεγάλη απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010, αλλά μεγαλύτερη διαφορά σημειώνεται τον Οκτώβριο. Τον Μάιο, η ανωμαλία κυμαίνεται από -4°C σε όλη την περιοχή βόρεια της Αμερικής και $+4^{\circ}\text{C}$ στη Βόρεια Σιβηρία. Τους θερινούς μήνες, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία διαφέρει κατά $-4,5^{\circ}\text{C}$ - $+5^{\circ}\text{C}$. Οι θερμότερες συνθήκες συναντώνται στην κεντρική Σιβηρία και τον Καναδά. Τον Σεπτέμβριο, η θερμοκρασία της αποκλίνει κατά -4°C - $+3^{\circ}\text{C}$, με τις χαμηλότερες τιμές γύρω από τη Γροιλανδία και τις υψηλότερες στη θάλασσα Τσούκτσι και τον Βόρειο Πόλο. Τον Οκτώβριο, στον Αρκτικό ωκεανό οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας είναι ψυχρότερες από τις μέσες και φθάνουν έως τους -6°C . Ωστόσο, είναι θερμότερες συγκριτικά με τον ίδιο μήνα του προηγούμενου έτους.

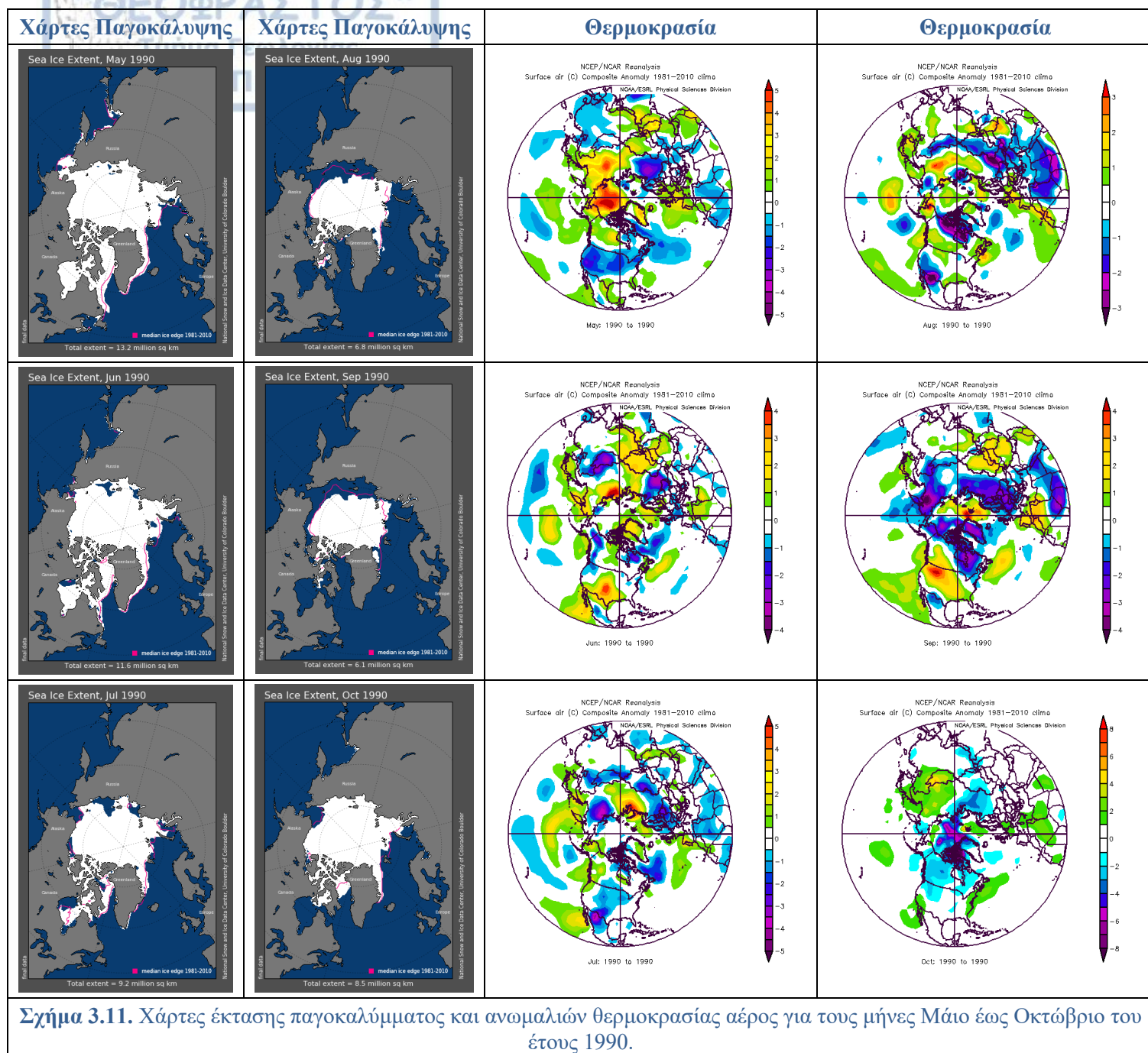


Έτος 1990

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1990, το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε ελάχιστα μικρότερη περιοχή σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή του για το διάστημα 1981-2010 (Σχήμα 3.11). Επίσης, η θερμοκρασιακή διαφορά σε σχέση με τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010 κυμαίνεται μεταξύ -4°C - 5°C . Μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται τον Οκτώβριο.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα καλύπτει έκταση $13,2$ εκ. km^2 από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Σε μικρό παράκτιο τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας και στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν υπάρχει επίσης παγοκάλυψη. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν εκτείνεται σε εξαιρετικά χαμηλό επίπεδο ($6,1$ εκ. km^2) σε σχέση με την παγοκάλυψη της προηγούμενης δεκαετίας. Με τη μείωση της θερμοκρασίας τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως σε όλους τους μήνες, η παγοκάλυψη εκτείνεται σε μικρότερη περιοχή σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της το διάστημα 1981-2010. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές το μήνα Σεπτέμβριο, όταν ενώ ένα μεγάλο τμήμα της θάλασσας βόρεια της Σιβηρίας θα έπρεπε να είναι παγωμένο, απουσιάζουν οι πάγοι.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας είναι κυρίως υψηλότερες από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, σημειώνεται απόκλιση έως $-3,5^{\circ}\text{C}$ στη Βορειοδυτική Ασία και την Ευρώπη και έως $+5^{\circ}\text{C}$ στη μισή έκταση του αρκτικού ωκεανού βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Τους επόμενους δύο μήνες η απόκλιση της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -4°C - $+4,5^{\circ}\text{C}$, με τις ψυχρότερες τιμές να συσσωρεύονται κυρίως στη Γροιλανδία. Τον Αύγουστο, η ατμόσφαιρα παραμένει θερμότερη και εμφανίζεται ψυχρότερη κατά -3°C μόνο στον Βόρειο Καναδά. Η απόκλιση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη το Σεπτέμβριο, όταν κυμαίνεται μεταξύ -4°C στην Ανατολική Σιβηρία και $+4^{\circ}\text{C}$ βόρεια της Ευρασίας. Στις υψηλότερες τιμές που συναντώνται οφείλεται μάλλον η μεγαλύτερη μείωση της παγοκάλυψης τον ίδιο μήνα. Όπως είναι αναμενόμενο, τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου εντοπίζονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, η τιμή των οποίων φτάνει τους -8°C στο Βόρειο Πόλο και το Καναδικό Αρχιπέλαγος. Ωστόσο, στη βόρεια της Ισλανδίας, η ανωμαλία φτάνει τους $+5^{\circ}\text{C}$.



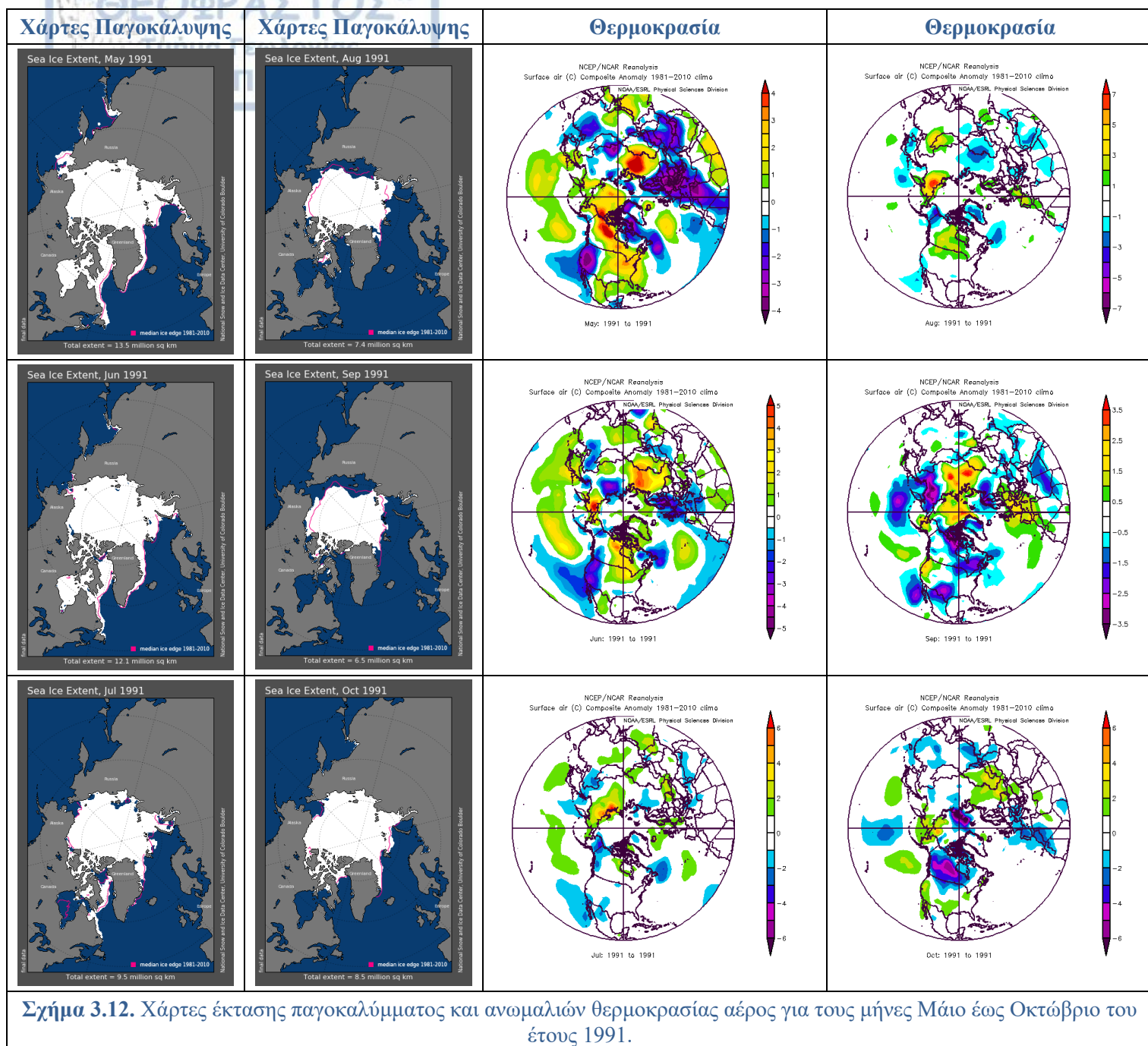
Σχήμα 3.11. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1990.

Έτος 1991

Το 1991, η έκταση του παγοκαλύμματος πλησιάζει την αντίστοιχη μέση της για τα έτη 1981-2010. Ωστόσο, σε κάποιες περιοχές απουσιάζει ο πάγος τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας αποκλίνουν αρκετά από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Ειδικότερα, όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 13,5 εκ. km² από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Έως και το Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή παγοκάλυψης μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή φτάνει τα 6,5 εκ. km². Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο κόλπος Χάτσον τον Ιούλιο και η θάλασσα βόρεια της Σιβηρίας τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, καθώς απουσιάζουν οι πάγοι. Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα έχει έκταση της τάξης των 8,5 εκ. km², η οποία θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι τον Μάιο του επόμενου έτους.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία εμφανή διαφορά από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η ατμόσφαιρα πάνω από τη μισή έκταση του αρκτικού ωκεανού, δηλαδή στις θάλασσες της Ανατολικής Σιβηρίας, Τσούκτσι και Μποφόρ, είναι θερμότερη κατά +1°C έως +4°C. Στην υπόλοιπη έκταση εμφανίζονται ψυχρότερες θερμοκρασίες που φθάνουν έως τους -4°C στον κόλπο Μπάφιν. Το καλοκαίρι, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ -4°C έως +6°C, με τις ψυχρότερες να σημειώνονται γύρω από τη Γροιλανδία. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες συμβάλλουν στη μειωμένη παγοκάλυψη της θερινής περιόδου. Τον Σεπτέμβριο, η διακύμανση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας πάνω από όλη την περιοχή της Αρκτικής είναι παρόμοια με του Μαΐου. Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου, η απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ -6°C στη Βόρεια Σιβηρία και +5°C στη θάλασσα Τσούκτσι. Το μεγαλύτερο μέρος της Αρκτικής το συγκεκριμένο μήνα, όμως, δεν παρουσιάζει σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά από τη μέση τιμή.



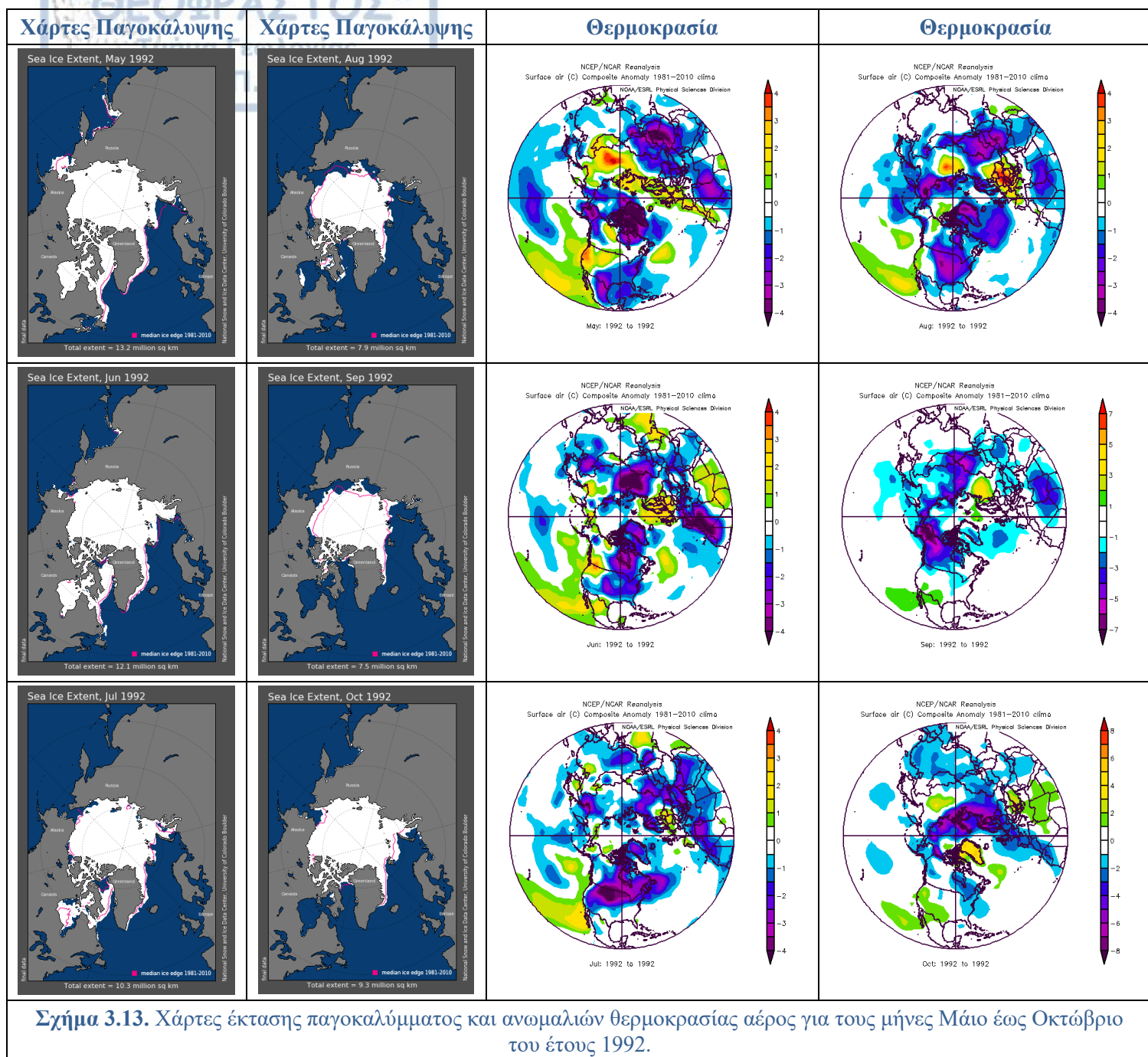
Σχήμα 3.12. Χάρτες έκτασης παγοκάλυμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1991.

Έτος 1992

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1992, το παγοκάλυμμα έχει περίπου την ίδια έκταση με την αντίστοιχη μέση περιοχή που καλύπτει κατά το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει απόκλιση της τάξης των -4°C έως $+4^{\circ}\text{C}$ από τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010. Εξαιρέσεις αποτελούν ο Σεπτέμβριος και ο Οκτώβριος.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας. Καλύπτει μία έκταση 13,2 εκ. km^2 (Σχήμα 3.13). Οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν είναι επίσης παγωμένοι. Το ίδιο συμβαίνει και σε μικρά τμήματα της Οχοτσικής θάλασσας και της θάλασσας Μπάρεντς. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή 7,5 εκ. km^2 . Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας, όπου απουσιάζει ένα μέρος του παγοκαλύμματος. Με την πτώση της θερμοκρασίας τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται, κυρίως προς τη θάλασσα Μπάρεντς.

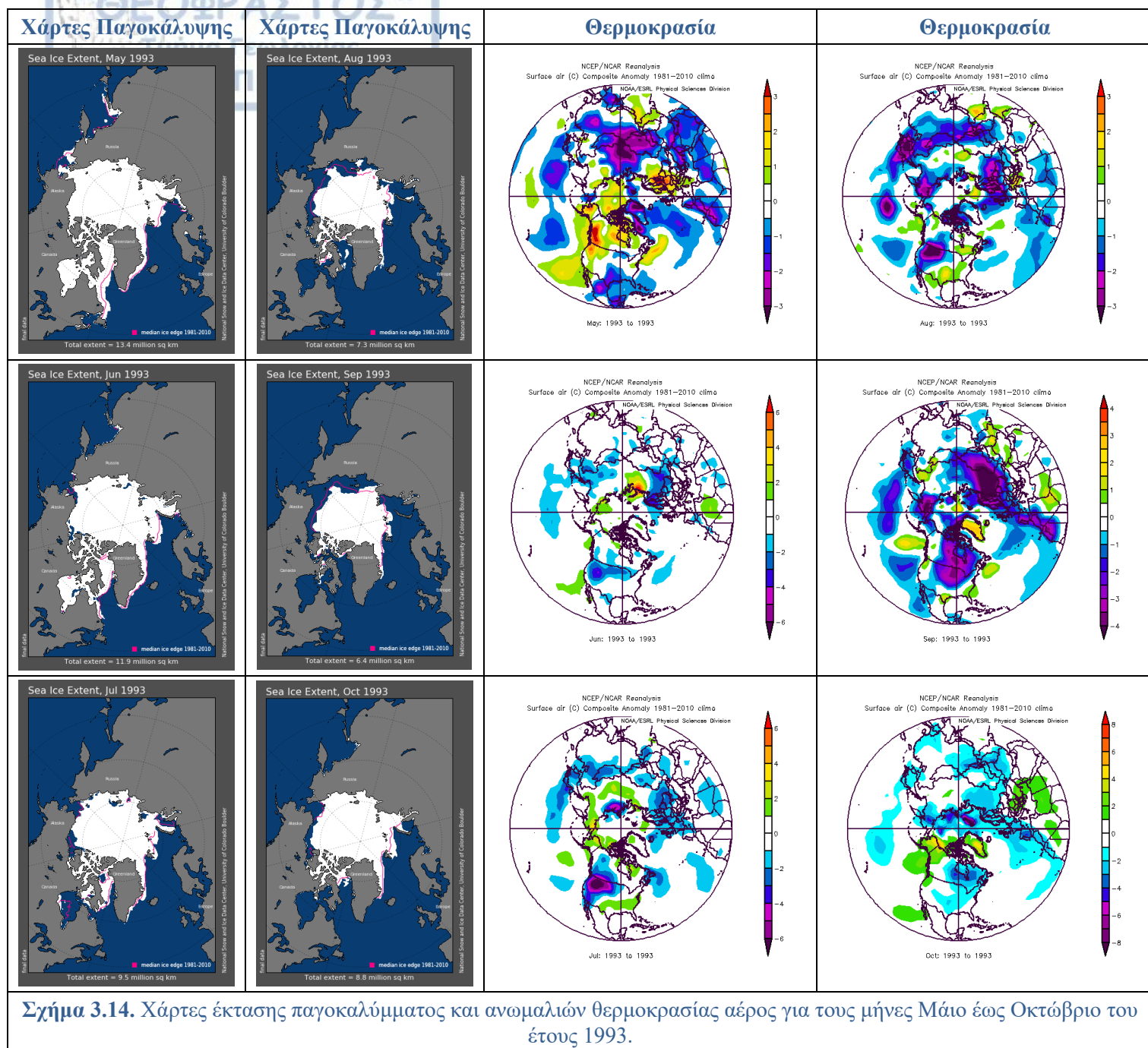
Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μέτρια διακύμανση στις τιμές της σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, ο Αρκτικός ωκεανός είναι ως επί το πλείστον ψυχρότερος, με ελάχιστη θερμοκρασία να σημειώνεται στους -4°C στο Καναδικό Αρχιπέλαγος. Ωστόσο, βόρεια της Ευρασίας η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη από τη μέση κατάσταση κατά το προαναφερμένο χρονικό διάστημα. Τους επόμενους τρεις μήνες, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ -4°C έως $+4^{\circ}\text{C}$. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται πάλι μεταξύ του Καναδικού Αρχιπελάγους και της Γροιλανδίας. Παρόμοια κατάσταση επικρατεί και τον Σεπτέμβριο, με τη διαφορά ότι η απόκλιση φτάνει τους -7°C στην Αλάσκα και μόνο στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης παρατηρούνται θερμότερες θερμοκρασίες της τάξης των $+4^{\circ}\text{C}$. Πιθανόν σε αυτές τις υψηλότερες θερμοκρασίες να οφείλεται η μείωση του παγοκαλύμματος. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου μήνα της θερμής περιόδου, σημειώνεται έντονη απόκλιση της θερμοκρασίας από -8°C στις παράκτιες περιοχές της Βόρειας Σιβηρίας και Βόρειας Αμερικής έως $+6^{\circ}\text{C}$ στον κόλπο Μπάφιν και τη Γροιλανδία.



Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 1993, η έκταση του παγοκαλύμματος εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της για τα έτη 1981-2010. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σημειώνουν μία μέτρια προς μεγάλη απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα. Εξάιρεση αποτελεί το δίμηνο του Σεπτεμβρίου Οκτωβρίου, όπου οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές σχεδόν σε όλη την Αρκτική.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 13,4 εκ. km² από ένα μικρό τμήμα της βόρειας Βεριγγείου θάλασσας έως τη θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Τον Ιούνιο, οι πάγοι καλύπτουν περίπου την ίδια περιοχή με το μέσο όρο των ετών 1981-2010. Αντίθετα, τον Ιούλιο η παγοκάλυψη είναι εμφανώς μειωμένη ειδικά στον κόλπο Χάτσον και τη θάλασσα Μποφόρ. Παρόμοια μείωση του παγοκαλύμματος παρουσιάζεται σε όλη την Αρκτική τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, όταν τελικά καλύπτει μία περιοχή της τάξης των 6,4 εκ. km² (Σχήμα 3.14). Αντίθετα, τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, το παγοκάλυμμα υπερβαίνει την αντίστοιχη μέση τιμή του για τα έτη 1981-2010.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά περίπου -4°C - +4°C από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η ατμόσφαιρα πάνω από τον αρκτικό ωκεανό χωρίζεται μεταξύ θερμότερης στις θάλασσες Ανατολικής Σιβηρίας, Μποφόρ και Τσούκτσι και ψυχρότερης γύρω από τη Γροιλανδία. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ -5°C - +6°C, με θερμότερες περιοχές αυτές στις οποίες μεγάλα τμήματα του πάγου έχουν λιώσει. Ωστόσο, η ατμόσφαιρα πάνω από το μεγαλύτερο τμήμα του αρκτικού ωκεανού δε διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέση κατάσταση της. Στον όγδοο μήνα του έτους, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι ελαφρώς ψυχρότερη, εκτός από ένα μικρό τμήμα της Αρκτικής βόρεια της θάλασσας Μπάρεντς όπου σημειώνεται απόκλιση έως +2°C. Τον Σεπτέμβριο, μεγάλο τμήμα της βόρειας Ευρασίας και της Βόρειας Αμερικής εμφανίζουν χαμηλές θερμοκρασίες σχεδόν -4°C κάτω από τις φυσιολογικές και μόνο η περιοχή της Γροιλανδίας και βόρεια της θάλασσας Λάπτεφ φτάνουν τους +3°C από τη μέση τιμή. Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου, συνεχίζονται στην περιοχή οι χαμηλές θερμοκρασίες αλλά με μικρότερη ένταση και μόνο στη θάλασσα Μποφόρ και τη Γροιλανδία σημειώνεται θερμοκρασία έως +5°C. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη έκταση της Αρκτικής, όμως, είναι ψυχρότερη και μάλιστα η θερμοκρασία φτάνει έως τους -8°C στη θάλασσα Λάπτεφ. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες των δύο τελευταίων μηνών πιθανά να συνδέονται με τις μεγαλύτερη από την κανονική παγοκάλυψη του Οκτωβρίου.

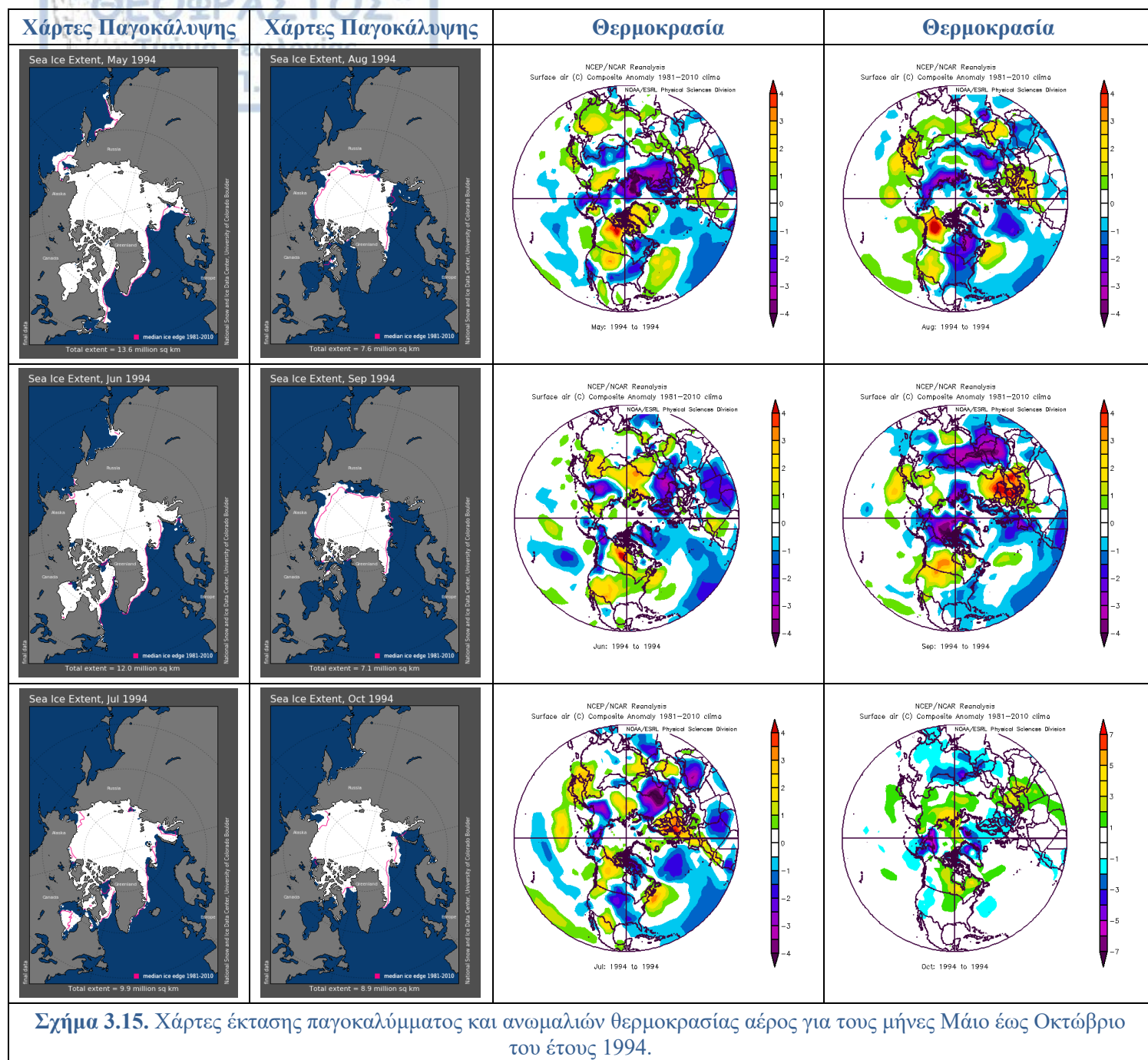


Έτος 1994

Για το 1994 και για τη θερμή περίοδο (Μάιος – Οκτώβριος), το παγοκάλυμμα καλύπτει παρόμοια έκταση με την αντίστοιχη μέση περιοχή παγοκάλυψης για το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μέτριες αποκλίσεις στις τιμές της από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της κατά τα έτη 1981-2010. Εξαίρεση αποτελεί ο Οκτώβριος, ο οποίος εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες διαφορές.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,6 εκ. km². Ο πάγος εκτείνεται από τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς έως την Οχοτσική θάλασσα και το βόρειο τμήμα της Βεριγγείου θάλασσας. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο. Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά (Σχήμα 3.15). Τον Σεπτέμβριο, το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, οπότε πλέον καταλαμβάνει 7,1 εκ. km². Τον Οκτώβριο, ο πάγος εκτείνεται 8,9 εκ. km², υπερβαίνοντας ελάχιστα την αντίστοιχη μέση περιοχή παγοκάλυψης.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά της τάξης των -4°C έως +4°C τους περισσότερους μήνες της θερμής περιόδου από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, οι θάλασσες Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ είναι ψυχρότερες, ενώ γύρω από τη Γροιλανδία και στο Καναδικό Αρχιπέλαγος επικρατούν θερμότερες συνθήκες. Παρόμοια απόκλιση από τη μέση τιμή σημειώνεται και τους επόμενους δύο μήνες. Τον Αύγουστο, οι ψυχρότερες περιοχές είναι αυτές της τάξης των -3,5°C στη Βόρεια Σιβηρία και τον κόλπο Χάτσον και οι θερμότερες κατά +4°C στον Βορειοδυτικό Καναδά. Κατά τον μήνα με τη μικρότερη έκταση πάγου, σημειώνεται απόκλιση -4°C έως -1°C στις θάλασσες Μποφόρ και Τσούκτσι. Τον Οκτώβριο, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στη θάλασσα Τσούκτσι και βορειοανατολικά της Γροιλανδίας με μία σημαντική απόκλιση της τάξης των -7°C από τη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010. Αντίθετα, μεταξύ των δύο αυτών περιοχών σημειώνεται μία διαφορά +5°C από τη μέση θερμοκρασία.

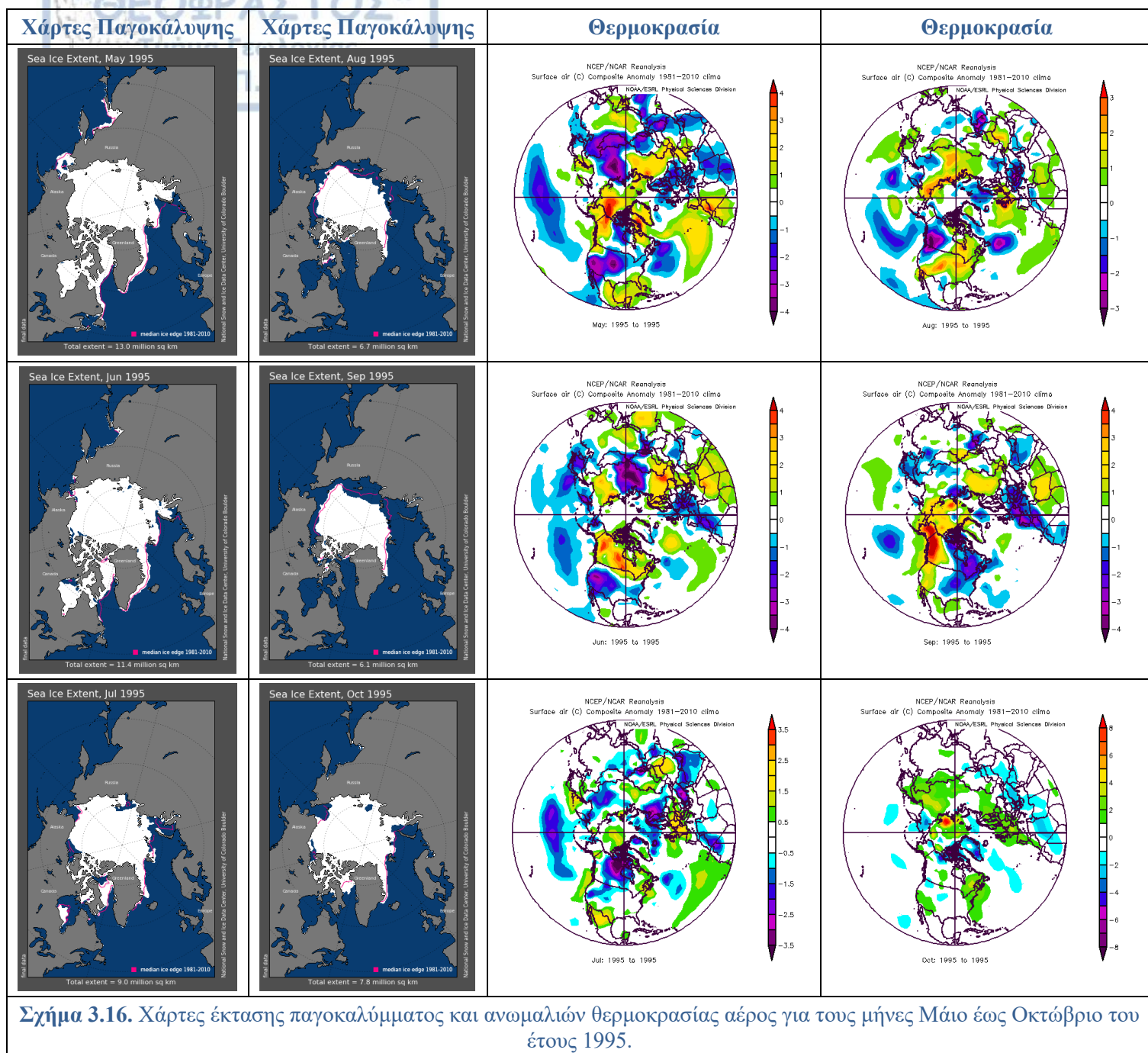


Έτος 1995

Κατά τη θερμή περίοδο του έτους 1995, η έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή της για την περίοδο 1981-2010. Η ατμόσφαιρα σε όλη την Αρκτική είναι αρκετά θερμότερη σε σχέση με την μέση κατάσταση της κατά την προαναφερθείσα περίοδο.

Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καλύπτει μία έκταση 13,0 εκ. km², καλύπτοντας την περιοχή από την θάλασσα Κάρα έως τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Επίσης, ένα τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας, καθώς και οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν καλύπτονται από πάγο. Ωστόσο, η παγοκάλυψη δεν καλύπτει όλη τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς (Σχήμα 3.16). Η έκταση του παγοκαλύμματος για το μήνα Σεπτέμβριο είναι σε αρκετά χαμηλό επίπεδο 6,1 εκ. km². Σε αντίθεση με τα προηγούμενα έτη, οι πάγοι απουσιάζουν από πολλές αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από αυτούς. Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μεγαλώνει σε έκταση, φτάνοντας τα 7,8 εκ. km², δηλαδή σχεδόν όσο η περιοχή που κάλυπτε το Σεπτέμβριο του 1994 (Σχήμα 3.15).

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο, εμφανίζουν μικρή απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010, αλλά μεγαλύτερη διαφορά σημειώνεται τον Οκτώβριο. Τον Μάιο, η ανωμαλία κυμαίνεται μεταξύ των -4°C στη βορειοανατολική Σιβηρία και +4°C στη θάλασσα Μποφόρ. Τον Ιούνιο, η ατμόσφαιρα πάνω από τον Αρκτικό ωκεανό δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέση κατάστασή της, ενώ τον Ιούλιο η απόκλιση από τη μέση τιμή κυμαίνεται μεταξύ -3,5°C έως +3°C. Τον Αύγουστο, η θερμοκρασιακές διαφορές κατανέμονται όπως και τον Μάιο. Τον Σεπτέμβριο, η ατμόσφαιρα είναι κυρίως ψυχρότερη και στη θάλασσα Μποφόρ και στο Καναδικό Αρχιπέλαγος σημειώνεται απόκλιση της τάξης των -3,5°C. Ενδιαφέρον, όμως, παρουσιάζεται στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας και στην Αλάσκα, όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες κατά 4°C. Τον τελευταίο μήνα μελέτης, η ατμόσφαιρα πάνω από τον Αρκτικό ωκεανό είναι ψυχρότερη έως 6°C από τη μέση κατάσταση της, με εξαίρεση τη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας όπου η θερμοκρασιακή διαφορά φτάνει τους +8°C. Οι υψηλότερες τιμές που σημειώνονται το 1995 είναι πιθανόν η αίτια της μείωσης της έκτασης του αρκτικού παγοκαλύμματος.



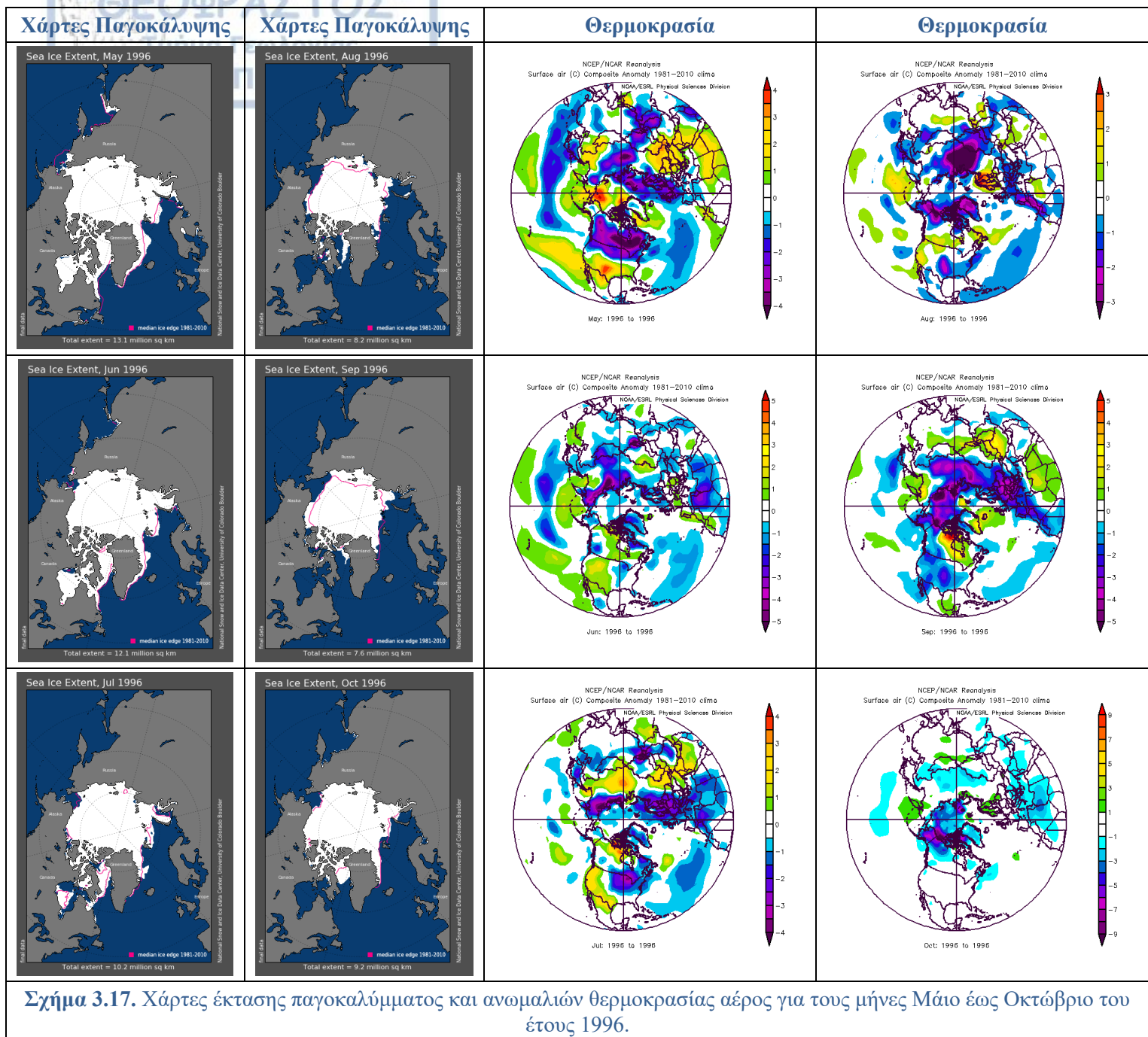
Σχήμα 3.16. Χάρτες έκτασης παγοκάλυψης και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1995.

Έτος 1996

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του 1996, το παγοκάλυμμα έχει αντίστοιχη έκταση με τη μέση τιμή του για το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται τους περισσότερους μήνες μεταξύ -5°C έως $+5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010. Μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται τον Οκτώβριο.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη θάλασσα Μπάρεντς. Καλύπτει μία έκταση $13,1 \text{ εκ. km}^2$. Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν υπάρχει επίσης παγοκάλυψη. Σε αντίθεση όμως με το έτος 1995, υπάρχει ελάχιστος πάγος στην Οχοτσική θάλασσα. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή $7,6 \text{ εκ. km}^2$, έκταση πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τη προηγούμενη χρονιά (Σχήμα 3.16, 3.17). Με την πτώση της θερμοκρασίας τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου καλύπτει πάλι μια περιοχή $9,2 \text{ εκ. km}^2$.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, σημειώνεται απόκλιση έως -4°C βορειότερα της Σιβηρίας και έως $+4^{\circ}\text{C}$ νοτιότερα της Γροιλανδίας και στις θάλασσες Μποφόρ και Τσούκτσι. Τους επόμενους τρεις μήνες, η απόκλιση της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -5°C έως $+3,5^{\circ}\text{C}$, με τις χαμηλότερες τιμές να επικρατούν σε όλη την έκταση της Αρκτικής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τον Αύγουστο, καθώς η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη κατά $+3^{\circ}\text{C}$ μόνο πάνω από τη θάλασσα Κάρα και αυτό έχει οδηγήσει στην απουσία πάγων στην περιοχή. Η απόκλιση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη τον Σεπτέμβριο, όταν κυμαίνεται μεταξύ -5°C σε όλη την έκταση μεταξύ του Βερίγγειου πορθμού και του Βόρειου Πόλου και $+5^{\circ}\text{C}$ στον Βόρειο Καναδά. Σημαντικά χαμηλές θερμοκρασίες εμφανίζονται σε ολόκληρη τη περιοχή της Ευρώπης. Τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, εντοπίζονται οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, η τιμή της οποίας φτάνει τους -9°C στη θάλασσα Μποφόρ και τον κόλπο Μπάφιν. Θερμοκρασίες που συνδέονται με την επέκταση, πέρα του φυσιολογικού, των πάγων στον κόλπο Μπάφιν. Αντίθετα, στη βόρεια θάλασσα Κάρα, η ανωμαλία προσεγγίζει τους $+3^{\circ}\text{C}$.

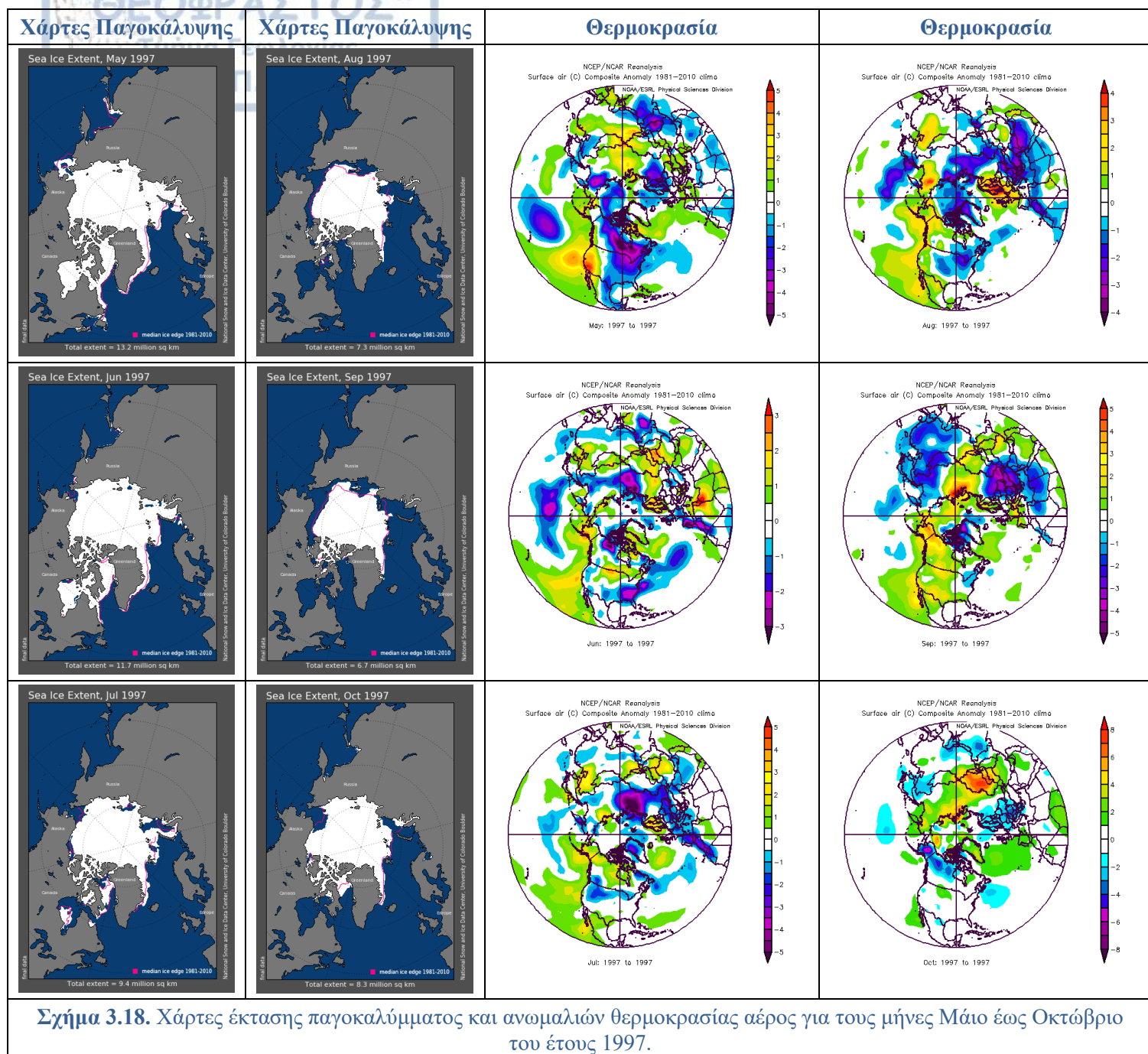


Έτος 1997

Το 1997, η έκταση του παγοκάλυμματος τη θερινή περίοδο πλησιάζει την αντίστοιχη μέση τιμή της για τα έτη 1981-2010. Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι κυρίως υψηλότερη σχεδόν σε όλη την περίοδο σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 13,2 εκ. km² από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν (Σχήμα 3.18). Έως και τον Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή που καλύπτει μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στα 6,7 εκ. km². Είναι γεγονός πως το παγοκάλυμμα μειώνεται περιμετρικά και σε κάποιες περιοχές μάλιστα απουσιάζει σε αντίθεση με τη μέση κατάστασή του κατά το διάστημα 1981-2010. Τον Οκτώβριο, η παγοκάλυψη εκτείνεται περίπου 8,3 εκ. km², έκταση που θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι τον Μάιο του επόμενου έτους.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία εμφανή διαφορά από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η ατμόσφαιρα πάνω από τη μισή έκταση του αρκτικού ωκεανού, δηλαδή στις θάλασσες Μπάρεντς, Κάρα, Ανατολικής Σιβηρίας, Τσούκτσι και Μποφόρ είναι ψυχρότερη της τάξης των -0,5°C έως -4°C. Η μέγιστη αρνητική απόκλιση -5°C παρατηρείται νότια του κόλπου Χάτσον. Στην υπόλοιπη έκταση εμφανίζονται θερμότερες θερμοκρασίες που φθάνουν έως τους +3,5°C στο Καναδικό Αρχιπέλαγος και τη θάλασσα Λάπτεφ. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, η ατμόσφαιρα εμφανίζει μικρή απόκλιση και μόνο κατά το δεύτερο μήνα σημειώνεται θερμοκρασία ψυχρότερη κατά 5°C στην κεντρική Σιβηρία. Η περιοχή που περιβάλλει τον Αρκτικό ωκεανό εμφανίζει υψηλότερες τιμές τον Αύγουστο, ενώ το κεντρικό κομμάτι του είναι ψυχρότερο από τη μέση κατάσταση του. Το ίδιο συμβαίνει και τον επόμενο μήνα, με τη διαφορά ότι η θερμότερη περιοχή είναι μεγαλύτερη. Σε κάποιες θέσεις παρουσιάζεται απόκλιση +5°C. Σε αντίθεση με τον μήνα Οκτώβριο των προηγούμενων ετών, η ατμόσφαιρα πάνω από το αρκτικό παγοκάλυμμα είναι κατά βάση θερμότερη και μόνο στις θάλασσες Κάρα και Μπάρεντς και στο Καναδικό Αρχιπέλαγος οι τιμές της θερμοκρασίας φτάνουν έως τους -7°C. Ειδικά στον ωκεανό στη Βορειοανατολική Ασία, οι υψηλές θερμοκρασίες που εμφανίζονται σε όλη τη διάρκεια της θερμής περιόδου οδηγούν στη μείωση της παγοκάλυψης στην περιοχή.

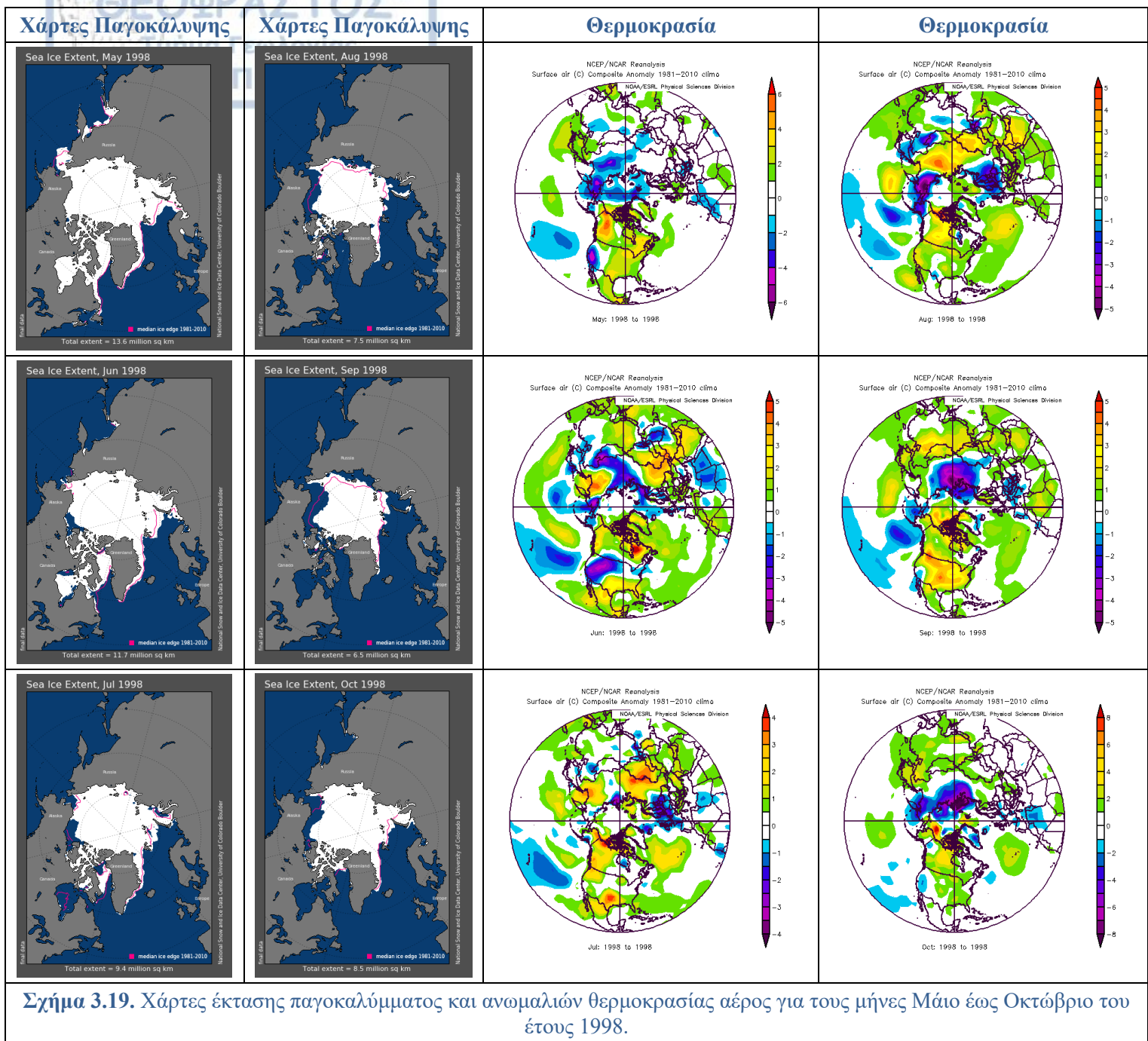


Έτος 1998

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1998, το παγοκάλυμμα εμφανίζεται μειωμένο σε σχέση με τη μέση έκταση που καταλαμβάνει κατά το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μία εικόνα θέρμανσης στις περισσότερες περιοχές του βορείου ημισφαιρίου.

Τον πρώτο μήνα μέλετης, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Καλύπτει μία έκταση 13,6 εκ. km². Οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν, καθώς και ένα τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας είναι επίσης παγωμένοι. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και τον Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή 6,5 εκ. km². Ωστόσο, η παγοκάλυψη ήδη από τον Ιούνιο παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη μέση έκταση της για το διάστημα 1981-2010 (Σχήμα 3.19). Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις θάλασσες Μποφόρ και Τσούκτσι. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται κυρίως προς τη θάλασσα Κάρα, αλλά ένα μεγάλο μέρος πάγου συνεχίζει να απουσιάζει βορειότερα της Αλάσκας.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλη διαφορά στις τιμές της σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, ο μισός Αρκτικός ωκεανός βορειότερα της αμερικανικής ηπείρου είναι θερμότερος, με μέγιστη θερμοκρασία να σημειώνεται στους +5°C στον Βορειοδυτικό Καναδά. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η μειωμένη παγοκάλυψη της περιοχής. Αντίθετα, στις θάλασσες Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ, η ατμόσφαιρα είναι ψυχρότερη από τη μέση κατάσταση του προαναφερμένου χρονικού διαστήματος και φτάνει τους -5°C στον Βερίγγειο πορθμό. Τους επόμενους τρεις μήνες, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ -5°C έως +5°C. Επικρατούν κυρίως οι υψηλότερες τιμές της, με εξαίρεση τη Βερίγγειο θάλασσα και τη θαλάσσια περιοχή της Βόρειας Ευρώπης. Τον Σεπτέμβριο, η ατμόσφαιρα πάνω από σχεδόν όλο τον Αρκτικό ωκεανό είναι θερμότερη της μέσης κατάστασής της. Γενικά, η θερμοκρασία τον μήνα αυτό κυμαίνεται μεταξύ -4,5°C έως +4,5°C. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου μήνα της θερμής περιόδου, οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις μέσες τιμές τους. Στη θάλασσα βόρεια της Σιβηρίας καταγράφεται θερμοκρασιακή απόκλιση της τάξης των -8°C ενώ στη θάλασσα Μποφόρ η διαφορά προσεγγίζει τους +8°C.



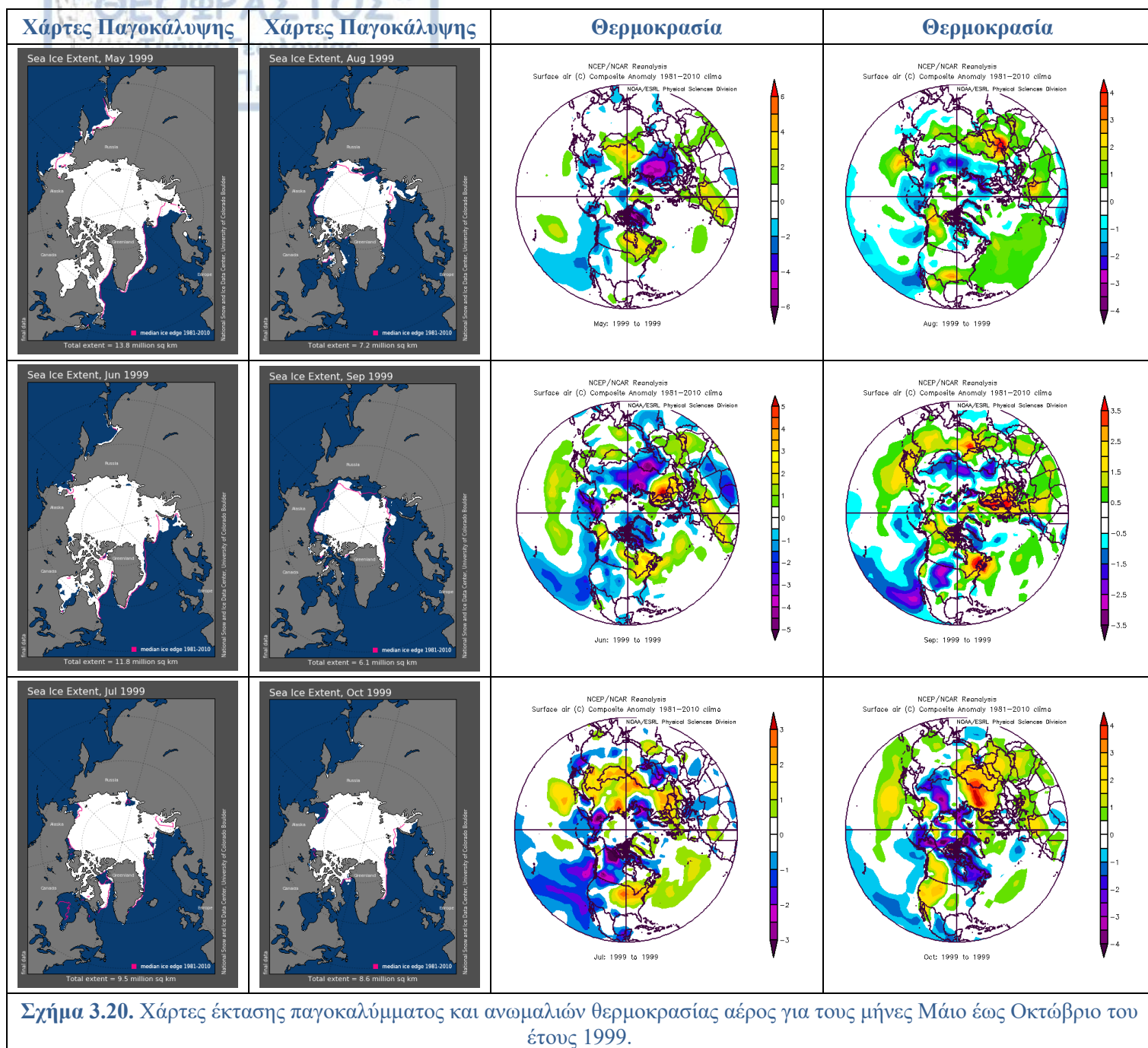
Σχήμα 3.19. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1998.

Έτος 1999

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 1999, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει περίπου την ίδια έκταση με την αντίστοιχη μέση τιμή του για τα έτη 1981-2010. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σημειώνουν μία σχετικά μέτρια απόκλιση από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 13,8 εκ. km² από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Μέσα στη θερινή περίοδο αρχίζει και μειώνεται σταδιακά. Τον Ιούλιο, η παγοκάλυψη απουσιάζει στον κόλπο Χάτσον και σε τμήματα του κόλπου Μπάφιν και της θάλασσας Μποφόρ. Παρόμοια μείωση του παγοκαλύμματος παρουσιάζεται σε όλη την Αρκτική τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, όταν τελικά καλύπτει μία περιοχή της τάξης των 6,1 εκ. km², τιμή κοντά στην ελάχιστη της δεκαετίας (Σχήμα 3.20). Ωστόσο, τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, το παγοκάλυμμα αρχίζει να αυξάνεται ξανά.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά περίπου -4,5°C έως +5°C από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Εξάιρεση αποτελεί ο πρώτος μήνας της θερμής περιόδου, κατά τη διάρκεια του οποίου σημειώνεται απόκλιση -6°C στο Καναδικό Αρχιπέλαγος και τον κόλπο Μπάφιν και +5°C στον κόλπο Χάτσον. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, η ατμόσφαιρα πάνω από τη Γροιλανδία είναι θερμότερη, ενώ πάνω από τον υπόλοιπο Αρκτικό ωκεανό είναι ως επί το πλείστον ψυχρότερη. Στον όγδοο μήνα του έτους, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία πάνω από όλη την περιοχή της Αρκτικής είναι ελαφρώς χαμηλότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010. Τον Σεπτέμβριο, οι διαφορές των τιμών κυμαίνονται μεταξύ -3°C έως +3,5°C και κατανέμονται ανομοιόμορφα σε όλη την Αρκτική. Κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου σημειώνονται χαμηλότερες θερμοκρασίες έως -4°C στη θάλασσα περιοχή της Βόρειας Αμερικής καθώς και στη θάλασσα Λάπτεφ. Σε ελάχιστα τμήματα της Αρκτικής, είναι η ατμόσφαιρα θερμότερη έως +4°C, κυρίως στη Δυτική Ασία.



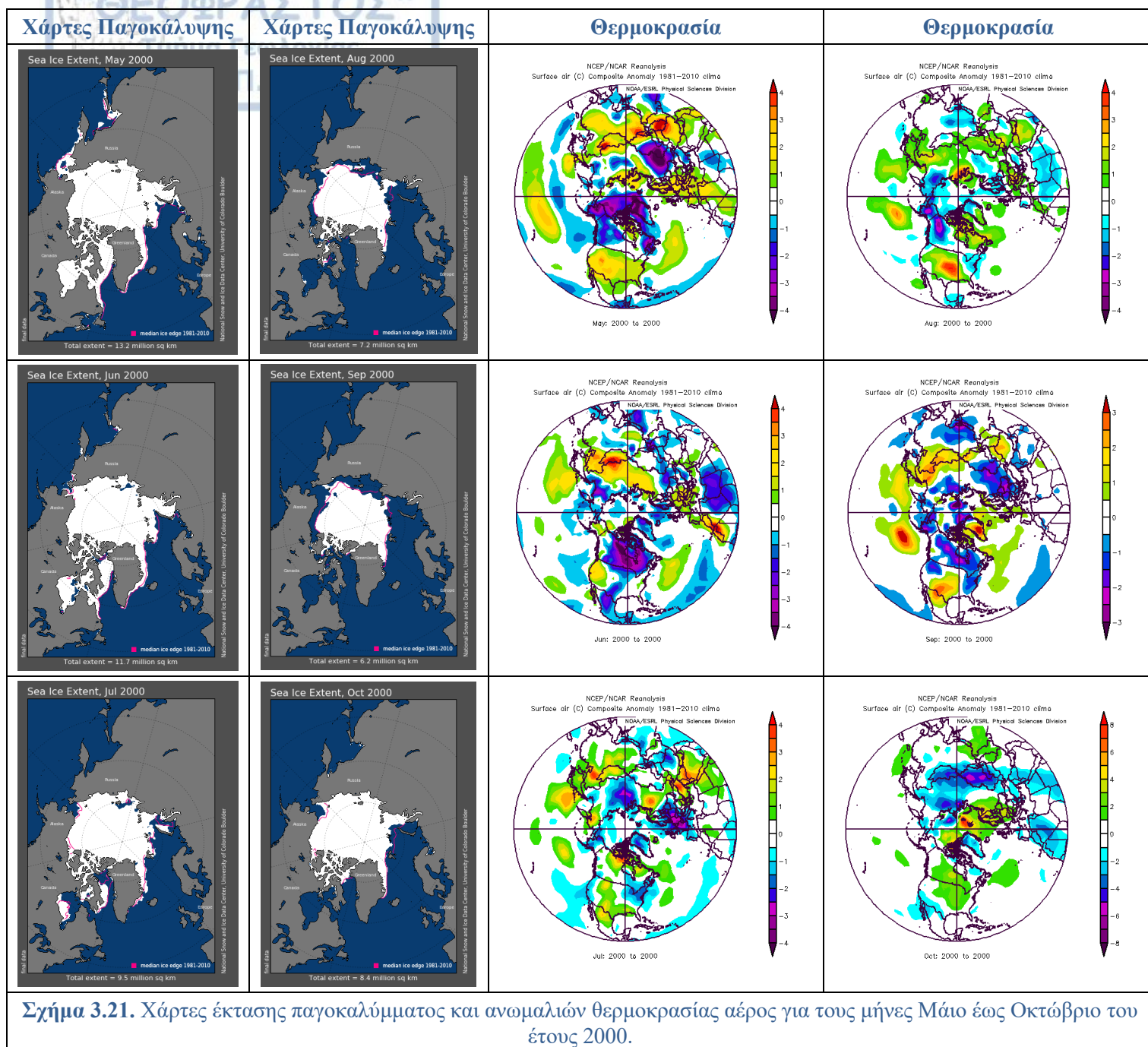
Σχήμα 3.20. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 1999.

Έτος 2000

Κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιο έως Οκτώβριο του 2000, το παγοκάλυμμα καλύπτει περίπου την ίδια έκταση με την αντίστοιχη μέση τιμή του για το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει σχετικά μικρές αποκλίσεις στις τιμές της από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της κατά τα έτη 1981-2010. Εξαίρεση αποτελεί ο Οκτώβριος, ο οποίος εμφανίζει μεγαλύτερη διαφορά.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,2 εκ. km². Ο πάγος εκτείνεται από τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς έως το βόρειο τμήμα της Βεριγγείου θάλασσας. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο. Σε αντίθεση με το προηγούμενο έτος, στην Οχοτσική θάλασσα υπάρχει ελάχιστη παγοκάλυψη (Σχήμα 3.20, 3.21). Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά. Τον Σεπτέμβριο, εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, καταλαμβάνοντας περιοχή 6,2 εκ. km². Τον Οκτώβριο, ο πάγος εκτείνεται 8,4 εκ. km² με λιγότερο όμως πάγο στα βόρεια τμήματα των θαλασσών Μπάρεντς και Κάρα.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν τους περισσότερους μήνες της θερμής περιόδου σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά της τάξης των -4°C έως +4°C από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, σχεδόν όλος ο Αρκτικός ωκεανός είναι ψυχρότερος και μόνο παράκτια της Ευρασίας επικρατούν θερμότερες συνθήκες. Τους επόμενους δύο μήνες συνεχίζουν να κυριαρχούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή της θάλασσας Μποφόρ τον Ιούνιο και το Καναδικό Αρχιπέλαγος τον Ιούλιο. Τον Αύγουστο, οι θερμότερες περιοχές συναντώνται στο κεντρικό τμήμα της Βόρειας Σιβηρίας, το Καναδικό Αρχιπέλαγος και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Ωστόσο, η απόκλιση τους από τη μέση τιμή είναι της τάξης των έως +3,5°C. Κατά τον μήνα με τη μικρότερη παγοκάλυψη, η ατμόσφαιρα πάνω από την Αρκτική είναι κυρίως ψυχρότερη, με εξαίρεση την περιοχή που περιβάλλει τη Γροιλανδία. Τον Οκτώβριο, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αποκλίνει από τη μέση τιμή κατά -6°C στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας και +7°C βορειανατολικά της Γροιλανδίας. Γενικότερα, οι τιμές της θερμοκρασίας είναι υψηλότερες το μήνα αυτόν.



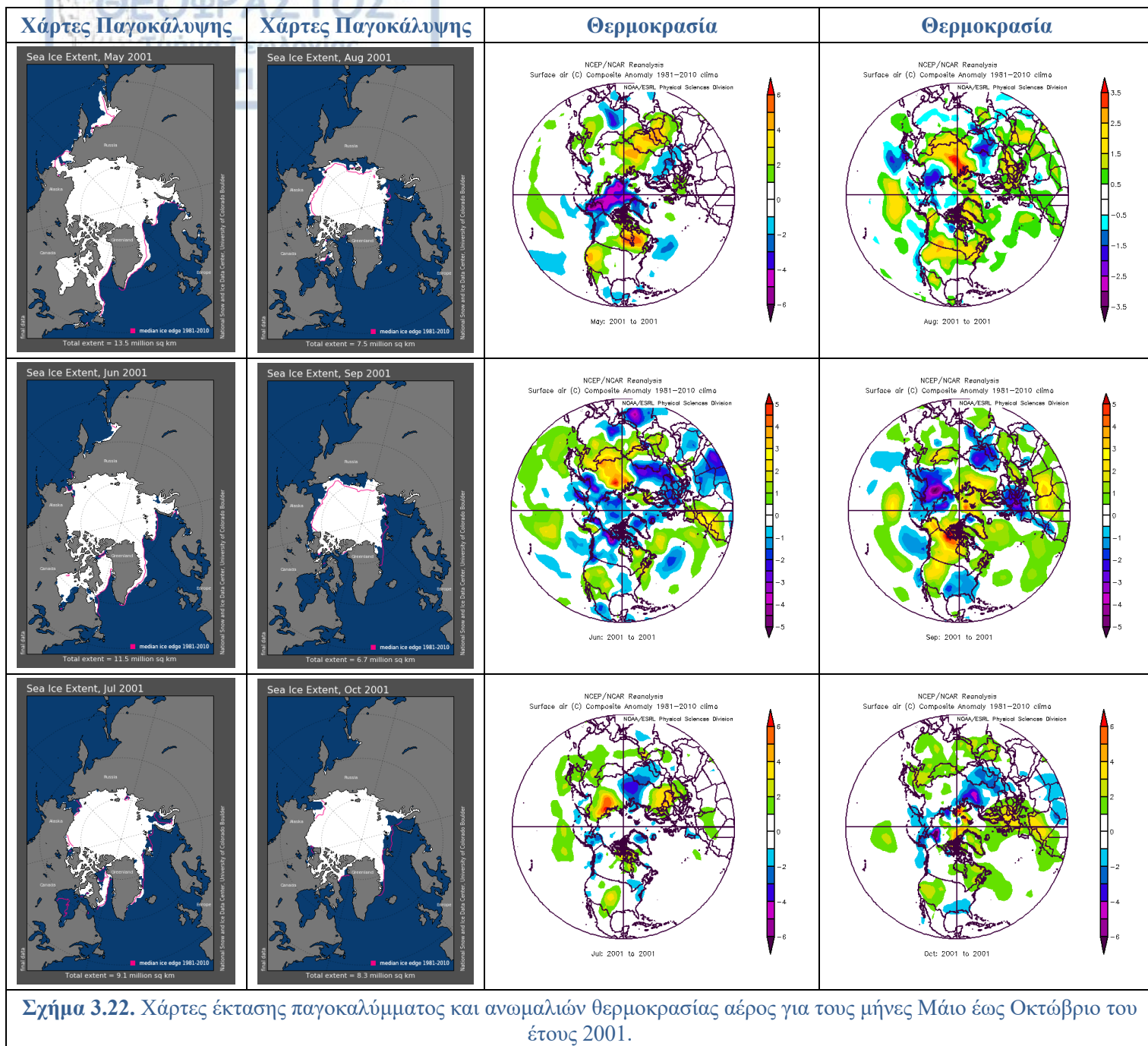
Σχήμα 3.21. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2000.

Έτος 2001

Κατά τη θερμή περίοδο του έτους 2001, το αρκτικό παγοκάλυμμα καλύπτει σχετικά μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση περιοχή κατά την περίοδο 1981-2010. Η ατμόσφαιρα σε όλη την Αρκτική εμφανίζει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές σε σχέση με τις μέσες τιμές της κατά την προαναφερθείσα περίοδο.

Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καλύπτει μία έκταση 13,5 εκ. km² από την περιοχή της θάλασσας Κάρα έως τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Επίσης, ένα μεγάλο τμήμα της Οχοτσκικής θάλασσας καθώς και οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν καλύπτονται από πάγο. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά μέχρι τον Σεπτέμβριο, όταν έχει τιμή 6,7 εκ. km². Σε αντίθεση με τα προηγούμενα έτη, οι πάγοι απουσιάζουν από πολλές αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από αυτούς, κυρίως όσον αφορά στον κόλπο Χάτσον τον Ιούλιο και τη θαλάσσια περιοχή βορειοανατολικά της Γροιλανδίας (Σχήμα 3.22). Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αρχίζει να αυξάνεται σε έκταση, φτάνοντας τα 8,3 εκ. km², δηλαδή ελάχιστα μικρότερη από την περιοχή που κάλυπτε τον Οκτώβριο του 2000.

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας εμφανίζουν έντονη διακύμανση σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010. Τον Μάιο, η ανωμαλία κυμαίνεται μεταξύ των -6°C στις θάλασσες Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας και +5°C στον κόλπο Χάτσον. Τον Ιούνιο, ο Αρκτικός ωκεανός είναι ως επί το πλείστον ψυχρότερος με θερμοκρασιακή απόκλιση που κυμαίνεται μεταξύ -4,5°C έως +6°C. Αντίθετα, η κατάσταση της ατμόσφαιρας τον Ιούλιο δεν διαφέρει ιδιαίτερα στη μεγαλύτερη έκταση της Αρκτικής. Εξάιρεση αποτελούν οι περιοχές του Καναδικού Αρχιπελάγους, του κόλπου Χάτσον και της θάλασσας της Ανατολικής Σιβηρίας στις οποίες σημειώνεται θερμοκρασιακή απόκλιση έως +6°C και μάλλον αποτελεί την αιτία για τη μειωμένη παγοκάλυψη. Τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο, η αρκτική ατμόσφαιρα είναι κυρίως θερμότερη, φτάνοντας τους +3,5°C (Βόρεια Ασία) και +5°C (Βόρειος Καναδάς), αντίστοιχα. Παρόμοια κατάσταση παρατηρείται και τον Οκτώβριο. Οι τιμές της θερμοκρασίας διαφέρουν από -6°C μεταξύ των θαλασσών Μποφόρ και Τσούκτσι και +6°C βορειότερα της Σιβηρίας. Ενδιαφέρον, όμως, σημειώνεται στις θάλασσες Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ, όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες κατά 6°C.

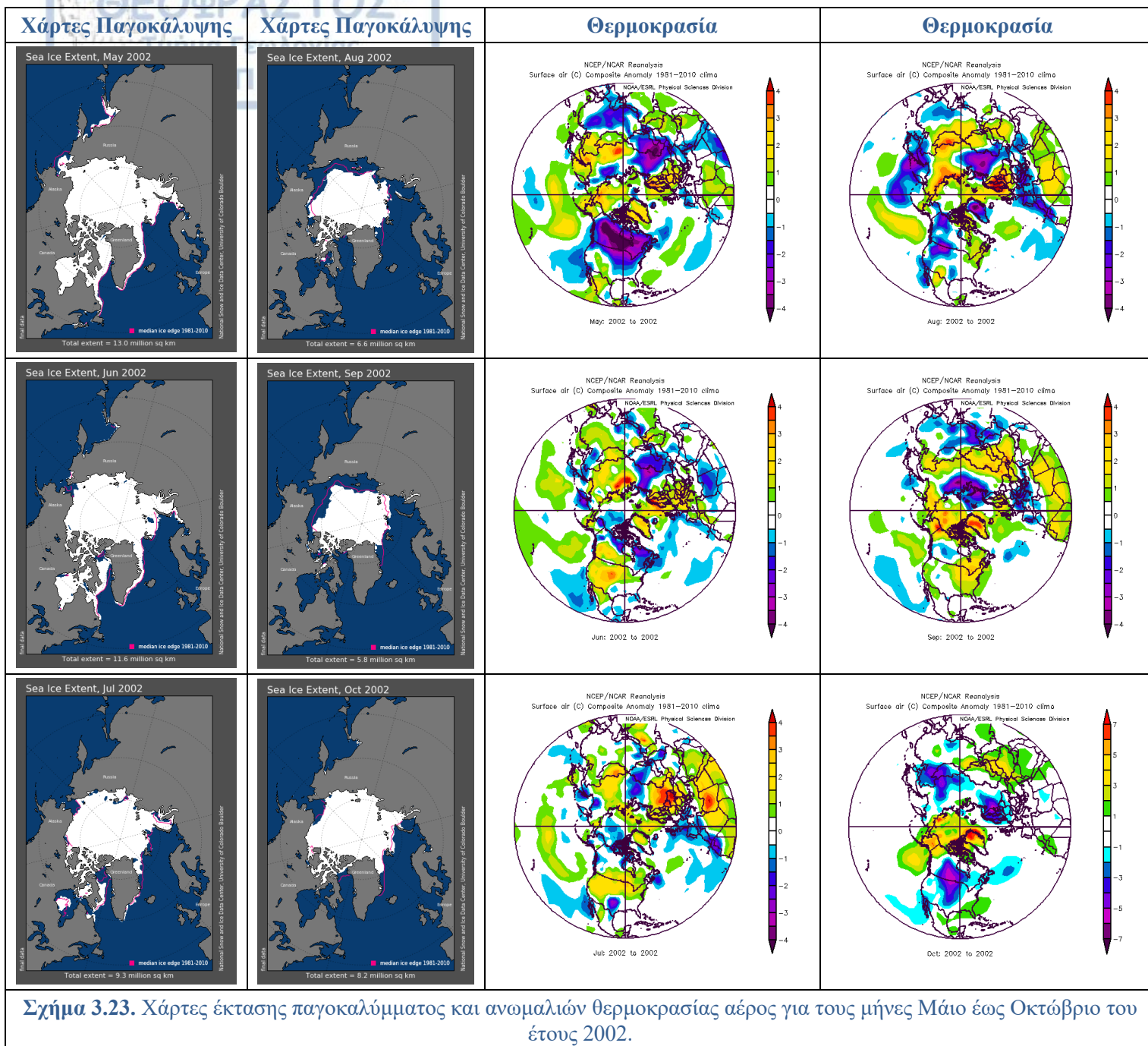


Έτος 2002

Τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2002, το παγοκάλυμμα παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με τη μέση κατάσταση του για το διάστημα 1981-2010, ενώ από τον Ιούλιο έως τον Οκτώβριο η παγοκάλυψη είναι σαφώς μειωμένη. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ -4°C έως $+4^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010. Μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται τον Οκτώβριο.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα και την Οχοτσική θάλασσα έως τη θάλασσες της Γροιλανδίας και τη Μπάρεντς. Καλύπτει μικρότερη έκταση ($13,0 \text{ εκ. km}^2$) σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια (Σχήμα 3.23). Ωστόσο, ένα τμήμα της Βερίγγειου θάλασσας δεν είναι παγωμένο σε αντίθεση με τη μέση παγωμένη περιοχή για το διάστημα 1981-2010. Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν υπάρχει επίσης παγοκάλυψη. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όπου έφτασε σε εξαιρετικά χαμηλό των $5,8 \text{ εκ. km}^2$, η μικρότερη καταγεγραμμένη τιμή από το 1980. Σημαντική μείωση των πάγων παρατηρείται περιμετρικά της Αρκτικής τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται και καλύπτει πάλι μια περιοχή $8,2 \text{ εκ. km}^2$.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μέτριες αποκλίσεις από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010, με εξαίρεση τον τελευταίο μήνα που σημειώνει μεγαλύτερη διαφορά. Τον Μάιο, παρατηρείται απόκλιση έως -4°C στον κόλπο Χάτσον και σε μεγάλο τμήμα του Καναδά και έως $+3,5^{\circ}\text{C}$ στις θάλασσες Κάρα και Τσούκτσι. Τους επόμενους τρεις μήνες οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κοντά στην ήπειρο της Αμερικής, ενώ η μισή έκταση του Αρκτικού ωκεανού βόρεια της Ευρασίας είναι θερμότερη. Η απόκλιση της θερμοκρασίας τον Σεπτέμβριο κυμαίνεται μεταξύ -4°C έως $+4^{\circ}\text{C}$. Γεγονός είναι πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες κυριαρχούν σε όλη την Αρκτική και μοναδική εξαίρεση αποτελεί η θαλάσσια περιοχή της Σιβηρίας. Όπως είναι αναμενόμενο, τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου εντοπίζονται οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, η τιμή της οποίας φτάνει τους -6°C στη θάλασσα Κάρα και τους $+7^{\circ}\text{C}$ στις θάλασσες Ανατολικής Σιβηρίας και Γροιλανδίας.

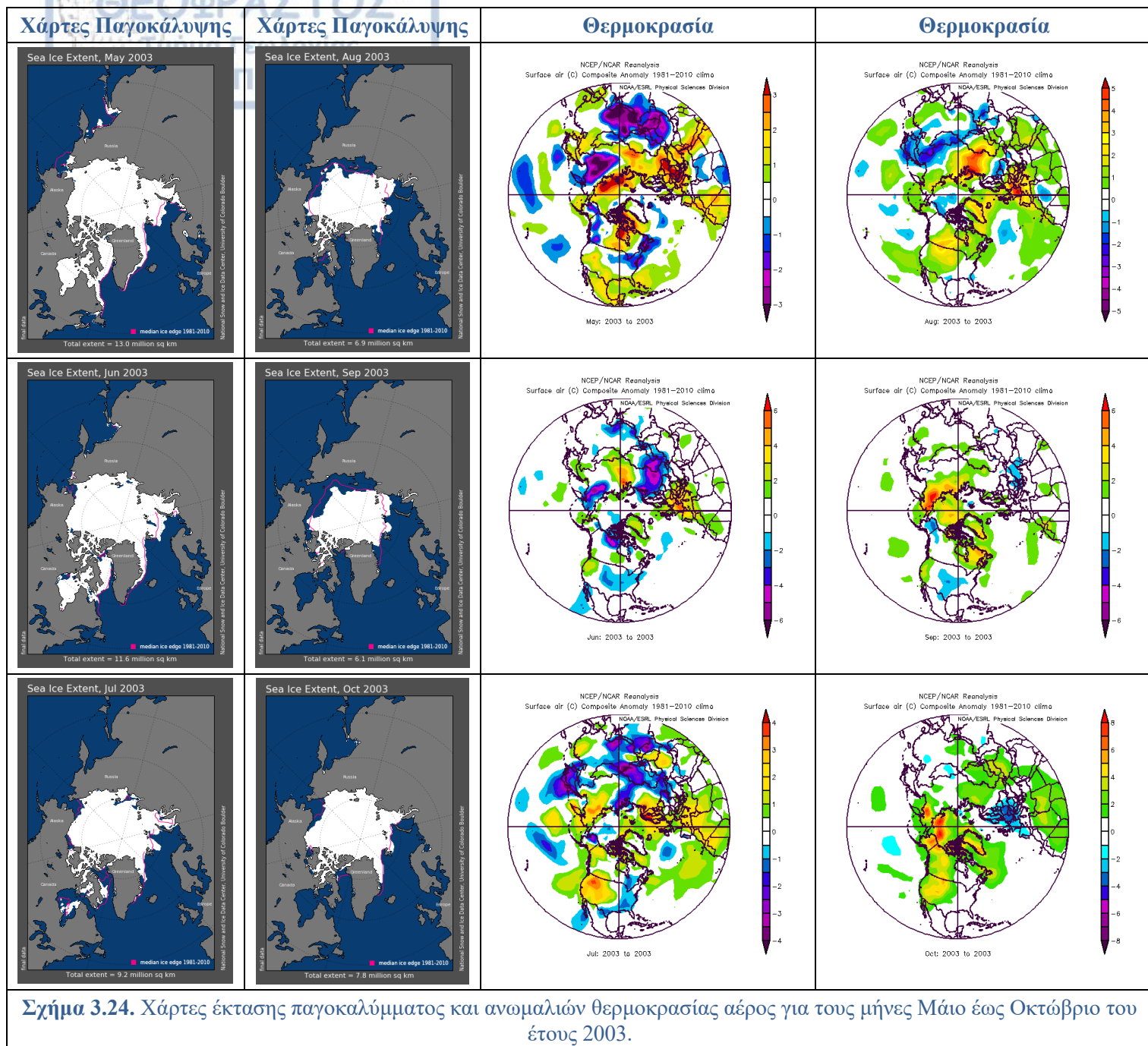


Έτος 2003

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 2003, το παγοκάλυμμα καλύπτει μικρότερη περιοχή από την αντίστοιχη μέση έκταση του το διάστημα 1981-2010. Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι χαρακτηριστικά υψηλότερη καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει για δεύτερη χρόνια την έκταση των 13,0 εκ. km² από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Σημαντική διαφορά ως προς τη μέση έκταση που καλύπτεται από πάγους το διάστημα 1981-2010 είναι η απουσία αυτών στη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Έως και τον Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή παγοκάλυψης μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή της είναι 6,1 εκ. km². Είναι γεγονός πως το παγοκάλυμμα μειώνεται περισσότερο σε κάποιες περιοχές σε σχέση με τη μέση κατάστασή του, ειδικά στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν και τις θάλασσες Μποφόρ και Τσούκτσι (Σχήμα 3.24). Τον Οκτώβριο, η παγοκάλυψη εκτείνεται περίπου 7,8 εκ. km², έκταση που θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι τον Μάιο του επόμενου έτους.

Η ατμόσφαιρα σε όλη την έκταση της Αρκτικής παρουσιάζει μία εμφανή θέρμανση σε σχέση με την μέση κατάστασή της κατά την περίοδο 1981-2010. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ -3°C έως +3°C, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να επικρατούν. Η απόκλιση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη τον Ιούνιο με τις τιμές της μεταξύ -5°C έως +5°C, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο μεταξύ -3°C έως +5°C. Είναι αξιοσημείωτο ότι το μεγαλύτερο τμήμα του Αρκτικού κύκλου χαρακτηρίζεται από θερμοκρασίες υψηλότερες του μέσου όρου. Τους τελευταίους δύο μήνες, η ατμόσφαιρα είναι ψυχρότερη μόνο πάνω από τη θάλασσα Μποφόρ. Παρόμοια θέρμανση παρατηρείται και τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο. Το Σεπτέμβριο, η Βορειοανατολική Ασία, ο Βορειοανατολικός Καναδάς και η Γροιλανδία είναι μέχρι και 6°C θερμότεροι από τη μέση κατάσταση. Τον δέκατο μήνα του χρόνου, μάλιστα, σημειώνεται απόκλιση έως +8°C στις θάλασσες Τσούκτσι και Μποφόρ. Ψυχρότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται μόνο στην περιοχή της Ευρώπης. Συνεπώς, πρόκειται για ένα αρκετά θερμό έτος, γεγονός που αιτιολογεί τη μικρότερη έκταση του παγοκαλύμματος.

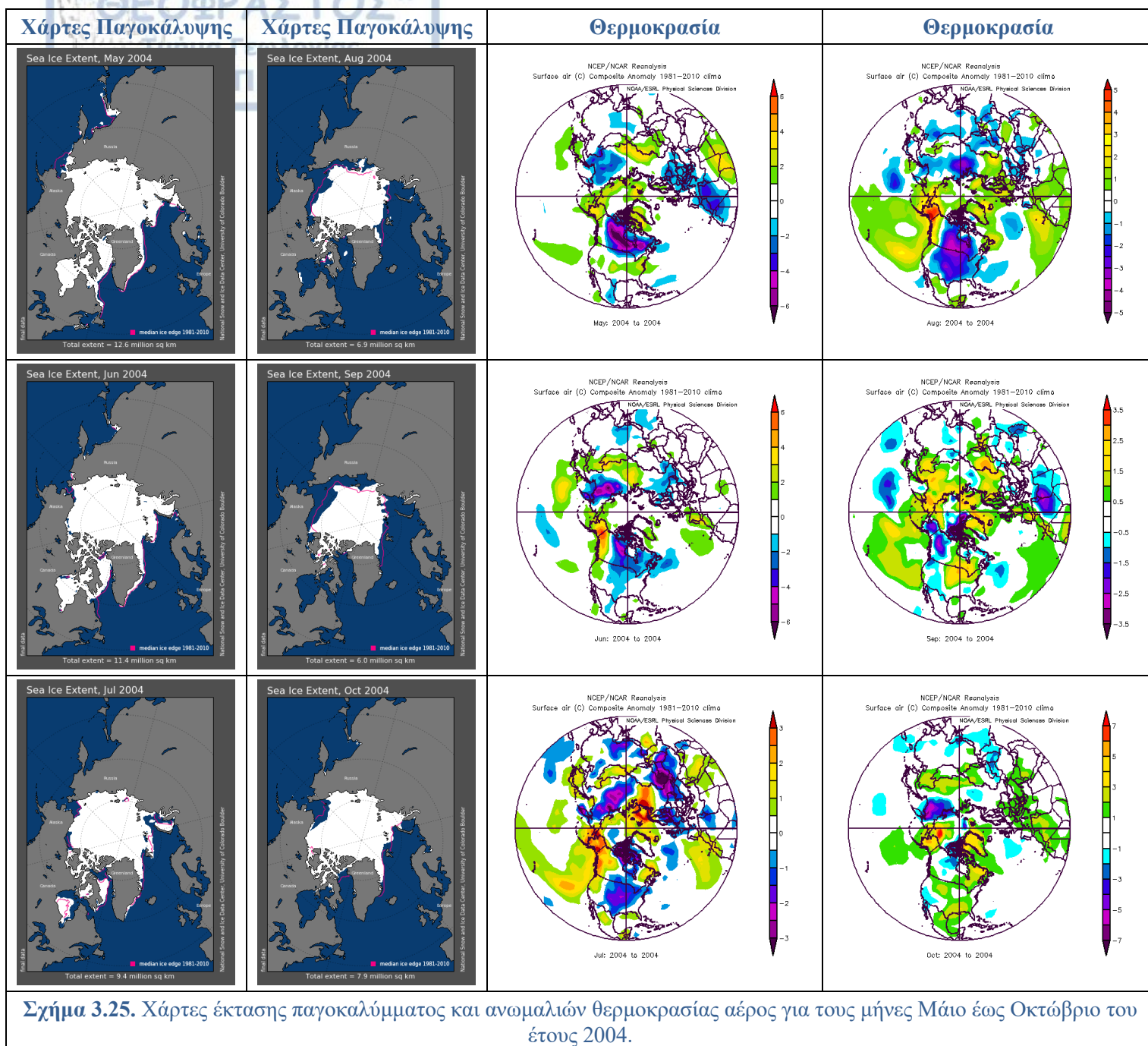


Έτος 2004

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2004, το παγοκάλυμμα είναι εμφανώς μειωμένο, ιδιαίτερα τους μισούς μήνες, σε σχέση με τη μέση έκταση που καταλαμβάνει κατά το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010.

Τον πρώτο μήνα μέλετης, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Καλύπτει μία σημαντικά μικρή έκταση της τάξης των 12,6 εκ. km². Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν καθώς κι σε ένα μικρό παράκτιο τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας υπάρχει παγοκάλυψη (Σχήμα 3.25). Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά τους επόμενους μήνες έως και το Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή 6,0 εκ. km². Ωστόσο, ενώ η συνολική έκταση του παγοκαλύμματος είναι μικρότερη από τη μέση τιμή της για το διάστημα 1981-2010, από τον Αύγουστο η έλλειψη των πάγων είναι πιο εμφανής, κυρίως στη περιοχή των θαλασσών Τσούκτσι και Μποφόρ. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται, αλλά ένα μεγάλο μέρος του παγοκαλύμματος συνεχίζει να απουσιάζει βορειότερα της Αλάσκας και του κόλπου Μπάφιν.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλη διαφορά στις τιμές της σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Γεγονός αδιαμφισβήτητο είναι πως κατά τη θερμή περίοδο του 2004, η ατμόσφαιρα πάνω από όλη την έκταση της Αρκτικής είναι θερμότερη. Τον Μάιο, οι μέγιστες θερμοκρασιακές αποκλίσεις σημειώνονται στους -6°C στον Βόρειο Καναδά και +4°C στον Βερίγγειο πορθμό, τον κόλπο Μπάφιν και τη θάλασσα Λάπτεφ. Τον Ιούνιο, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι ως επί το πλείστον παρόμοια με τη μέση τιμή της, με εξαίρεση την περιοχή της Αλάσκας και το Καναδικό Αρχιπέλαγος όπου παρατηρούνται τιμές +5°C και -5°C αντίστοιχα. Τους επόμενους τρεις μήνες, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ -4°C - +5°C. Επικρατούν κατά βάση οι υψηλότερες τιμές της, με εξαίρεση την περιοχή κοντά στον κόλπο Χάτσον και το Καναδικό Αρχιπέλαγος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει τον Οκτώβριο η μέγιστη θερμοκρασία +7°C που σημειώνεται στη θάλασσα Τσούκτσι, την περιοχή όπου εμφανίζεται η μέγιστη θερμοκρασία και του Αυγούστου. Επίσης, και τον μήνα αυτό, η ατμόσφαιρα είναι ψυχρότερη στον Βορειοδυτικό Καναδά. Λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του 2004, η παγοκάλυψη είναι αρκετά μειωμένη σε αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από πάγο.



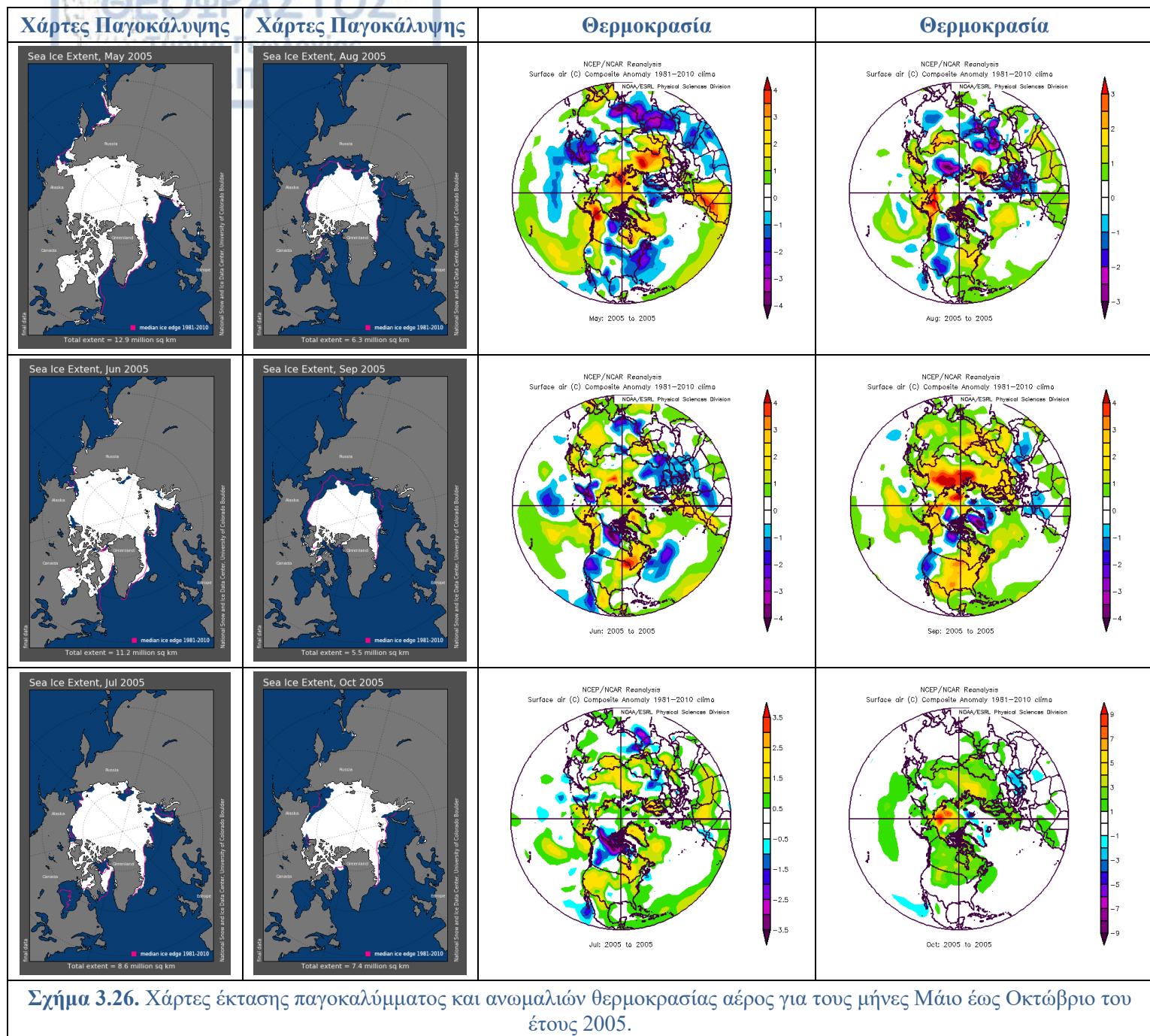
Σχήμα 3.25. Χάρτες έκτασης παγοκάλυψης και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2004.

Έτος 2005

Το 2005 είναι μία ιδιαίτερη χρονιά, καθώς το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει μία από τις μικρότερες εκτάσεις του για την περίοδο μελέτης. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σημειώνουν μία θετική απόκλιση σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα και γενικά επικρατούν θερμότερες συνθήκες.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει περιοχή 12,9 εκ. km² από ένα τμήμα της βόρειας Βεριγγείου θάλασσας έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Αρχίζει και μειώνεται σταδιακά μέσα στη θερινή περίοδο και τον Ιούλιο η παγοκάλυψη απουσιάζει στον κόλπο Χάτσον. Παρόμοια μείωση του παγοκαλύμματος παρουσιάζεται στην περιοχή της Αρκτικής βόρεια της Σιβηρίας τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, όταν τελικά καλύπτει μία περιοχή της τάξης των 5,5 εκ. km² (Σχήμα 3.26). Έκταση που είναι η μικρότερη που έχει καταγραφεί από το 1980. Τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, το παγοκάλυμμα αρχίζει να αυξάνεται ξανά, ωστόσο ένα μεγάλο τμήμα πάγου λείπει από τη θάλασσα Τσούκτσι.

Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν σε όλη την έκταση της Αρκτικής μία διαφορά περίπου -4°C έως +4°C από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Κατά τη διάρκεια όλων των μηνών, η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη πάνω από όλο τον Αρκτικό ωκεανό, με μόνη εξαίρεση την περιοχή του Καναδικού Αρχιπελάγους. Τον Αύγουστο είναι χαρακτηριστικές οι υψηλές θερμοκρασίες στη περιοχή της Αλάσκας και τον Σεπτέμβριο οι υψηλές θερμοκρασίες στη Βόρεια Ασία και στη θάλασσα Κάρα, που πιθανά να συνδέονται με τη μικρή έκταση του παγοκαλύμματος στη περιοχή. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται τον Οκτώβριο, όταν ελάχιστες είναι οι ψυχρότερες περιοχές με μέγιστη διαφορά τους -3°C. Αντίθετα, στη θάλασσα Τσούκτσι σημειώνεται η μεγαλύτερη απόκλιση των +9°C από τη μέση αντίστοιχη τιμή του διαστήματος 1981-2010. Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αιτιολογούν τη μειωμένη παγοκάλυψη στην Αρκτική το 2005.

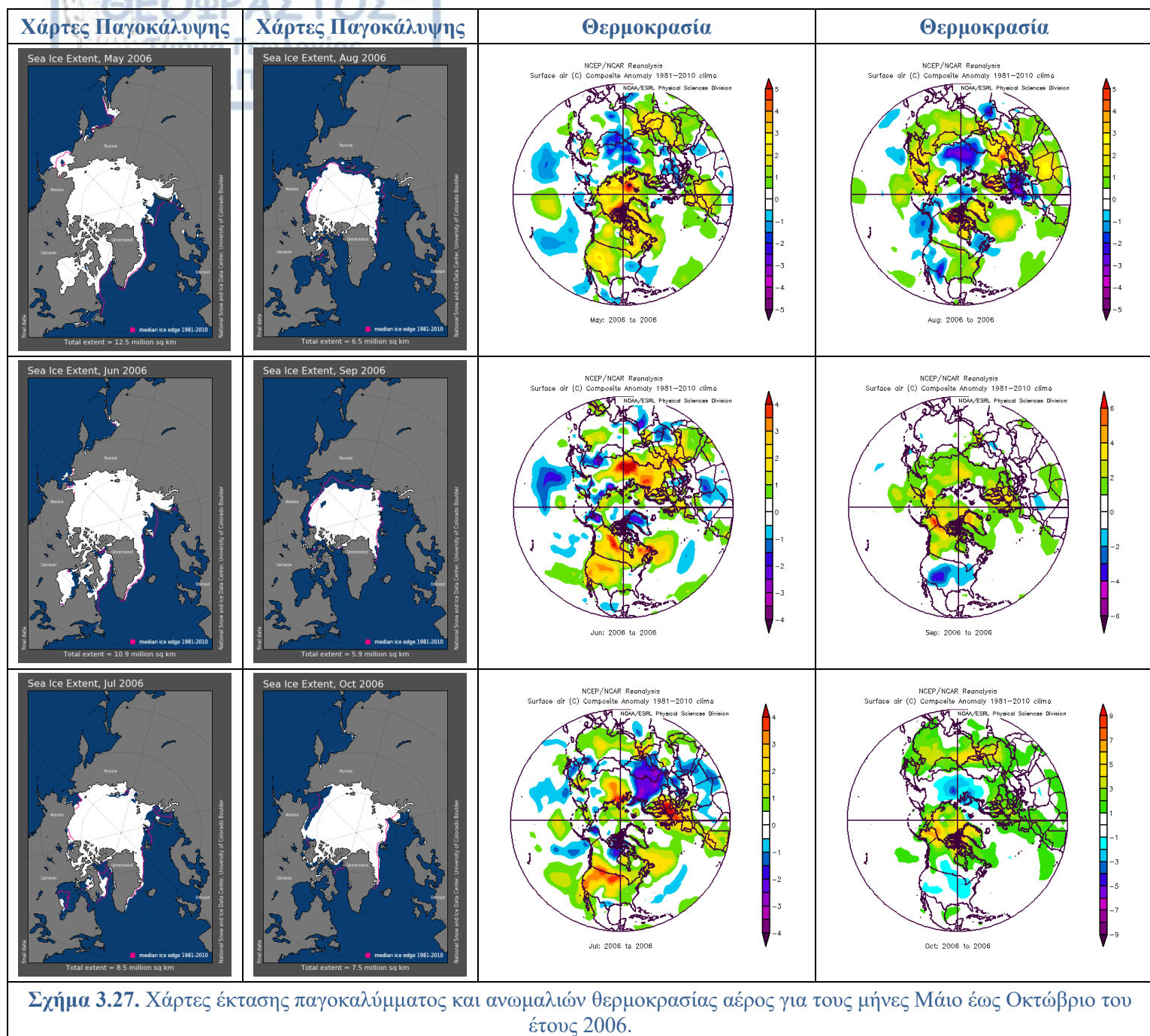


Έτος 2006

Όπως και τα προηγούμενα έτη, κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2006, το παγοκάλυμμα έχει μικρότερη έκταση από τη μέση περιοχή που καλύπτει το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι σαφώς θερμότερη από την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά τα έτη 1981-2010.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση περίπου 12,5 εκ. km² (Σχήμα 3.27). Ο πάγος εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα Κάρα. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο. Στην Οχοτσικική θάλασσα συναντάται ελάχιστη παγοκάλυψη, ενώ σε ένα μεγάλο τμήμα της βόρειας θάλασσας Μπάρεντς απουσιάζει εντελώς. Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά. Ιδιαίτερη μείωση της έκτασής του παρατηρείται τον Ιούλιο στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Τον Σεπτέμβριο, το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μικρότερη έκταση του, οπότε πλέον καταλαμβάνει 5,9 εκ. km², με μειωμένη την παρουσία του στις θάλασσες Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ. Τον Οκτώβριο, ο πάγος εκτείνεται 7,5 εκ. km², καταλαμβάνοντας ωστόσο λιγότερο πάγο στο Καναδικό Αρχιπέλαγος και στη θάλασσα Τσούκτσι σε σχέση με την αντίστοιχη μέση έκτασή του.

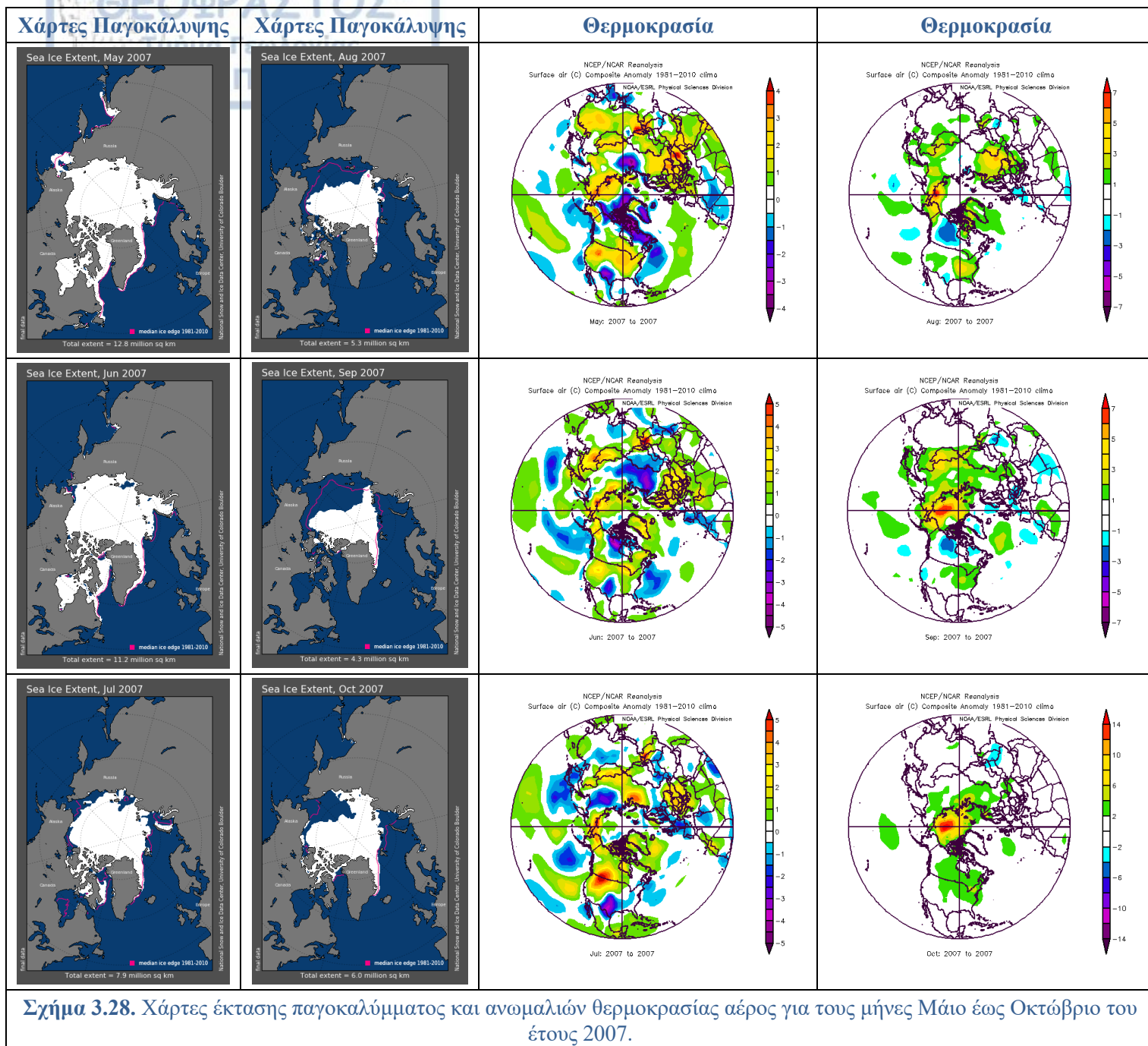
Η ατμόσφαιρα σε όλη την έκταση της Αρκτικής παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, σχεδόν όλος ο Αρκτικός ωκεανός είναι θερμότερος και μόνο στη Βερίγγειο θάλασσα και την περιοχή της Ισλανδίας συναντώνται ψυχρότερες τιμές της τάξης των έως -3°C. Τους επόμενους δύο μήνες συνεχίζουν να κυριαρχούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Εξαίρεση αποτελούν οι εκτάσεις στον Βερίγγειο πορθμό και τη Γροιλανδία τον Ιούνιο και ο Βερίγγειος πορθμός και το Καναδικό Αρχιπέλαγος τον Ιούλιο. Τον Αύγουστο, οι ψυχρότερες περιοχές συναντώνται στο Βόρειο Πόλο και τη Βερίγγειο θάλασσα. Αντίθετα, βόρεια της Αμερικής και στη θάλασσα Κάρα παρατηρούνται ανεβασμένες θερμοκρασίες έως +5°C. Τον Σεπτέμβριο, στην ατμόσφαιρα πάνω από την Αρκτική σημειώνονται μόνο υψηλότερες θερμοκρασίες από τη μέση τιμή. Αντίθετα, τον Οκτώβριο, παρατηρείται απόκλιση -5°C στη Σιβηρία και +7°C στην Αλάσκα.



Για άλλη μία χρονιά, το αρκτικό παγοκάλυμμα του έτους 2007 καλύπτει σχετικά μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση περιοχή του κατά την περίοδο 1981-2010. Η ατμόσφαιρα σε όλη την Αρκτική εμφανίζει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές σε σχέση με την αντίστοιχη κατάστασή της κατά την προαναφερθείσα περίοδο, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να κυριαρχούν σε όλη την περιοχή.

Το παγοκάλυμμα παρουσιάζεται μειωμένο περιμετρικά κατά τη διάρκεια όλων των μηνών. Τον Μάιο, καλύπτει μία έκταση 12,8 εκ. km² από τη θάλασσα Κάρα έως τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Επίσης, ένα μικρό τμήμα της Οχοτσικικής θάλασσας καθώς και οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν καλύπτονται από πάγο. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται με γρήγορους ρυθμούς μέχρι τον Σεπτέμβριο, όταν εκτείνεται στο ιστορικό χαμηλό 4,3 εκ. km². Έχει δηλαδή μειωθεί περίπου κατά 1/3 σε σχέση με τον Μάιο. Ο πάγος απουσιάζει από πολλές αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από αυτόν, κυρίως όσον αφορά τις θάλασσες Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ (Σχήμα 3.28). Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αρχίζει να ισορροπεί φτάνοντας τα 6,0 εκ. km², δηλαδή όσο η τιμή που συνήθως εμφανίζει ο Σεπτέμβριος, ο μήνας με τη λιγότερη παγοκάλυψη.

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας εμφανίζουν έντονη θετική απόκλιση σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010. Τον Μάιο και τον Ιούνιο, η ανωμαλία κυμαίνεται μεταξύ των -4,5°C στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής και της ανατολικής Ευρώπης και +4,5°C στις θάλασσες Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας. Τον Ιούλιο, ο Αρκτικός ωκεανός είναι ως επί το πλείστον θερμότερος, με την υψηλότερη διαφορά θερμοκρασίας να συναντάται στους +5°C πάλι βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Τους επόμενους δύο μήνες, η θερμοκρασιακή απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ -3°C έως +7°C. Η θερμότερη περιοχή εξακολουθεί να είναι η ίδια, ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται μόνο στη θάλασσα Μπάρεντς και τον Βόρειο Καναδά. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία τον Σεπτέμβριο εμφανίζει θετική απόκλιση της τάση των +7°C. Τον Οκτώβριο, η αρκτική ατμόσφαιρα είναι θερμότερη, φτάνοντας τους +14°C στη θάλασσα Τσούκτσι, ενώ σε κανένα σημείο της δεν επικρατούν ψυχρές συνθήκες. Οι συνεχείς υψηλές θερμοκρασίες είναι λογικό να οδηγούν στη σημαντική μείωση της παγοκάλυψης.

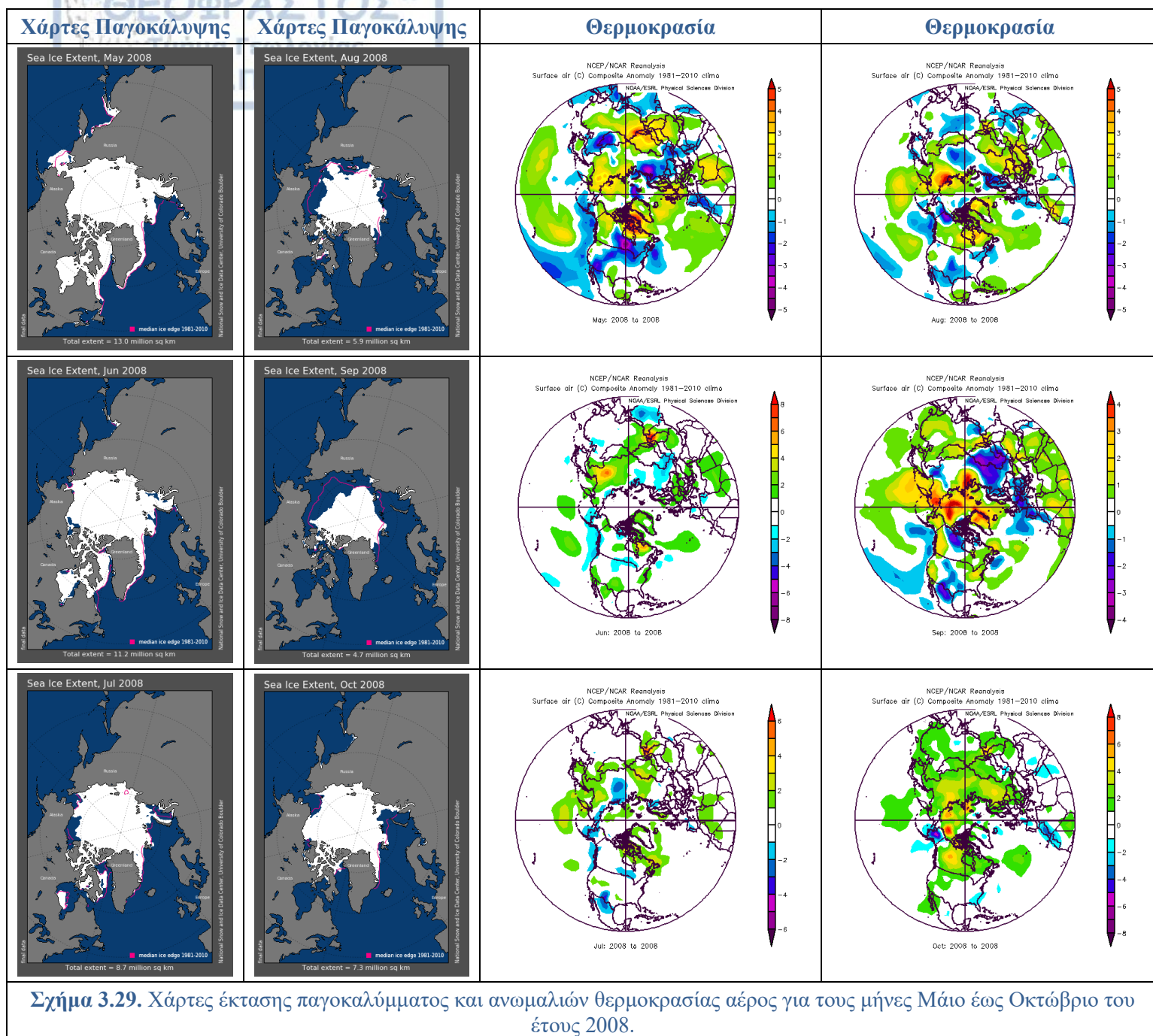


Έτος 2008

Τη θερμή περίοδο του 2008, το παγοκάλυμμα έχει πάλι μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση τιμή του για το διάστημα 1981-2010, ειδικά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ $-4,5^{\circ}\text{C}$ έως $+6^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010. Μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται και πάλι τον Οκτώβριο, ο οποίος μάλιστα είναι θερμότερος σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα και την παράκτια περιοχή της Οχοτσκιικής θάλασσας έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη θάλασσα Μπάρεντς. Καλύπτει μία έκταση $13,0 \text{ εκ. km}^2$. Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν υπάρχει επίσης παγοκάλυψη (Σχήμα 3.29). Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται τους επόμενους μήνες έως και τον Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή $4,7 \text{ εκ. km}^2$. Σημαντική μείωση των πάγων παρατηρείται στον μισό Αρκτικό ωκεανό μεταξύ Ασίας και Αμερικής τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αυξάνεται, καλύπτοντας πάλι μια περιοχή $7,3 \text{ εκ. km}^2$.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μέτριες προς μεγάλες αποκλίσεις από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, παρατηρείται απόκλιση έως $-4,5^{\circ}\text{C}$ βορειοανατολικά της Γροιλανδίας και έως $+4,5^{\circ}\text{C}$ στο Καναδικό Αρχιπέλαγος. Γεγονός είναι πως κυριαρχούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Τους επόμενους δύο μήνες, η ατμόσφαιρα πάνω από σχεδόν όλη την Αρκτική δε διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέση κατάστασή της κατά τα έτη 1981-2010. Εξαιρούνται η Βερίγγειος θάλασσα και το Καναδικό Αρχιπέλαγος όπου σημειώνεται απόκλιση της τάξης των -3°C και $+6^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα. Τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες στον Αρκτικό κύκλο είναι γενικά υψηλότερες του κανονικού. Τον Σεπτέμβριο επικρατούν οι ανώτερες τιμές της θερμοκρασίας, ειδικά στην αρκτική θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Αμερική και την Ασία, με αποτέλεσμα τη μείωση της παγοκάλυψης στη περιοχή. Η απόκλιση της θερμοκρασίας τον Οκτώβριο είναι μεγαλύτερη και κυμαίνεται μεταξύ -6°C έως $+8^{\circ}\text{C}$. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συναντώνται μόνο στον Βερίγγειο πορθμό και τη θάλασσα που περιβάλλει την Ισλανδία. Αντίθετα, μέγιστη θετική απόκλιση σημειώνεται στους $+8^{\circ}\text{C}$ στη θάλασσα Μποφόρ.



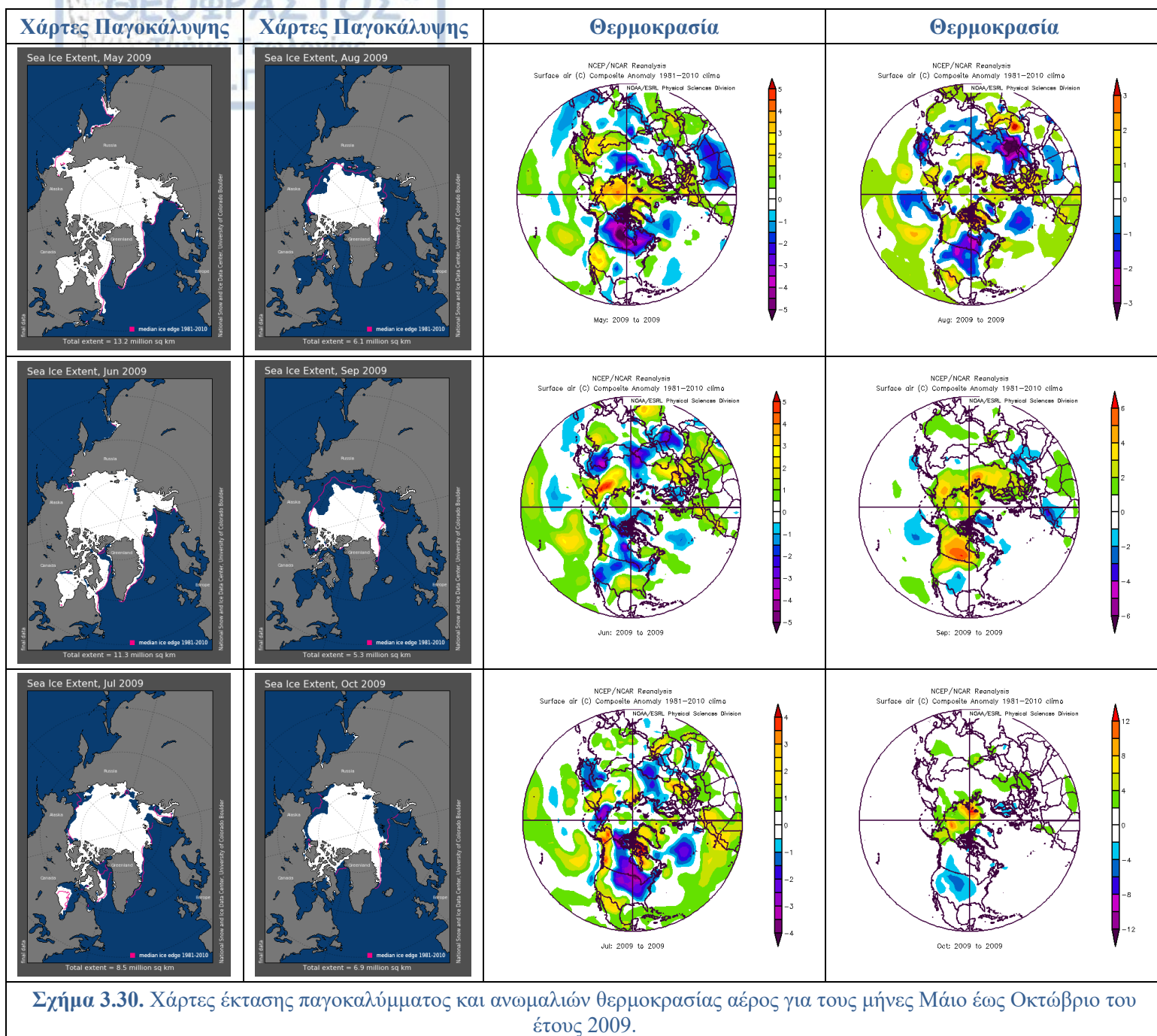
Σχήμα 3.29. Χάρτες έκτασης παγοκάλυμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2008.

Έτος 2009

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 2009, το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε μικρότερη περιοχή από την αντίστοιχη μέση έκταση του τα έτη 1981-2010. Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι κυρίως υψηλότερη καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της για το ίδιο χρονικό διάστημα, φτάνοντας τους $+12^{\circ}\text{C}$ τον Οκτώβριο.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση $13,2 \text{ εκ. km}^2$ από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Η παράκτια περιοχή της Οχοτσικής θάλασσας είναι επίσης παγωμένη. Έως και τον Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή παγοκάλυψης μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στα $5,3 \text{ εκ. km}^2$. Είναι γεγονός πως το παγοκάλυμμα μειώνεται περισσότερο σε κάποιες περιοχές σε σχέση με τη μέση κατάστασή του, ειδικά στον Αρκτικό ωκεανό βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Τον Οκτώβριο, η παγοκάλυψη εκτείνεται περίπου $6,9 \text{ εκ. km}^2$, με σημαντική μείωσή της ωστόσο στη Βόρεια Σιβηρία και τη θάλασσα Τσούκτσι (Σχήμα 3.30).

Η ατμόσφαιρα σε όλη την έκταση της Αρκτικής παρουσιάζει μία εμφανή θέρμανση σε σχέση με τη μέση κατάστασή της κατά την περίοδο 1981-2010. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κυμαίνονται από -5°C στην περιοχή του Βόρειου Καναδά έως $+4,5^{\circ}\text{C}$ μεταξύ των θαλασσών Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας. Η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη τον Ιούνιο με τις τιμές της μεταξύ $-3,5^{\circ}\text{C}$ - 1°C να κυριαρχούν, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο μεταξύ $-3,5^{\circ}\text{C}$ - $+4^{\circ}\text{C}$. Τους τελευταίους μάλιστα δύο μήνες, η ατμόσφαιρα εμφανίζει τη μέγιστη θέρμανσή της πάνω από το Καναδικό Αρχιπέλαγος και τις χαμηλότερες θερμοκρασίες στη θάλασσα Μποφόρ. Παρόμοια επικράτηση των υψηλότερων τιμών παρατηρείται και τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο. Τον Σεπτέμβριο, επικρατούν θερμοκρασιακές αποκλίσεις της τάξης των $+6^{\circ}\text{C}$ στη Βόρεια Σιβηρία αλλά και στην Ευρώπη και στη θαλάσσια περιοχή της Ανατολικής Σιβηρίας. Τον δέκατο μήνα του χρόνου, μάλιστα, σημειώνεται απόκλιση έως $+12^{\circ}\text{C}$ στη θάλασσα Κάρα. Η θερμότερη ατμόσφαιρα πάνω από τη συγκεκριμένη περιοχή καθ' όλη τη θερμή περίοδο αιτιολογεί τη σημαντική μείωση των πάγων κατά τη διάρκεια αυτής.

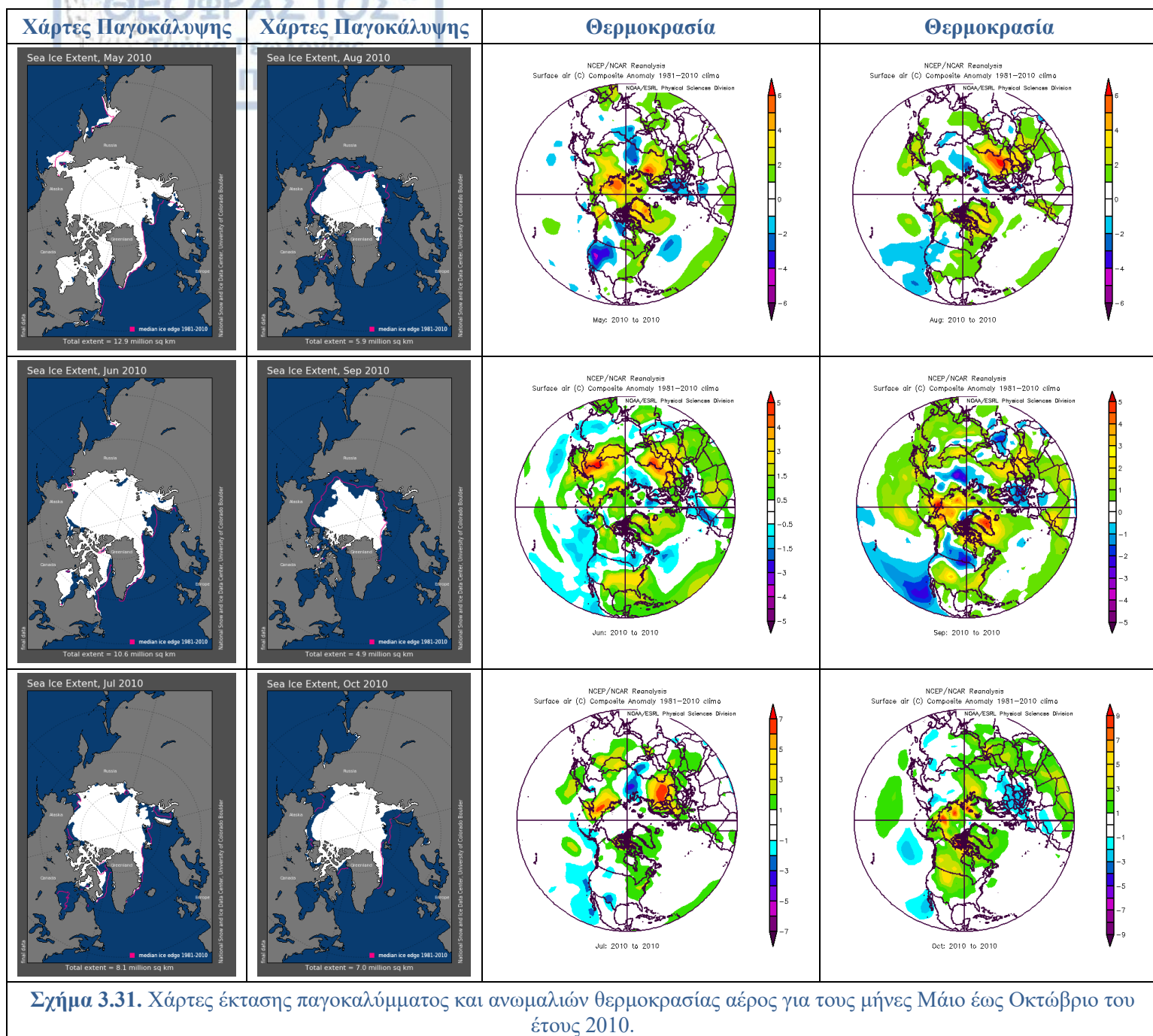


Έτος 2010

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2010, το παγοκάλυμμα παραμένει εμφανώς μειωμένο σε σχέση με τη μέση έκταση κατά το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη σχεδόν σε όλη την έκταση της Αρκτικής σε σχέση με τη μέση κατάστασή της τα έτη 1981-2010.

Τον πρώτο μήνα μέλετης, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη θάλασσα Κάρα. Καλύπτει μία σχετικά μικρή έκταση της τάξης των 12,9 εκ. km². Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν καθώς κι σε ένα παράκτιο τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας υπάρχει παγοκάλυψη (Σχήμα 3.31). Αντίθετα, στη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς απουσιάζει ένα μεγάλο μέρος του πάγου. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται τους επόμενους μήνες έως και τον Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει μία περιοχή 4,9 εκ. km² που είναι εμφανώς πολύ μικρότερη από την μέση έκταση παγοκαλύμματος του μήνα Σεπτεμβρίου. Ειδικότερα, ενώ η συνολική έκταση του παγοκαλύμματος είναι μικρότερη από τη μέση τιμή της για το διάστημα 1981-2010, από τον Ιούλιο η έλλειψη των πάγων γίνεται πιο εμφανής, κυρίως στη περιοχή των κόλπων Χάτσον και Μπάφιν και της θαλάσσιας περιοχής μεταξύ Αμερικής και Ασίας. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται, αλλά ένα μεγάλο μέρος περιμετρικά του παγοκαλύμματος συνεχίζει να απουσιάζει.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει κυρίως μία άνοδο στις τιμές της σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Γεγονός αδιαμφισβήτητο είναι πως κατά τη θερμή περίοδο του 2010, η ατμόσφαιρα πάνω από όλη την έκταση της Αρκτικής είναι θερμότερη με ελάχιστες εξαιρέσεις. Τον Μάιο, οι μέγιστες θερμοκρασιακές αποκλίσεις σημειώνονται στους -3°C στην περιοχή κοντά στον κόλπο Χάτσον και τη Βόρεια Ευρώπη και +6°C στη Βόρεια Σιβηρία και τη Γροιλανδία. Τους επόμενους τέσσερις μήνες, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι ως επί το πλείστον μεγαλύτερη της μέσης τιμής της, με εξαίρεση την περιοχή της κεντρικής Σιβηρίας όπου παρατηρούνται τιμές έως -4°C. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή των θαλασσών Ανατολικής Σιβηρίας, Τσούκτσι και Μποφόρ, όπου από τον Αύγουστο, η απόκλιση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας φτάνει τους +6°C. Τον Οκτώβριο, στο ίδιο μέρος του Αρκτικού ωκεανού η μέγιστη απόκλιση της θερμοκρασίας σημειώνεται στους +9°C. Στην εκτεταμένη θέρμανση της περιόδου οφείλεται η μείωση της έκτασης του παγοκαλύμματος.

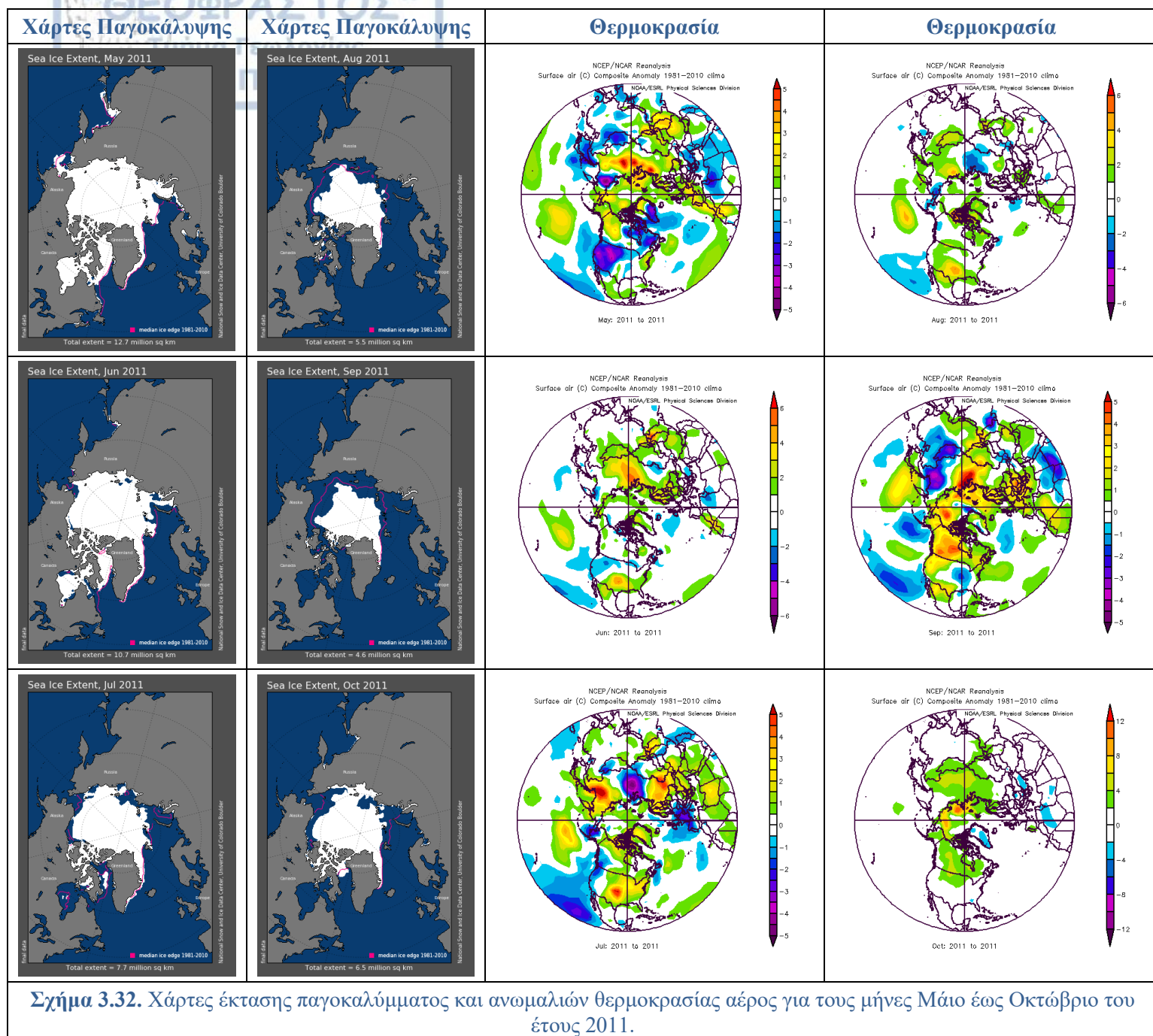


Έτος 2011

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 2011, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση τιμή του για τα έτη 1981-2010. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ $-4,5^{\circ}\text{C}$ έως $+6^{\circ}\text{C}$ από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα, με τις υψηλότερες να κυριαρχούν σε όλη την Αρκτική. Τον Οκτώβριο, η απόκλιση θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη, φτάνοντας τους $+10^{\circ}\text{C}$.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο, αυτό εμφανίζει μικρή ελάττωση σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά και καλύπτει μία περιοχή $12,7 \text{ εκ. km}^2$ από ένα τμήμα της βόρειας Βερίγγειου θάλασσας έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Μέσα στη θερινή περίοδο αρχίζει να μειώνεται σταδιακά και τον Ιούλιο η παγοκάλυψη απουσιάζει εντελώς από τον κόλπο Χάτσον (Σχήμα 3.32). Παρόμοια μείωση του παγοκαλύμματος παρουσιάζεται στην περιοχή της Αρκτικής βόρεια της Σιβηρίας τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, όταν τελικά καλύπτει μία περιοχή της τάξης των $4,6 \text{ εκ. km}^2$. Τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, το παγοκάλυμμα αρχίζει να αυξάνεται ξανά, ωστόσο ένα μεγάλο τμήμα πάγου λείπει από τη θάλασσα Τσούκτσι και τμήμα της θαλάσσιας περιοχής της Σιβηρίας.

Η ατμόσφαιρα πάνω από σχεδόν όλη την έκταση της Αρκτικής είναι εμφανώς θερμότερη από τη μέση κατάστασή της κατά την περίοδο 1981-2010. Τον Μάιο, η θερμοκρασιακή διαφορά κυμαίνεται μεταξύ $-4,5^{\circ}\text{C}$ έως $+5^{\circ}\text{C}$. Οι χαμηλότερες τιμές συναντώνται δυτικότερα του Βερίγγειου πορθμού και στον Βόρειο Καναδά, ενώ οι υψηλότερες στη Σιβηρία. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων μηνών, η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη πάνω από όλο τον Αρκτικό ωκεανό, με εξαίρεση τον Βερίγγειο πορθμό. Απόκλιση της τάξης των $+6^{\circ}\text{C}$ παρατηρείται στο Καναδικό Αρχιπέλαγος τον Αύγουστο και $+5^{\circ}\text{C}$ στη θάλασσα Μποφόρ το Σεπτέμβριο. Τον Οκτώβριο, η ψυχρότερη περιοχή είναι η Γροιλανδία με μέγιστη διαφορά τους -4°C . Αντίθετα, στις θάλασσες Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας σημειώνεται η μεγαλύτερη απόκλιση της τάξης των $+10^{\circ}\text{C}$ από την αντίστοιχη μέση τιμή του διαστήματος 1981-2010. Οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αιτιολογούν τη μειωμένη παγοκάλυψη στην Αρκτική το 2011.

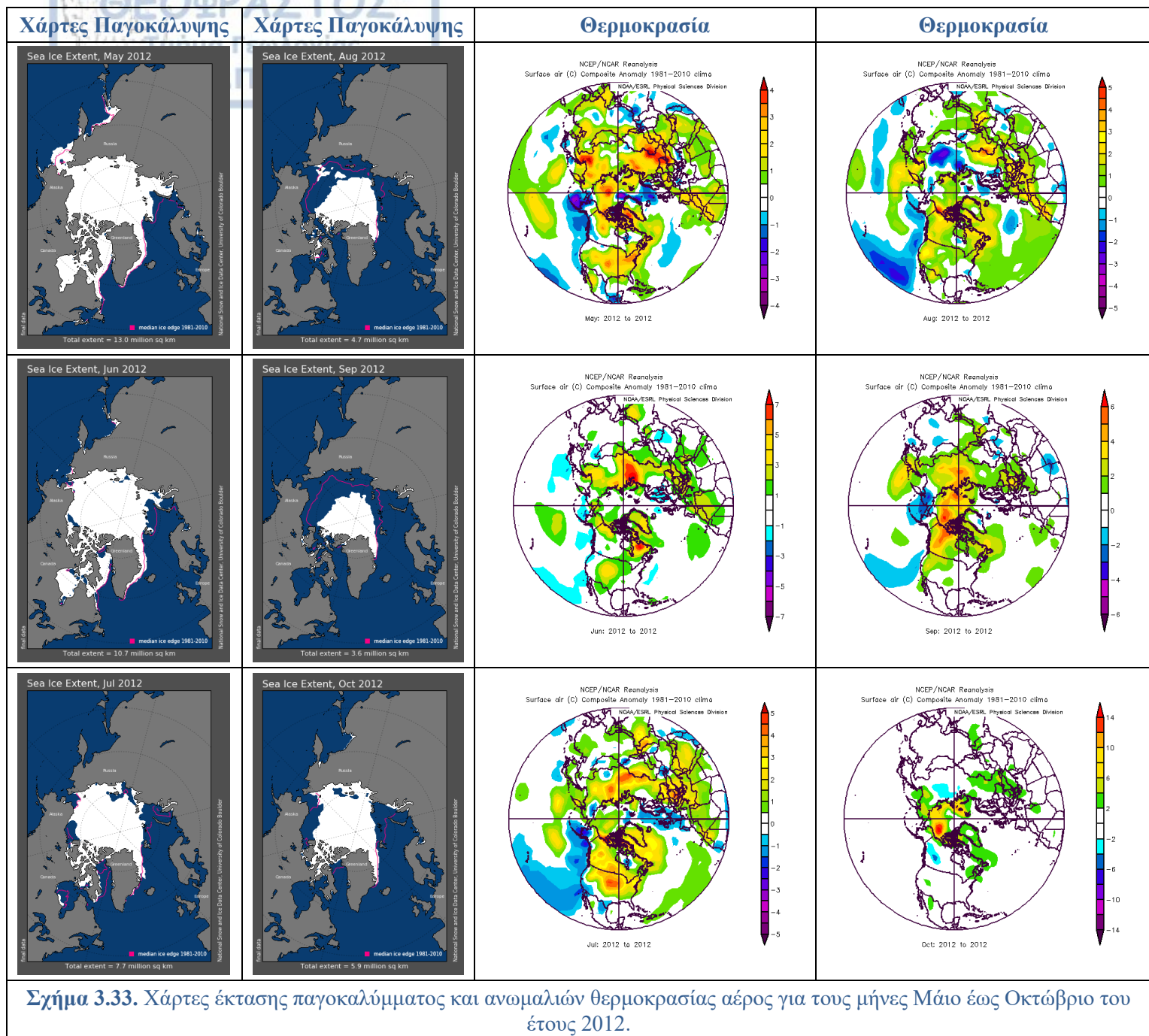


Σχήμα 3.32. Χάρτες έκτασης παγοκάλυψματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2011.

Το 2012 είναι ένα από τα έτη που εμφανίζεται σημαντική μείωση του παγοκαλύμματος. Κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2012, το παγοκάλυμμα έχει μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση περιοχή που καλύπτει το διάστημα 1981-2010. Μάλιστα, τον Σεπτέμβριο σημειώνεται η ελάχιστη έκτασή της περιόδου μελέτης μέχρι τώρα. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι σαφώς θερμότερη από την αντίστοιχη μέση κατάσταση της κατά τα έτη 1981-2010.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση περίπου 13,0 εκ. km², δηλαδή είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τον ίδιο μήνα των προηγούμενων ετών. Ο πάγος εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα Κάρα. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο. Στην Οχοτσική θάλασσα συναντάται ελάχιστη παγοκάλυψη, ενώ σε ένα μεγάλο τμήμα της βόρειας θάλασσας Μπάρεντς αυτή απουσιάζει εντελώς (Σχήμα 3.33). Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Ιδιαίτερη μείωση της έκτασής του παρατηρείται τον Ιούλιο στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Η σημαντικότερη αλλαγή που παρατηρείται το 2012 στο παγοκάλυμμα είναι η δραματική μείωση της έκτασής του στα 3,6 εκ. km². Περίπου το ¼ του παγοκαλύμματος έχει λιώσει. Τον Οκτώβριο, ο πάγος εκτείνεται 5,9 εκ. km², καταλαμβάνοντας ωστόσο λιγότερο πάγο στη θάλασσα Μποφόρ και στη δυτική Σιβηρία σε σχέση με αντίστοιχη μέση έκτασή του.

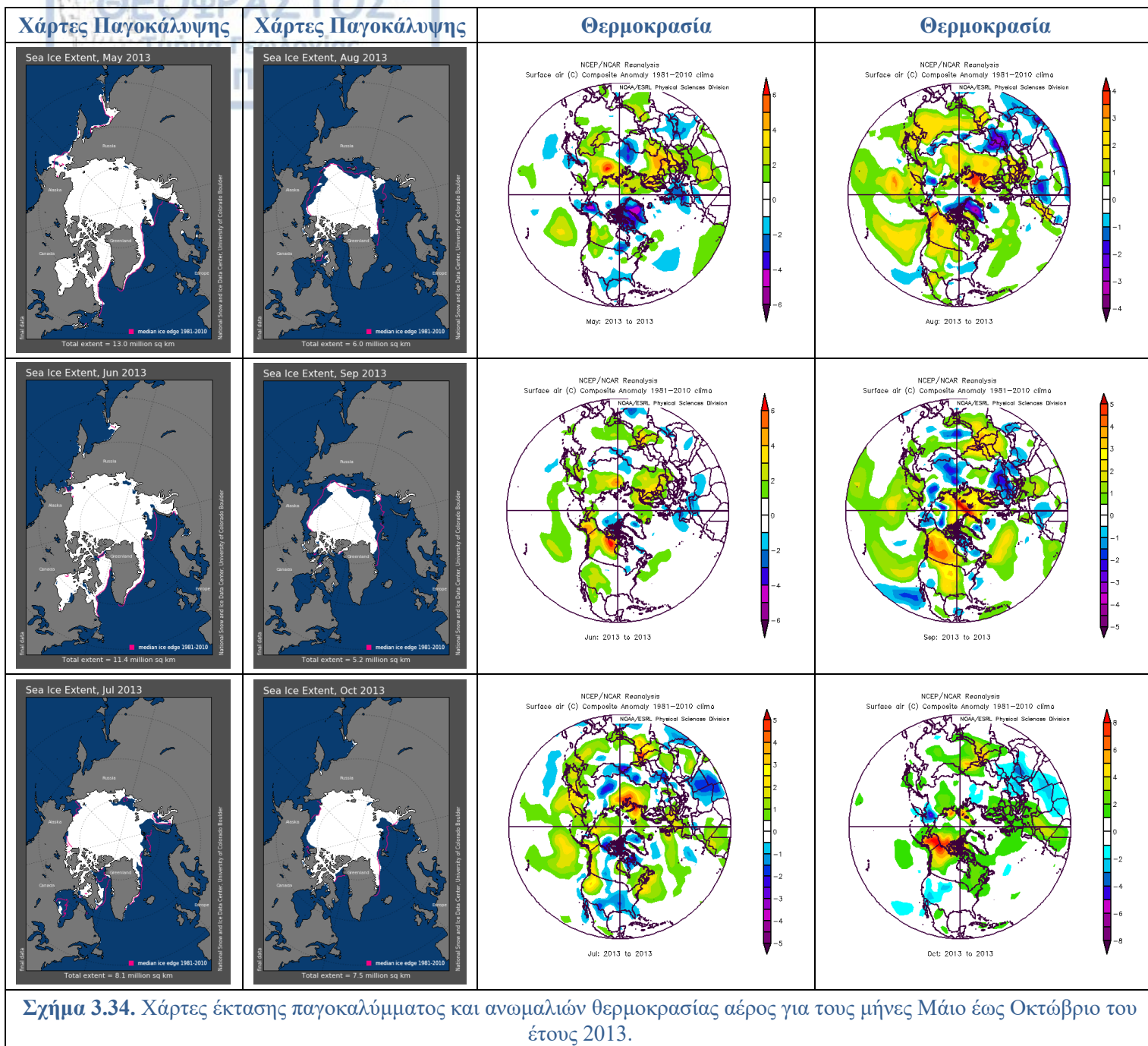
Η ατμόσφαιρα σε όλη την έκταση της Αρκτικής παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από τον κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, σχεδόν όλος ο Αρκτικός ωκεανός είναι θερμότερος και μόνο στη Βερίγγειο θάλασσα, τον Βόρειο Πόλο και την περιοχή της Ισλανδίας συναντώνται ψυχρότερες τιμές της τάξης των -3,5°C. Τους επόμενους δύο μήνες συνεχίζουν να κυριαρχούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες με τη μέγιστη απόκλιση +7°C και +5°C, αντίστοιχα, στον Βόρειο Καναδά. Ψυχρότερες περιοχές αποτελούν μόνο αυτές στον Βερίγγειο πορθμό και τη Βόρεια Ευρώπη. Τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο, στη θάλασσα Μποφόρ σημειώνεται άνοδος της θερμοκρασίας έως 6°C από τη μέση τιμή. Ωστόσο, η σημαντικότερη απόκλιση της θερμοκρασίας παρατηρείται τον Οκτώβριο, όταν στην ίδια περιοχή η τιμή της φτάνει τους +14°C. Όπως γίνεται αντιληπτό, στη δραματική θέρμανση της ατμόσφαιρας το 2012 οφείλεται η τρομακτική μείωση της έκτασης της παγοκάλυψης.



Κατά τη θερμή περίοδο του έτους 2013, το αρκτικό παγοκάλυμμα καλύπτει μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση περιοχή του την περίοδο 1981-2010. Η ατμόσφαιρα σε όλη την Αρκτική εμφανίζει θερμοκρασιακές διαφορές της τάξης των -5°C - $+6^{\circ}\text{C}$ από τις μέσες τιμές της κατά την προαναφερθείσα περίοδο, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να κυριαρχούν σε όλη την περιοχή (Σχήμα 3.34).

Το παγοκάλυμμα είναι μειωμένο σε όλους τους μήνες σε σχέση με τη μέση τιμή του κατά το διάστημα 1981-2010. Εξαίρεση αποτελεί ο Μάιος, όταν καλύπτει μία έκταση 13,0 εκ. km² από τη θάλασσα Κάρα έως τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα. Επίσης, ένα μικρό τμήμα της Οχοτσκιικής θάλασσας καθώς και οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν καλύπτονται από πάγο. Τον μήνα αυτό, απουσιάζει η παγοκάλυψη μόνο από τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Το διάστημα που ακολουθεί, η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά μέχρι τον Σεπτέμβριο, όταν έχει τιμή 5,2 εκ. km², τιμή μεγαλύτερη από αυτή της προηγούμενης χρονιάς. Παρά την αύξηση της παγοκάλυψης, αυτή παραμένει κάτω από τη μέση κατάσταση και ο πάγος απουσιάζει από πολλές αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από αυτόν, κυρίως όσον αφορά στη θαλάσσια περιοχή βορειότερα της Σιβηρίας. Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μεγαλώνει σε έκταση, φτάνοντας τα 7,5 εκ. km².

Σε μεγάλη έκταση της Αρκτικής, οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τις αντίστοιχες μέσες τιμές του διαστήματος 1981-2010. Ωστόσο, στις περιοχές όπου εμφανίζονται αποκλίσεις, αυτές τείνουν να είναι μεγάλες. Ειδικότερα, τον Μάιο και τον Ιούνιο η ανωμαλία κυμαίνεται μεταξύ των -5°C και $+6^{\circ}\text{C}$. Οι ψυχρότερες τιμές συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Γροιλανδίας. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, επικρατούν ψυχρότερες συνθήκες έως -4°C στον Βόρειο Καναδά και τη Γροιλανδία και θερμότερες έως $+4,5^{\circ}\text{C}$ στη Βόρεια Σιβηρία. Τον Σεπτέμβριο, η θερμοκρασιακή απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ $-2,5^{\circ}\text{C}$ και $+5^{\circ}\text{C}$. Η θερμότερη περιοχή εξακολουθεί να είναι ίδια, ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται μόνο βορειότερα του Βερίγγειου πορθμού. Οι θερμοκρασίες οδηγούν στη σημαντική μείωση της παγοκάλυψης στις θερμότερες περιοχές. Η ατμόσφαιρα της Αρκτικής τον Οκτώβριο είναι θερμότερη, φτάνοντας τους $+8^{\circ}\text{C}$ στη θάλασσα Μποφόρ.

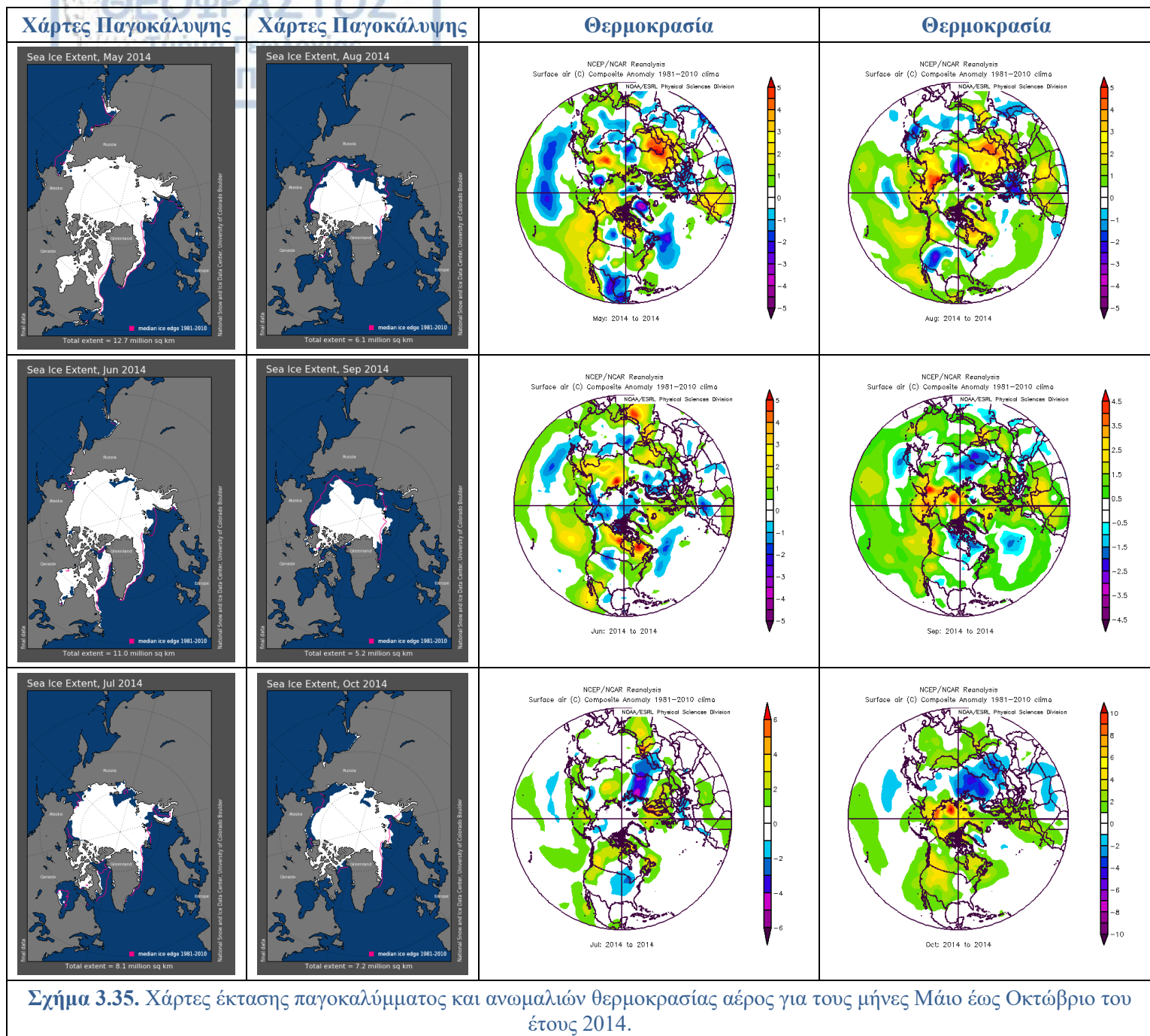


Έτος 2014

Τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του 2014, το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση τιμή του κατά το διάστημα 1981-2010, ειδικά τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ -5°C και $+5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τη μέση τιμή αυτής κατά τα έτη 1981-2010. Μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται τον Οκτώβριο.

Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς, καλύπτοντας μία έκταση $12,7 \text{ εκ. km}^2$ (Σχήμα 3.35). Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν καθώς και σε ένα μικρό τμήμα της Οχοτσκιικής θάλασσας υπάρχει επίσης παγοκάλυψη. Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται τους επόμενους μήνες έως και τον Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει περιοχή $5,2 \text{ εκ. km}^2$, έκταση ίση με αυτή του 2013. Κατά τη διάρκεια όλων των μηνών παρατηρείται μείωση των πάγων σε πολλές αρκτικές περιοχές με αποκορύφωση την περίοδο του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αυξάνεται και καλύπτει πάλι μία περιοχή $7,2 \text{ εκ. km}^2$. Ωστόσο, το παγοκάλυμμα δεν έχει μπορέσει να αναπτυχθεί επαρκώς στις θάλασσες Μποφόρ και Ανατολικής Σιβηρίας.

Η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη σχεδόν σε όλη την Αρκτική σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κατάστασή της κατά τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, παρατηρείται απόκλιση έως -4°C στη Γροιλανδία και έως $+4,5^{\circ}\text{C}$ στο Καναδικό Αρχιπέλαγος και τη θάλασσα Μποφόρ. Τον Ιούνιο, παρατηρείται μέγιστη απόκλιση $+5^{\circ}\text{C}$ στον Βόρειο Καναδά, ενώ στην περιοχή του Βερίγγειου πορθμού και του Βόρειου Πόλου επικρατούν ψυχρότερες συνθήκες. Τους επόμενους δύο μήνες, η ατμόσφαιρα πάνω από σχεδόν όλη την Αρκτική δε διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέση κατάστασή της τα έτη 1981-2010. Εξαιρούνται το Καναδικό Αρχιπέλαγος, η θάλασσα Κάρα και η Ανατολική Σιβηρία με αποκλίσεις της τάξης των $+4^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ και $+4,5^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα. Τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο, επικρατούν οι ανώτερες τιμές της θερμοκρασίας, ειδικά στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας. Μάλιστα, τον Οκτώβριο η διαφορά της θερμοκρασίας της περιοχής από τη μέση τιμή προσεγγίζει τους $+10^{\circ}\text{C}$.

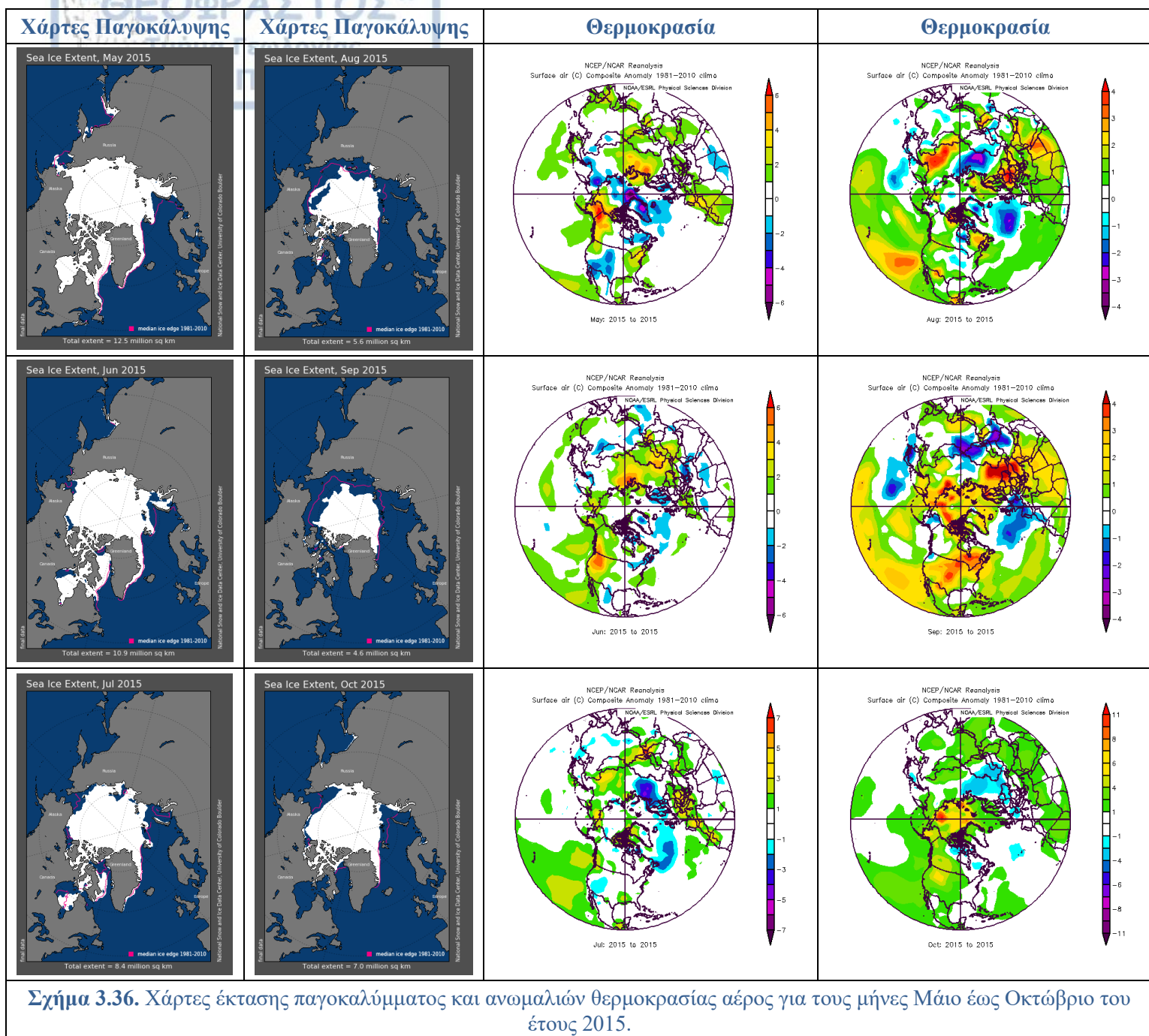


Έτος 2015

Τη θερινή περίοδο του 2015, το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε μικρότερη περιοχή από την αντίστοιχη μέση έκταση του τα έτη 1981-2010. Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι κυρίως υψηλότερη καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει έκταση 12,5 εκ. km² από ένα μικρό τμήμα της βόρειας Βερίγγειου θάλασσας έως τη θάλασσα Κάρα και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Η παράκτια περιοχή της Οχοτσκιικής θάλασσας εμφανίζει επίσης ελάχιστους πάγους (Σχήμα 3.36). Έως και τον Σεπτέμβριο, η συνολική περιοχή παγοκάλυψης μειώνεται σταδιακά και η ελάχιστη τιμή της φτάνει σε χαμηλά επίπεδα ίση με 4,6 εκ. km². Είναι γεγονός πως το παγοκάλυμμα μειώνεται περισσότερο σε κάποιες περιοχές σε σχέση με τη μέση κατάστασή του, ειδικά στον Αρκτικό ωκεανό βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Τον Οκτώβριο, η παγοκάλυψη εκτείνεται περίπου 7,0 εκ. km², με σημαντική μείωσή της ωστόσο στη θάλασσα Τσούκτσι και την περιοχή βορειοανατολικά της Γροιλανδίας.

Η ατμόσφαιρα σε όλη την έκταση της Αρκτικής παρουσιάζει μία εμφανή θέρμανση σε σχέση με τη μέση κατάστασή της κατά την περίοδο 1981-2010, με εξαίρεση τον Μάιο. Τον πρώτο μήνα της θερμής περιόδου, η ατμόσφαιρα πάνω από την έκταση μεταξύ της θάλασσας της Ανατολικής Σιβηρίας και της Γροιλανδίας είναι ψυχρότερη, φτάνοντας την τάξη των -6°C. Αντίθετα, στην περιοχή της Αλάσκας απαντώνται υψηλότερες θερμοκρασίες έως +6°C. Τους επόμενους δύο μήνες, οι τιμές της απόκλισης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ -5°C στη Γροιλανδία και +5°C στον Βερίγγειο πορθμό. Τον Αύγουστο, μέγιστη απόκλιση κατά +4°C παρατηρείται στο Καναδικό Αρχιπέλαγος. Τους τελευταίους δύο μήνες, η ατμόσφαιρα εμφανίζει έντονη θέρμανση πάνω από τη μισή έκταση του αρκτικού ωκεανού, ειδικά στη θάλασσα Τσούκτσι με απόκλιση μεγαλύτερη των +8°C από τον κλιματικό μέσο τον Οκτώβριο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όμως, εμφανίζει ο Σεπτέμβριος του 2015, κατά τη διάρκεια του οποίου η ατμόσφαιρα πάνω από όλο το Βόρειο Ημισφαίριο, εκτός της Αλάσκας, είναι θερμότερη.

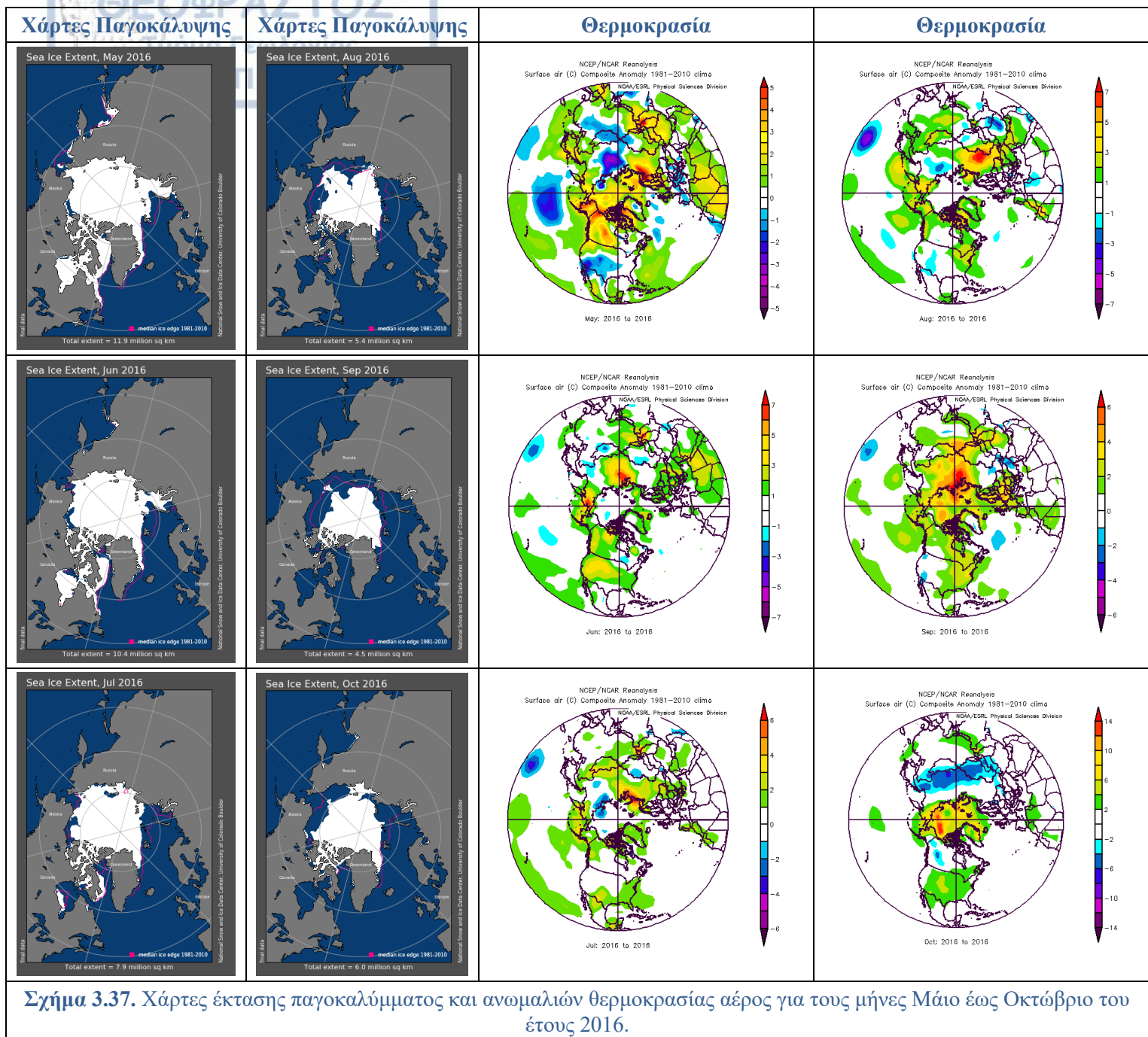


Έτος 2016

Το παγοκάλυμμα του 2016 παραμένει μειωμένο σε σχέση με τη μέση έκταση που καταλαμβάνει κατά το διάστημα 1981-2010. Η μείωση της περιοχής που καλύπτει είναι ιδιαίτερα εμφανής τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Επίσης, η ατμόσφαιρα είναι θερμότερη σχεδόν σε όλη την έκταση της Αρκτικής σε σχέση με τη μέση κατάστασή της κατά τα έτη 1981-2010 και οι περιοχές που εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι ελάχιστες.

Τον πρώτο μήνα μέλετης, το αρκτικό παγοκάλυμμα εκτείνεται από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη θάλασσα της Γροιλανδίας και τη θάλασσα Κάρα. Καλύπτει μία έκταση 11,9 εκ. km². Η έκταση αυτή είναι η μικρότερη μέχρι τώρα της τελευταίας δεκαετίας. Στους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν καθώς κι σε ένα παράκτιο τμήμα της Οχοτσκιικής θάλασσας υπάρχει επίσης παγοκάλυψη. Ωστόσο, στη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και στη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα απουσιάζει ένα μεγάλο μέρος του πάγου (Σχήμα 3.37). Η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται τους επόμενους μήνες έως και τον Σεπτέμβριο, όταν καλύπτει μία μικρή έκταση της τάξης των 4,5 εκ. km². Ωστόσο, ενώ η συνολική έκταση του παγοκαλύμματος είναι μικρότερη από τη μέση τιμή της για το διάστημα 1981-2010, από τον Αύγουστο η έλλειψη των πάγων γίνεται πιο εμφανής, κυρίως στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Αμερικής και Ασίας. Τον Οκτώβριο, η έκταση του πάγου αρχίζει να αυξάνεται, αλλά ένα μεγάλο μέρος περιμετρικά του παγοκαλύμματος συνεχίζει να απουσιάζει.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει κυρίως μία άνοδο στις τιμές της σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της για τα έτη 1981-2010. Τον Μάιο, οι μέγιστες θερμοκρασιακές αποκλίσεις σημειώνονται στους -3,5°C στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας και +5°C στη Βόρεια Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Τους επόμενους τέσσερις μήνες, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι ως επί το πλείστον μεγαλύτερη της μέσης τιμής της, με εξαίρεση την περιοχή των θαλασσών μεταξύ Λάπτεφ και Ανατολικής Σιβηρίας όπου παρατηρούνται τιμές έως -3°C. Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας εμφανίζονται στη Δυτική Σιβηρία και στον Βόρειο Καναδά. Όπως και τα προηγούμενα χρόνια, η μεγαλύτερη μεταβολή της ατμόσφαιρας σημειώνεται τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου στην περιοχή των θαλασσών Μποφόρ, Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας. Η τιμή της σε αυτές τις θέσεις φτάνει και πάλι τους +14°C και στην εκτεταμένη αυτή θέρμανση της περιόδου οφείλεται η μείωση της παγοκάλυψης.

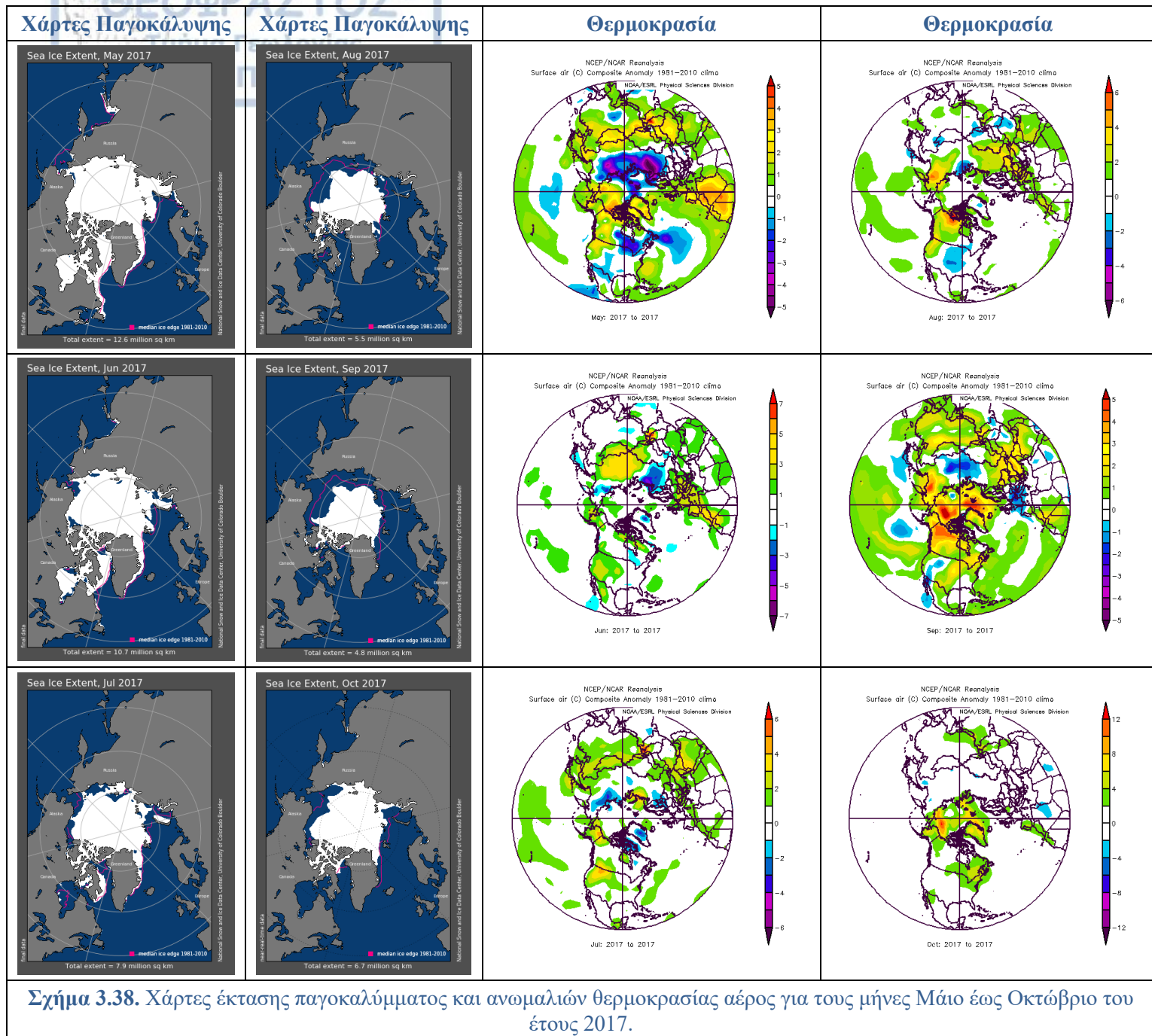


Έτος 2017

Για μία ακόμα φορά, το παγοκάλυμμα του 2017, καταλαμβάνει μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση τιμή του για τα έτη 1981-2010. Ιδιαίτερα εμφανής γίνεται αυτή η διαφορά από τον Ιούλιο και μετά. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ -5°C και $+5^{\circ}\text{C}$ από τις αντίστοιχες μέσες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα, με τις υψηλότερες να κυριαρχούν σε όλη την Αρκτική. Τον Οκτώβριο, η απόκλιση είναι μεγαλύτερη φτάνοντας τους $+12^{\circ}\text{C}$.

Όσον αφορά στο παγοκάλυμμα, τον Μάιο καλύπτει μία περιοχή $12,6 \text{ εκ. km}^2$ από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς και τους κόλπους Χάτσον και Μπάφιν. Στο νότιο παράκτιο τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας παρατηρείται επίσης πάγος, ωστόσο αυτός απουσιάζει από τη βόρεια Βερίγγειο θάλασσα (Σχήμα 3.38). Μέσα στη θερινή περίοδο αρχίζει να μειώνεται σταδιακά και τον Ιούλιο δεν υπάρχει παγοκάλυψη στις περιοχές των προαναφερθέντων κόλπων και των θαλασσών Μποφόρ και Τσούκτσι. Η μείωση του παγοκαλύμματος στις θέσεις αυτές είναι σημαντικότερη κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου, όταν τελικά καλύπτει μία περιοχή της τάξης των $4,8 \text{ εκ. km}^2$. Τον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου, το παγοκάλυμμα αρχίζει να αυξάνεται ξανά, ωστόσο κομμάτια πάγου περιμετρικά της έκτασής του συνεχίζουν να απουσιάζουν.

Η ατμόσφαιρα πάνω από σχεδόν όλη την έκταση της Αρκτικής είναι θερμότερη από τη μέση κατάστασή της κατά την περίοδο 1981-2010. Τον Μάιο, η θερμοκρασιακή διαφορά κυμαίνεται από -5°C έως $+4^{\circ}\text{C}$. Οι χαμηλότερες τιμές συναντώνται στον Νότιο Καναδά και τη Βόρεια Σιβηρία, ενώ οι υψηλότερες σε όλο τον υπόλοιπο Αρκτικό ωκεανό. Παρόμοια διακύμανση της θερμοκρασίας επικρατεί και τους επόμενους μήνες, με τις μέγιστες αποκλίσεις να εμφανίζονται στους $+5^{\circ}\text{C}$ στο Καναδικό Αρχιπέλαγος τον Αύγουστο και $+5^{\circ}\text{C}$ στη θάλασσα Μποφόρ τον Σεπτέμβριο. Τον Οκτώβριο, η ατμόσφαιρα πάνω από όλη την έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος είναι θερμότερη με μέγιστη διαφορά τους $+12^{\circ}\text{C}$ στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Όπως είναι φυσιολογικό, οι τιμές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αιτιολογούν τη μείωση της έκτασης του παγοκαλύμματος στην Αρκτική το 2017.

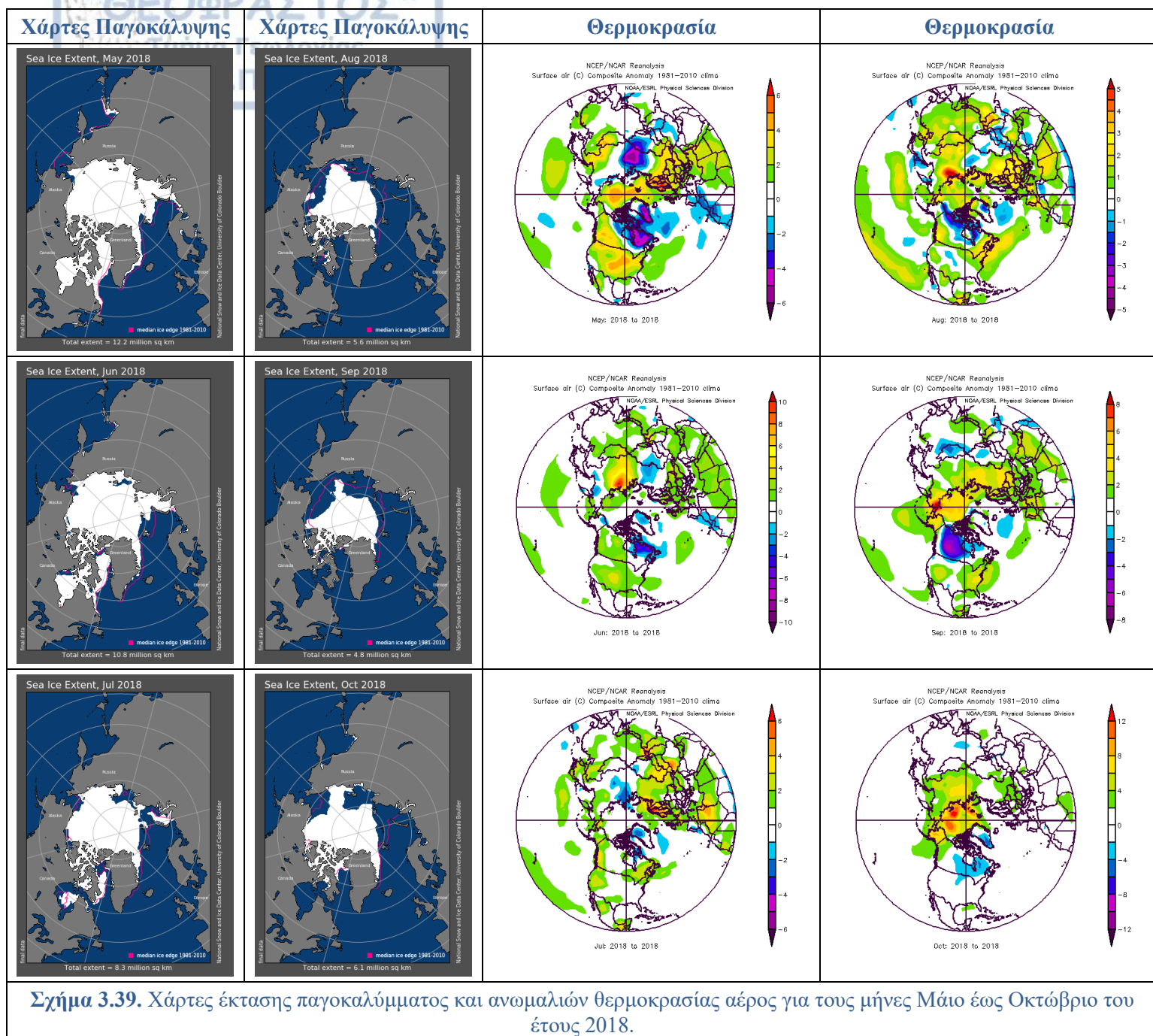


Έτος 2018

Η έκταση του παγοκαλύμματος του 2018 ακολουθεί το μοτίβο των προηγούμενων ετών της εικοσαετίας δηλαδή, το παγοκάλυμμα να έχει μικρότερη έκταση από τη μέση περιοχή που καλύπτει το διάστημα 1981-2010. Επίσης, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά τα έτη 1981-2010.

Ειδικότερα, τον Μάιο, το παγοκάλυμμα καταλαμβάνει έκταση 12,2 εκ. km². Ο πάγος εκτείνεται από τον Βερίγγειο πορθμό έως τη θάλασσα Κάρα. Οι κόλποι Μπάφιν και Χάτσον καλύπτονται επίσης από πάγο. Στην Οχοτσκική θάλασσα συναντάται ελάχιστη παγοκάλυψη, ενώ απουσιάζει εντελώς σε όλη τη Βερίγγειο θάλασσα. Λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μειώνεται με μεγάλους ρυθμούς. Ιδιαίτερη μείωση της έκτασής του παρατηρείται τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο στον Αρκτικό ωκεανό βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Τον ένατο μήνα του χρόνου, σημειώνει τη μικρότερη τιμή του για το συγκεκριμένο έτος στα 4,8 εκ. km². Τον Οκτώβριο, ο πάγος εκτείνεται 6,1 εκ. km², καταλαμβάνοντας ωστόσο λιγότερο πάγο στη θάλασσα Μποφόρ και τη Δυτική Σιβηρία σε σχέση με αντίστοιχη μέση περιοχή που καλύπτει το διάστημα 1981-2010 (Σχήμα 3.39).

Η ατμόσφαιρα πάνω από μεγάλο μέρος της Αρκτικής παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από τον αντίστοιχο κλιματικό μέσο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Τον Μάιο, όμως, μόνο ο μισός Αρκτικός ωκεανός βόρεια της Ευρασίας είναι θερμότερος φτάνοντας τους +6°C στη Βόρεια Ευρώπη, ενώ ο υπόλοιπος είναι ψυχρότερος έως -5°C στον Βόρειο Καναδά και τη Γροιλανδία. Τους επόμενους δύο μήνες, η απόκλιση από τη μέση τιμή είναι μικρή. Ωστόσο, στις ελάχιστες περιοχές όπου οι θερμοκρασίες διαφέρουν παρατηρούνται ακραίες τιμές της τάξης των +10°C στην Ανατολική Σιβηρία τον Ιούνιο και -6°C στο Καναδικό Αρχιπέλαγος τον Ιούλιο. Τον Αύγουστο, κυριαρχούν οι υψηλότερες τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Τους τελευταίους δύο μήνες της θερμής περιόδου, η απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ -6°C έως +12°C, με την ατμόσφαιρα ψυχρότερη πάνω από τον Βόρειο Καναδά και θερμότερη στις θάλασσες Μποφόρ, Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ. Πρόκειται γενικά για μήνες με έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, σε αντίθεση με το προηγούμενα έτη στα οποία επικρατούσαν οι θερμότερες συνθήκες.



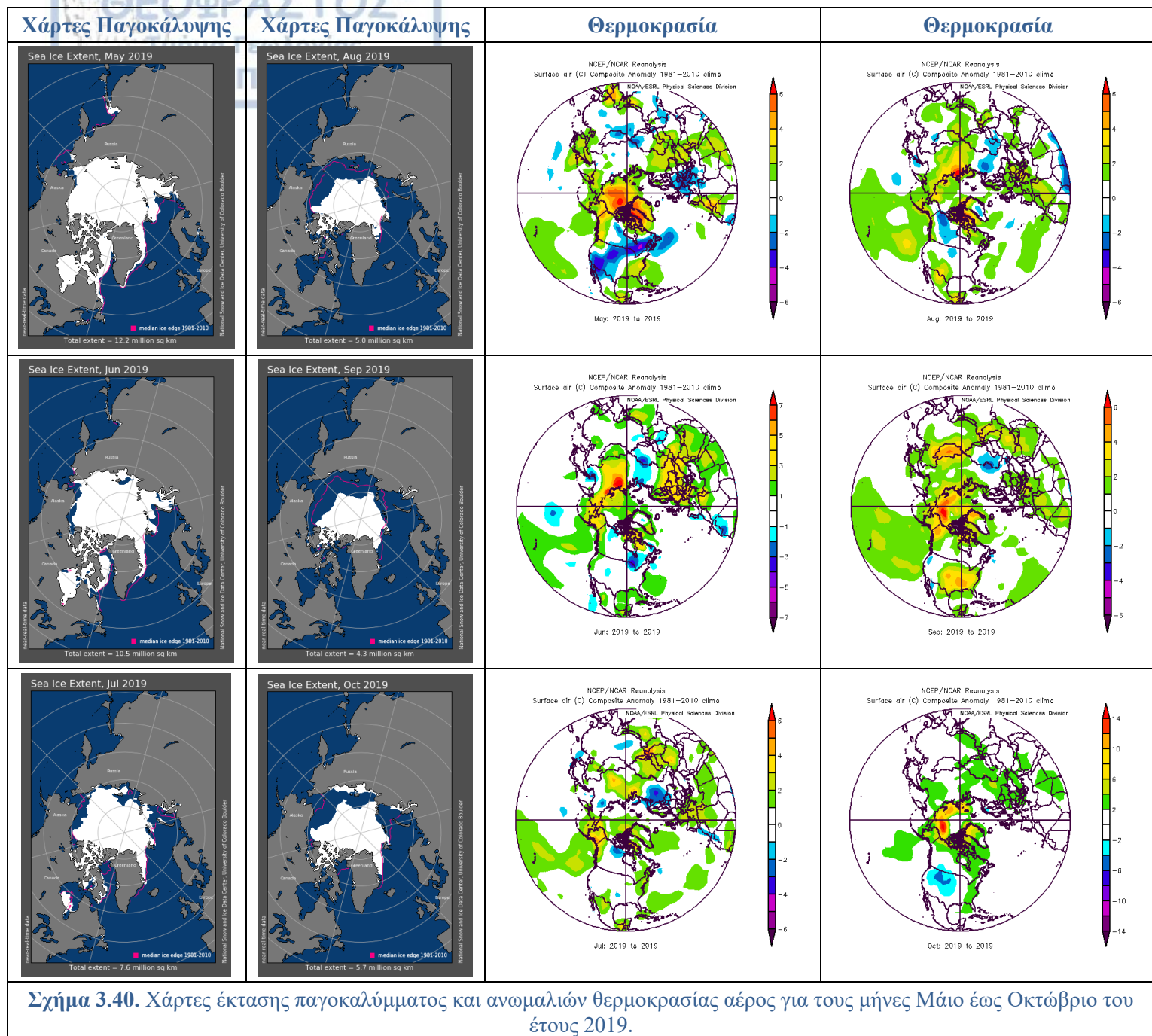
Σχήμα 3.39. Χάρτες έκτασης παγοκαλύμματος και ανωμαλιών θερμοκρασίας αέρος για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο του έτους 2018.

Έτος 2019

Το τελευταίο έτος της περιόδου μελέτης, 2019, το αρκτικό παγοκάλυμμα συνεχίζει να καλύπτει μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη μέση περιοχή στην οποία εκτείνεται κατά την περίοδο 1981-2010. Η ατμόσφαιρα σε όλη την Αρκτική εμφανίζει σημαντικές θερμοκρασιακές διαφορές της τάξεως των -5°C έως $+14^{\circ}\text{C}$ από τις μέσες τιμές της κατά την παραπάνω περίοδο, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να κυριαρχούν σε όλη την περιοχή.

Το παγοκάλυμμα είναι μειωμένο κατά τη διάρκεια όλων των μηνών σε σχέση με τη μέση τιμή του το διάστημα 1981-2010. Τον Μάιο, το παγοκάλυμμα παραμένει ίσο με την έκταση των 12,2 εκ. km^2 και εκτείνεται από τη θάλασσα Κάρα έως τον Βερίγγειο πορθμό. Νοτιότερα αυτού, η παγοκάλυψη απουσιάζει (Σχήμα 3.40). Επίσης, ένα μικρό τμήμα της Οχοτσικής θάλασσας καθώς και οι κόλποι Χάτσον και Μπάφιν είναι παγωμένοι. Το διάστημα που ακολουθεί, η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σταδιακά, ειδικά στις περιοχές των θαλασσών Μποφόρ, Τσούκτσι, Ανατολικής Σιβηρίας και Λάπτεφ. Τον Σεπτέμβριο, παρατηρείται η μικρότερη παγωμένη περιοχή της χρονιάς με έκταση 4,3 εκ. km^2 . Ο πάγος απουσιάζει από πολλές αρκτικές περιοχές οι οποίες θα έπρεπε να καλύπτονται από αυτόν, κυρίως στις θέσεις που προαναφέρθηκαν. Τον Οκτώβριο, το παγοκάλυμμα αρχίζει να μεγαλώνει σε έκταση φτάνοντας τα 5,7 εκ. km^2 .

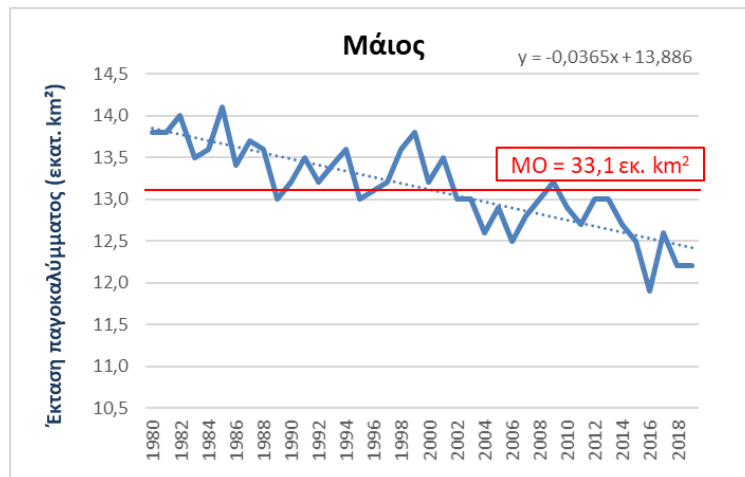
Η ατμόσφαιρα πάνω από την Αρκτική είναι θερμότερη σε σχέση με τη μέση κατάστασή της το διάστημα 1981-2010. Ωστόσο, στις περιοχές όπου εμφανίζονται αποκλίσεις, αυτές τείνουν να είναι μεγάλες. Καθ' όλη την θερμή περίοδο, η μεγαλύτερη αρνητική απόκλιση της θερμοκρασίας που συναντώνται είναι έως -5°C στον Βόρειο Καναδά. Μόνο πάνω από αυτή την περιοχή εμφανίζονται ψυχρότερες συνθήκες. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο Σεπτέμβριος, του οποίου οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις από τη μέση τιμή κυμαίνονται μεταξύ -2°C και $+6^{\circ}\text{C}$. Οι ψυχρότερες τιμές συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Γροιλανδίας και τη Βόρεια Ευρώπη. Ενδιαφέρον σημειώνεται τον Οκτώβριο στη θαλάσσια περιοχή βορειότερα του Βερίγγειου πορθμού όπου η απόκλιση προσεγγίζει τους $+14^{\circ}\text{C}$. Το 2019 είναι γενικά ένα πολύ θερμό έτος.



4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΓΟΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ

4.1 Τάση της Έκτασης του Παγοκαλύμματος ανά Μήνα

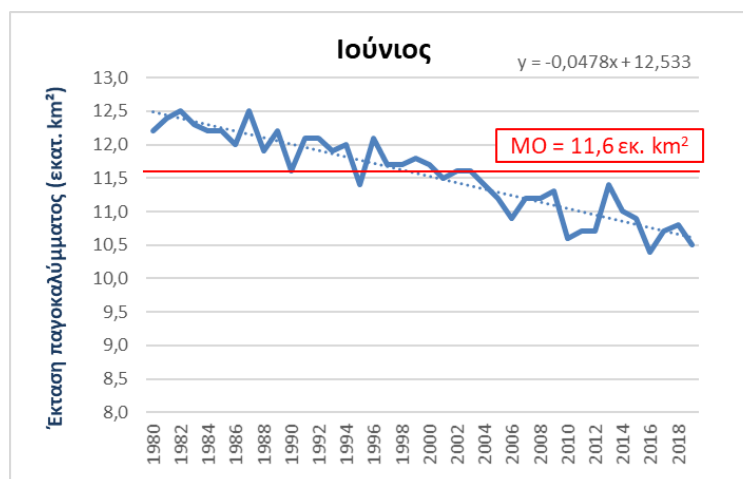
Μάιος



Σχήμα 4.1.1. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Μάιο του διαστήματος 1980-2019.

Την περίοδο 1980-2019, το παγοκάλυμμα του Μαΐου παρουσιάζει μία διακύμανση της τάξης των 2,2 εκ. km² στην έκτασή του. Καλύπτει κατά μέσο όρο μία περιοχή 13,1 εκ. km², έχοντας μεγαλύτερη τιμή από αυτήν στα μισά κυρίως αρχικά έτη του παραπάνω διαστήματος. Η μικρότερη τιμή καταγράφεται το 2016 και είναι της τάξης των 11,9 εκ. km², ενώ η μεγαλύτερη καταγράφεται στην αρχή της περιόδου μελέτης στα 14,1 εκ. km² (1985). Από το Σχήμα 4.1.1 γίνεται αντιληπτό πως η έκταση του παγοκαλύμματος παρουσιάζει πτωτική τάση, της τάξης των 0,37 εκ. km² ανά δέκα χρόνια. Ωστόσο, σε 18 από τα 40 έτη η παγοκάλυψη σημειώνει μεγαλύτερη θετική απόκλιση και μάλιστα στα έτη 1985, 1999, 2001 και 2009 παρατηρούνται οι πιο ακραίες τιμές.

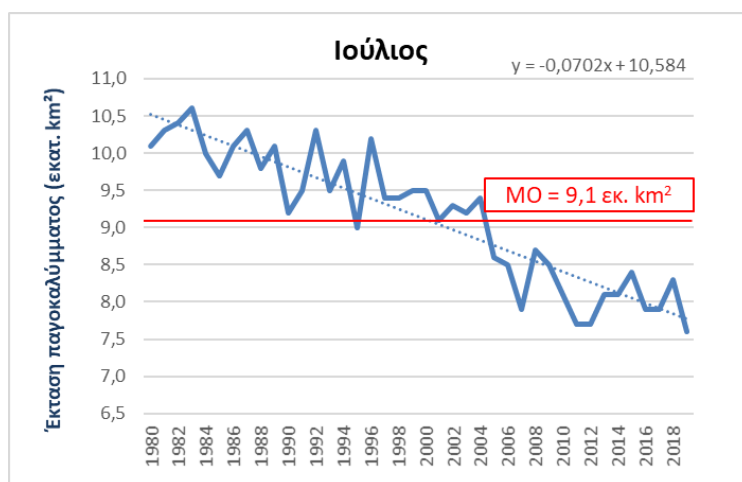
Ιούνιος



Σχήμα 4.1.2. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Ιούνιο του διαστήματος 1980-2019.

Ο μήνας Ιούνιος για το διάστημα 1980-2019 παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση στην έκταση της παγοκάλυψης με τον Μάιο. Το παγοκάλυμμα έχει μία μέση έκταση 11,6 εκ. km² με 22 έτη να έχουν μεγαλύτερη τιμή. Και για τον Ιούνιο, η μικρότερη έκταση παγοκαλύμματος καταγράφεται το 2016 (10,4 εκ. km²), ενώ η μεγαλύτερη έκταση παρατηρείται το 1982 και το 1987 (12,5 εκ. km²). Η παγοκάλυψη εμφανίζει πτωτική τάση και για το μήνα Ιούνιο με ελαφρά μεγαλύτερο ρυθμό σχεδόν 0,5 εκ. km² ανά δέκα χρόνια. Επίσης, στα έτη 1987, 1996 και 2013 σημειώνονται οι υψηλότερες θετικές αποκλίσεις από την πτωτική τάση της 40ετούς περιόδου, ενώ το 1990, το 1995, το 2006, το 2010 και το 2016 παρατηρούνται οι υψηλότερες αρνητικές αποκλίσεις.

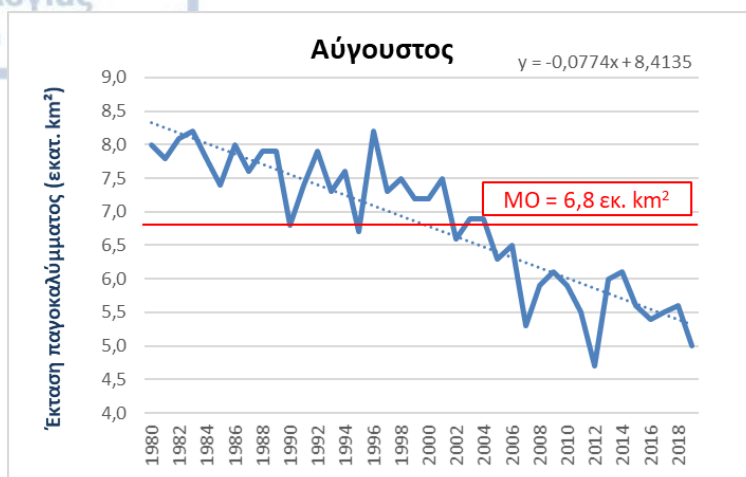
Ιούλιος



Σχήμα 4.1.3. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Ιούλιο του διαστήματος 1980-2019.

Στο Σχήμα 4.1.3 παρουσιάζεται η πτωτική τάση της έκτασης του παγοκαλύμματος τον Ιούλιο για το διάστημα 1980-2019. Η πτωτική τάση αυτή έχει την τιμή των 0,7 εκ. km² ανά 10 χρόνια. Γίνεται αντιληπτό πως σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενους μήνες, η περιοχή της παγοκάλυψη εμφανίζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις ειδικά μέσα στη δεκαετία του 1990. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως μεταξύ των ετών 2005-2013, η έκταση αποκλίνει σημαντικά προς τα κάτω από τη μέση τάση, με εξαίρεση το 2008. Με την κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος της έκτασης στα 9,1 εκ. km², με την παγοκάλυψη να έχει μεγαλύτερη τιμή από τη μέση τιμή σε 23 έτη, και από το 2005 και μετά όλα τα έτη εμφανίζουν παγοκάλυψη μικρότερη από τη μέση τιμή.

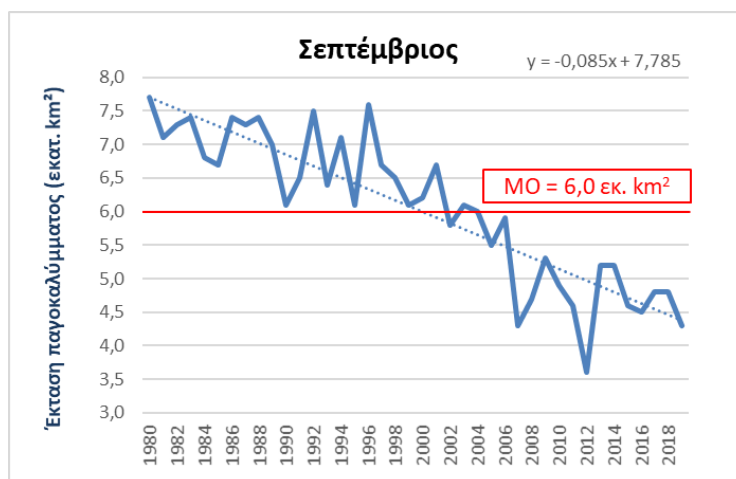
Αύγουστος



Σχήμα 4.1.4. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Αύγουστο του διαστήματος 1980-2019.

Η έκταση του παγοκαλύμματος μεταβάλλεται από 4,7 εκ. km² έως 8,2 εκ. km², δηλαδή περίπου 3,5 εκ. km² τον μήνα Αύγουστο κατά το διάστημα 1980-2010. Εμφανίζει πτωτική τάση παρόμοια με αυτή του μήνα Ιουλίου (0,77 εκ. km² ανά 10 χρόνια). Οι πιο ακραίες τιμές παγοκαλύμματος καταγράφονται το 1983 και το 1996 (8,2 εκ. km²) και το 2012 (4,7 εκ. km²). Από το Σχήμα 4.1.4 είναι φανερό ότι η παγοκάλυψη εμφανίζει μία σημαντική ελάττωση από το 1996 και μετά. Η έκταση του παγοκαλύμματος στο 40ετές διάστημα έχει μέση τιμή 6,8 εκ. km² και όπως σημειώνεται με την κόκκινη γραμμή 22 έτη έχουν μεγαλύτερη έκταση από αυτή.

Σεπτέμβριος

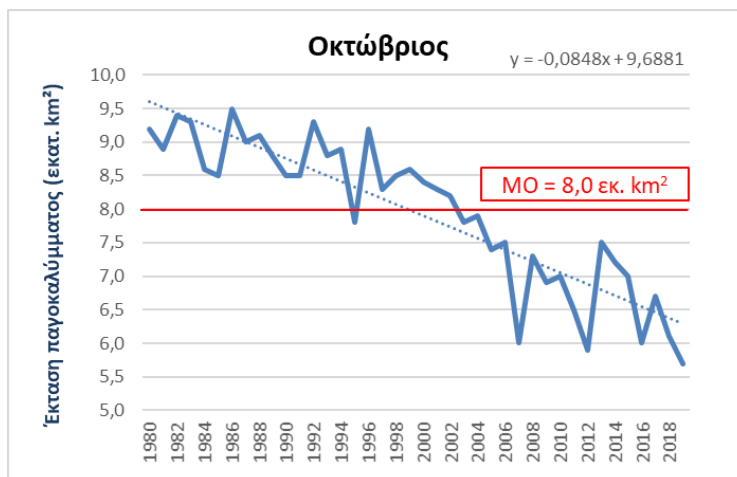


Σχήμα 4.1.5. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Σεπτέμβριο του διαστήματος 1980-2019.

Ο Σεπτέμβριος εμφανίζει στα 4,1 εκ. km² (3,6 έως 7,7 εκ. km²) τη μεγαλύτερη διακύμανση στην έκταση του παγοκαλύμματος κατά το διάστημα 1980-2019. Το 2012 καταγράφεται η ιστορικά χαμηλότερη παγοκάλυψη του Αρκτικού κύκλου με τιμή μόλις 4,7 εκ. km², ενώ οι δύο μεγαλύτερες καταγεγραμμένες εκτάσεις παγοκάλυψης για τον μήνα Σεπτέμβριο είναι το 1980 (7,7 εκ. km²) και το έτος 1996 (7,6 εκ. km²). Η παγοκάλυψη έχει μέση τιμή 6,0 εκ. km², με 23 έτη να βρίσκονται

πάνω από την κόκκινη γραμμή του μέσου όρου. Όπως και σε όλους τους προαναφερμένους μήνες, η έκταση εμφανίζει πτωτική τάση και φτάνει τη τιμή των 0,85 εκ. km² ανά 10 χρόνια. Οι μέγιστες θετικές αποκλίσεις σημειώνονται τη δεκαετία του 1990, ενώ οι μέγιστες αρνητικές αποκλίσεις τα έτη 2006 έως 2012.

Οκτώβριος

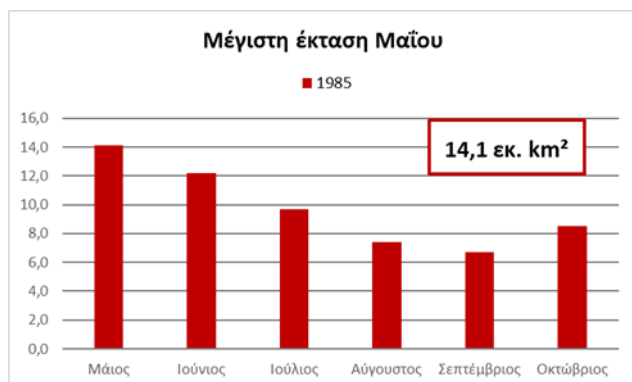


Σχήμα 4.1.6. Η έκταση του παγοκαλύμματος τον Οκτώβριο του διαστήματος 1980-2019.

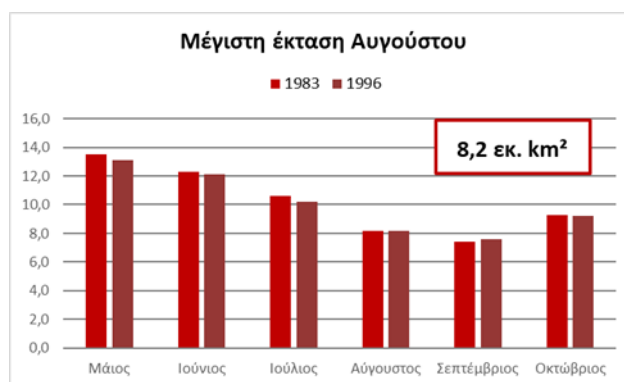
Στο Σχήμα 4.1.6 παρατηρείται πως η παγοκάλυψη τον Οκτώβριο των ετών 1980-2019 μεταβάλλεται σημαντικά. Η μεγαλύτερη τιμή παγοκαλύμματος καταγράφεται στη πρώτη 10ετία της περιόδου μελέτης, 9,5 εκ. km² (1986) ενώ η μικρότερη έκταση το 2019 και είναι ίση με 5,7 εκ. km². Η περιοχή που καλύπτεται μειώνεται, με μόνο τα μισά έτη να βρίσκονται πάνω από τη γραμμή που δείχνει την πτωτική τάση. Η πτωτική τάση του Οκτωβρίου είναι ίση με αυτή του μήνα Σεπτεμβρίου 0,85 εκ. km² ανά 10 χρόνια. Ακόμα, το παγοκάλυμμα έχει μέση έκταση 8,0 εκ. km², ενώ το διάστημα 1980-2002 η παγοκάλυψη είναι μεγαλύτερη. Εξάιρεση αποτελεί μόνο το έτος 1995, όταν το παγοκάλυμμα είναι ελάχιστο μικρότερο από τη μέση τιμή.

4.2 Τα Έτη με τις Μέγιστες και τις Ελάχιστες Τιμές της Παγοκάλυψης

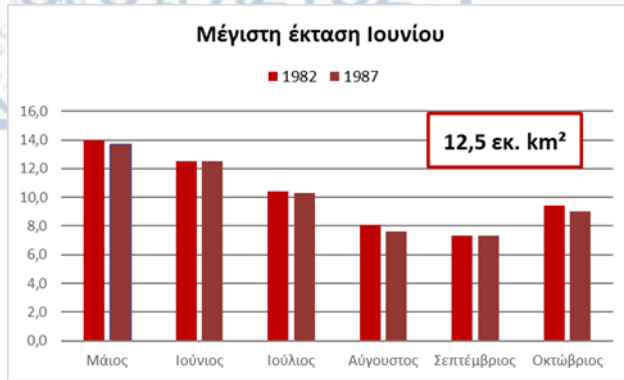
4.2.1. Μέγιστη έκταση του παγοκαλύμματος



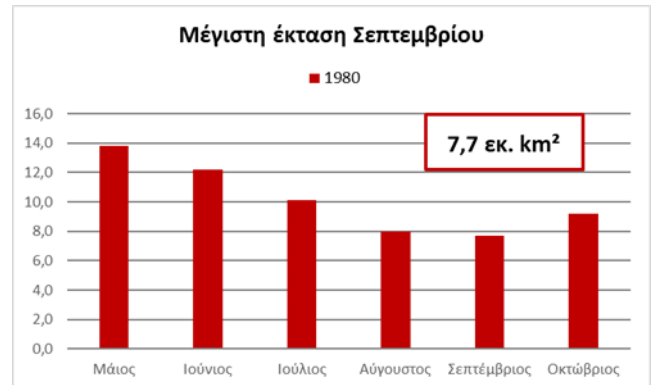
(a)



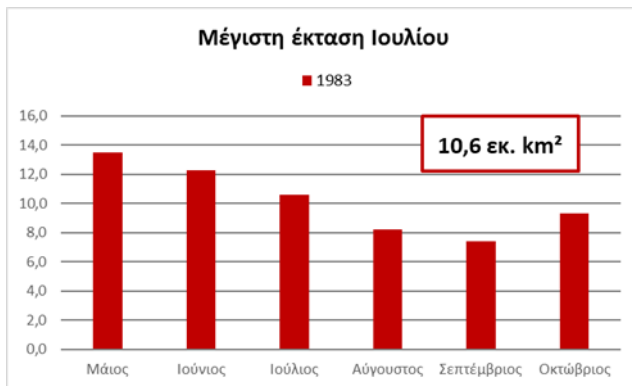
(d)



(b)



(e)



(c)



(f)

Σχήμα 4.2.1. Η έκταση του παγοκαλύμματος των ετών που εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή του κάθε μήνα.

Η μέγιστη έκταση του παγοκαλύμματος τον Μάιο σημειώνεται το 1985 (Σχήμα 4.2.1 (a)). Πρόκειται για ένα έτος κατά τη διάρκεια του οποίου η παγοκάλυψη παρουσιάζει υψηλές τιμές σε όλους τους μήνες της θερμής περιόδου, μεγαλύτερες μάλιστα από τις αντίστοιχες μέσες τιμές των μηνών για το διάστημα 1980-2019.

Στο Σχήμα 4.2.1 (b) παρουσιάζονται οι τιμές της έκτασης του παγοκαλύμματος τα έτη 1982 και 1987. Στα συγκεκριμένα έτη σημειώνεται η μέγιστη περιοχή που καλύπτεται από πάγους τον Ιούνιο μήνα. Από το διάγραμμα φανερώνεται πως, με εξαίρεση τον Ιούνιο και το Σεπτέμβριο όταν η παγοκάλυψη εκτείνεται σε περιοχή ίσης έκτασης, όλους τους υπόλοιπους μήνες το παγοκάλυμμα είναι ελάχιστα μεγαλύτερο το 1982. Επίσης, η τιμή της παγοκάλυψης είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης μέσης τιμής της περιόδου 1980-2019 σε όλους τους μήνες μελέτης των δύο ετών.

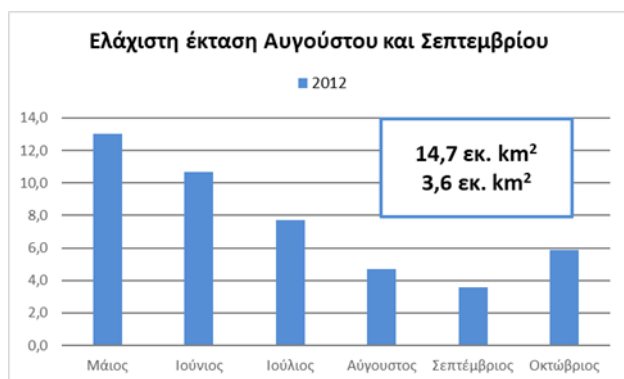
Για τον μήνα Ιούλιο, η μέγιστη τιμή της παγοκάλυψης σημειώνεται το 1983 (Σχήμα 4.2.1 (c)). Η έκταση του παγοκαλύμματος έχει υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια όλης της θερμής περιόδου, ξεπερνώντας τις αντίστοιχες μέσες τιμές αυτής για το διάστημα 1980-2019.

Το 1983 παρατηρείται επίσης η μέγιστη τιμή της έκτασης του παγοκαλύμματος του Αυγούστου. Ίδια τιμή παρουσιάζεται και το έτος 1996. Στο Σχήμα 4.2.1 (d) συγκρίνονται η τιμές της παγοκάλυψης της θερμής περιόδου των δύο αυτών ετών. Το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε περίπου ίση περιοχή και είναι μεγαλύτερο ή ίσο της μέσης τιμής της έκτασής του σε κάθε μήνα της περιόδου 1980-2019.

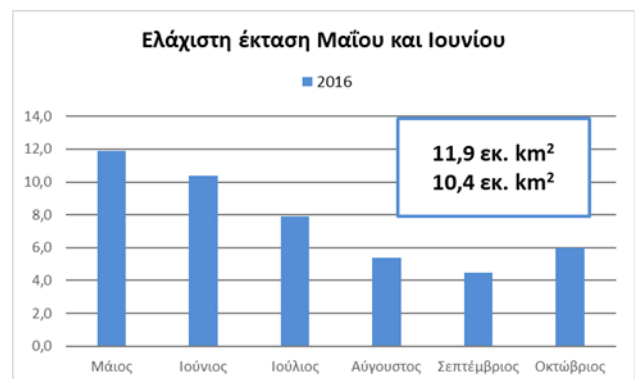
Στο Σχήμα 4.2.1 (ε) σημειώνεται η έκταση του παγοκαλύμματος το 1980, δηλαδή το έτος με τη μέγιστη τιμή παγοκάλυψης τον ένατο μήνα του χρόνου. Το 1980, οι πάγοι καλύπτουν μεγάλη αρκτική περιοχή καθ' όλη την περίοδο Μαΐου- Οκτωβρίου. Όλες οι μηνιαίες τιμές της έκτασης είναι υψηλότερες των αντίστοιχων μέσων τιμών του διαστήματος 1980-2019.

Τέλος, η περιοχή που καλύπτει η παγοκάλυψη το 1986 παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.1 (f). Πρόκειται για το έτος με τη μέγιστη έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος τον Οκτώβριο. Οι τιμές όλων των μηνών ξεπερνούν τις αντίστοιχες μέσες τιμές των ετών 1980-2019.

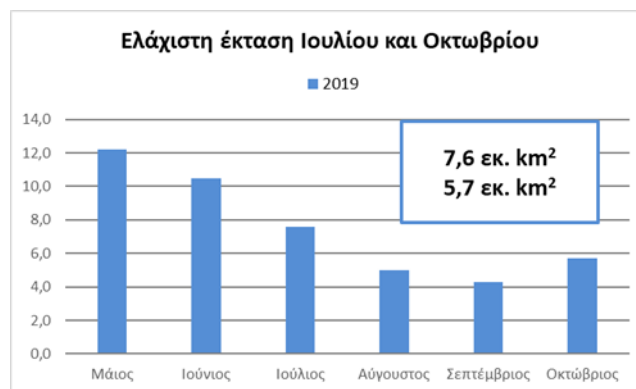
4.2.2. Ελάχιστη έκταση του παγοκαλύμματος



(a)



(b)



(c)

Σχήμα 4.2.2. Η έκταση του παγοκαλύμματος των ετών που εμφανίζουν την ελάχιστη τιμή του κάθε μήνα.

Το έτος 2012 σημειώνονται οι ελάχιστες τιμές της παγοκάλυψης του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου με 4,7 εκ. km² και 3,6 εκ. km², αντίστοιχα (Σχήμα 4.2.2 (a)). Ενώ τον Μάιο το παγοκάλυμμα εκτείνεται σε μία περιοχή 13,0 εκ. km² και βρίσκεται στη δέκατη όγδοη θέση των ετών με τη λιγότερη παγοκάλυψη, τον Ιούνιο η έκτασή του μειώνεται σημαντικά και πλέον κατέχει την πέμπτη θέση της παραπάνω κατηγορίας. Σε παρόμοιες θέσεις βρίσκεται και τους επόμενους μήνες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι τιμές της παγοκάλυψης όλης της θερμής περιόδου του έτους είναι μικρότερες των αντίστοιχων μέσων τιμών του διαστήματος 1980-2019.

Οι ελάχιστες τιμές του παγοκαλύμματος για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο παρατηρούνται το 2006. Στο Σχήμα 4.2.2 (b) παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγοκάλυψης κατά τη θερμή περίοδο του συγκεκριμένου έτους, η έκταση της οποίας είναι μικρότερη από τη μέση τιμή της για το διάστημα 1980-2019. Η ελάχιστη τιμή της καλυμμένης από πάγο περιοχής στον πέμπτο μήνα του χρόνου σημειώνεται στα 11,9 εκ. km², ενώ στον επόμενο μήνα στα 10,4 εκ. km².

Στο τελευταίο έτος μελέτης αυτής της εργασίας σημειώνεται η ελάχιστη έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος τους μήνες Ιούλιο και Οκτώβριο στα 7,6 εκ. km² και 5,7 εκ. km² αντίστοιχα. Οι τιμές της έκτασης των πάγων των υπόλοιπων μηνών της θερμής περιόδου του 2019 κατέχουν την τρίτη και τη δεύτερη θέση των ετών με τη λιγότερη παγοκάλυψη. Επομένως, αποτελεί ένα έτος κατά τη διάρκεια του οποίου το παγοκάλυμμα έχει μειωθεί δραματικά σε σχέση με την αντίστοιχη έκταση που κάλυπτε τα προηγούμενα χρόνια.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άνοδος της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας έχει επηρεάσει δραματικά την έκταση του αρκτικού παγοκαλύμματος. Από τη δεκαετία του 2000 γίνεται εμφανής η μείωση του, ιδιαίτερα κατά τους τρεις τελευταίους μήνες της θερμής περιόδου. Από τα μέσα της ίδιας δεκαετίας, η τιμή της παγοκάλυψης είναι μικρότερη της αντίστοιχης μέσης τιμή της καθ' όλη τη διάρκεια του 40ετούς διαστήματος μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας.

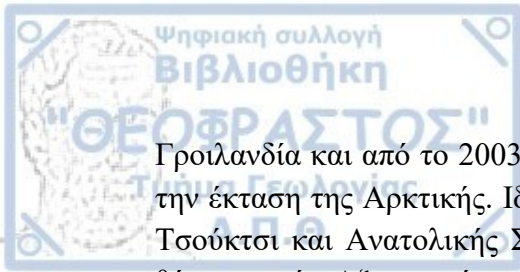
Κατά το διάστημα 1980-2019, η παγοκάλυψη έχει μέση έκταση 13,6 εκ. km² τον μήνα Μάιο. Η απόκλιση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας από τον μέσο κλιματικό δείκτη της περιόδου 1981-2010 κυμαίνεται από -5°C έως +5°C. Η έκταση του παγοκαλύμματος φτάνει τη μέγιστη τιμή της το 1985, αλλά από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι υψηλότερες θερμοκρασίες αρχίζουν να κυριαρχούν με αποτέλεσμα τη μείωση του, ιδιαίτερα στις περιοχές του Βερίγγειου πορθμού και των θαλασσών Τσούκτσι, Μποφόρ και βόρειας Μπάρεντς. Αν και λόγω των ψυχρότερων θερμοκρασιών του 1999 φαίνεται να ευνοείται η έκταση της παγοκάλυψης στη Βερίγγειο θάλασσα, η άνοδος της θερμοκρασίας ολόκληρου του Βορείου Ημισφαιρίου το 2002 συνεπάγεται πάλι την ελάττωση των πάγων. Η επικράτηση των υψηλότερων τιμών της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας στην Αρκτική γίνεται ιδιαίτερα εμφανής από το 2005. Ενώ η απουσία των πάγων στο Βερίγγειο πορθμό παρατηρείται ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, από το 2006 μέρος αυτών αρχίζει να απουσιάζει και από τη βόρεια θάλασσα Μπάρεντς. Το 2012 είναι ένα πολύ θερμό έτος, με πολλές αρκτικές περιοχές να εμφανίζουν μέγιστες αποκλίσεις από τη μέση τιμή στους +4°C. Παρόμοια κατάσταση συμβαίνει και το 2016 με τη θερμοκρασία να φτάνει τους +5°C και το παγοκάλυμμα να αποκτά τη μικρότερη έκτασή του. Η θέρμανση συνεχίζει να αυξάνεται, ξεπερνώντας τους +5°C στην ατμόσφαιρα πάνω από την Αρκτική το 2019.

Το παγοκάλυμμα εμφανίζει τη μέγιστη έκτασή του για το μήνα Ιούνιο τα έτη 1982 και 1987, ενώ η μέση έκτασή του για την περίοδο 1980-2010 είναι 11,6 εκ. km². Από τη δεκαετία του 1990, η θερμοκρασία της Αρκτικής αρχίζει να ανεβαίνει σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της κατά το διάστημα 1981-2010. Γεγονός που έχει αντίκτυπο στην παγοκάλυψη, η οποία μειώνεται σταδιακά με μεγαλύτερη έμφαση στην περιοχή του Βερίγγειου πορθμού. Το 1998, η θερμοκρασία φτάνει τους +5°C στον κόλπο Χάτσον και ένα μικρό μέρος αυτού δεν είναι παγωμένο. Γενικά τον Ιούνιο του έτους αυτού, η μείωση της παγοκάλυψης είναι ιδιαίτερα εμφανής. Από το 1999 έως το 2002, η ατμόσφαιρα εμφανίζεται πιο ψυχρή. Ωστόσο, από το 2005 παρατηρείται και πάλι άνοδος της θερμοκρασίας και μάλιστα επικρατούν οι υψηλότερες τιμές της σε όλη την έκταση της Αρκτικής και το παγοκάλυμμα μειώνεται στην περιοχή του Βόρειου Καναδά. Το 2010, οι περιοχές με μικρότερες τιμές θερμοκρασίας από τον κλιματικό μέσο είναι ελάχιστες. Η απουσία τμήματος των πάγων της βόρειας θάλασσας Μπάρεντς γίνεται αντιληπτή το 2012, ενώ το 2014 η θερμοκρασία αγγίζει τους +5°C στον Βόρειο Καναδά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται το 2016, δηλαδή το έτος με την μικρότερη έκταση του

παγοκάλυψης στα 4,7 εκ. km², κατάσταση που δικαιολογείται καθώς παρατηρούνται σχεδόν μόνο υψηλότερες θερμοκρασίες από τον κλιματικό μέσο. Το παγοκάλυμμα αυξάνεται ελάχιστα τα επόμενα χρόνια και το 2019 εκτείνεται σε μία περιοχή 5,0 εκ. km².

Οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην έκταση του παγοκαλύμματος παρατηρούνται τον Σεπτέμβριο. Αν και πρόκειται για τον μήνα με την εκ των πραγμάτων μικρότερη παγοκάλυψη, αυτή επηρεάζεται ιδιαίτερα από την υφιστάμενη παγκόσμια θέρμανση. Γενικά, οι πάγοι καλύπτουν μία μέση περιοχή 6,0 εκ. km². Το 1980, η ατμόσφαιρα πάνω από την Αρκτική είναι ψυχρότερη της μέση κατάστασής της κατά το διάστημα 1981-2010 με τις τιμές της θερμοκρασίας να κυμαίνονται μεταξύ -7°C και -2°C και το παγοκάλυμμα να εμφανίζει τη μέγιστη τιμή του στα 7,7 εκ. km². Κατά τη συγκεκριμένη δεκαετία οι συνθήκες της ατμόσφαιρας μεταβάλλονται συνεχώς και είναι θερμότερες ή ψυχρότερες ανάλογα με το έτος. Οι περιοχές του Βερίγγειου πορθμού και των θαλασσών Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας αρχίζουν να θερμαίνονται από το 1989, κατάσταση που επηρεάζει τους πάγους στις θέσεις αυτές. Λόγω της συνεχιζόμενης θέρμανσης, το 1995, η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται σημαντικά στον μισό Αρκτικό ωκεανό βορειότερα της Αμερικής και της Ασίας. Τον επόμενο χρόνο, αυξάνεται πάλι καθώς οι θερμοκρασίες δεν είναι τόσο υψηλές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το 1998, όταν απουσιάζουν οι πάγοι σε ένα τμήμα της θάλασσας Μποφόρ λόγω της θέρμανσης, ενώ αντίθετα υπάρχει μεγάλη παγοκάλυψη βόρεια της Σιβηρίας μιας και οι τιμές της θερμοκρασίας στην περιοχή αυτή είναι χαμηλότερες του κλιματικού μέσου. Από τη δεκαετία του 2000, αρχίζουν να επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες έναντι των χαμηλότερων, φτάνοντας τους +6°C το 2003 στη θάλασσα Τσούκτσι. Το παγοκάλυμμα μειώνεται κάθε χρόνο και το 2007 λείπει το μισό στην περιοχή των θαλασσών Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας. Το 2012 σημειώνεται η ελάχιστη τιμή του στα 3,6 εκ. km² και στην ατμόσφαιρα παρουσιάζονται σχεδόν μόνο θερμότερες συνθήκες πάνω από όλη την Αρκτική. Η παγοκάλυψη αυξάνεται ελάχιστα τα επόμενα χρόνια και το 2018 υπάρχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες στον Καναδά, χωρίς ωστόσο αυτή να ανακάμπτεται ιδιαίτερα. Τέλος, το 2019 όλη η Αρκτική είναι θερμότερη και οι πάγοι εκτείνονται σε περιοχή 4,3 εκ. km².

Ο Οκτώβριος είναι ο μήνας που εμφανίζει τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στις τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και συνεπώς επηρεάζει ιδιαίτερα την έκταση του παγοκαλύμματος. Για το διάστημα 1980-2019, η παγοκάλυψη εκτείνεται σε μία μέση περιοχή 8,0 εκ. km², ενώ το 1986 εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της και το 2019 την ελάχιστη. Ήδη από τη δεκαετία του 1980, στη θάλασσα Μποφόρ παρουσιάζεται μία τάση ανόδου της θερμοκρασίας. Το 1986, η θερμοκρασία αποκλίνει έως -8°C από τον κλιματικό μέσο της περιόδου 1981-2010, με αποτέλεσμα να υπάρχει μία αυξημένη παρουσία πάγων στον κόλπο Μπάφιν και η συνολική έκτασή τους να έχει τιμή 9,5 εκ. km². Παρόμοια κατάσταση επικρατεί στη Βορειοδυτική Ασία το 1988, με την απόκλιση να φτάνει τους -10°C. Τα επόμενα χρόνια οι συνθήκες της ατμόσφαιρας και η έκταση του παγοκαλύμματος μεταβάλλονται συνεχώς. Το 2002 σημειώνονται θερμοκρασίες ανεβασμένες έως +7°C στη θάλασσα της Ανατολικής Σιβηρίας και στη



Γροιλανδία και από το 2003 αρχίζουν να επικρατούν οι θερμότερες συνθήκες σε όλη την έκταση της Αρκτικής. Ιδιαίτερη θέρμανση παρατηρείται στις θάλασσες Μποφόρ, Τσούκτσι και Ανατολικής Σιβηρίας επηρεάζοντας σημαντικά το παγοκάλυμμα στις θέσεις αυτές. Αξιοσημείωτη είναι η άνοδος της θερμοκρασίας κατά $+14^{\circ}\text{C}$ σε πολλές περιοχές του Αρκτικού ωκεανού μεταξύ των ηπείρων της Ασίας και της Αμερικής το 2007. Το 2008, οι συνθήκες βελτιώνονται, αλλά το παγοκάλυμμα δεν ανακάμπτει πλήρως παντού. Από το 2010 και μετά, η ατμόσφαιρα πάνω από πολλές περιοχές της Αρκτικής σημειώνει συνεχόμενη θέρμανση με μέγιστες τιμές να κυμαίνονται από $+9^{\circ}\text{C}$ έως $+14^{\circ}\text{C}$. Όπως είναι φυσιολογικό, η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται δραματικά και φτάνει τα 5,7 εκ. km^2 το 2019.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως από τη δεκαετία του 2000, η άνοδος της θερμοκρασίας είναι πιο εμφανής και με το πέρασμα του χρόνου η κατάσταση μόνο επιδεινώνεται. Ως αποτέλεσμα, η έκταση του παγοκαλύμματος μειώνεται, ειδικά στη μισή περιοχή του Αρκτικού ωκεανού βόρεια του Βερίγγειου πορθμού. Καθώς η παγκόσμια θέρμανση βρίσκεται σε εξέλιξη, η παγοκάλυψη δεν έχει τη δυνατότητα να ανακάμψει και συνεχώς ελαττώνεται.



Desonie, D. (2008). Climate: Causes and effects of climate change. Infobase Publishing.

EOS, “Climate Change Is Intensifying Arctic Ocean Currents”, Thomas H., 3 March 2020, <https://eos.org/articles/climate-change-is-intensifying-arctic-ocean-currents>

Lumen Learning “Polar Climates (Group E)”, Climate Systems and Change, 28 April 2020, <https://courses.lumenlearning.com/geophysical/chapter/polar-climates-group-e/>

NASA 2020a “The Causes of Climate Change”, Facts- Causes, 28 April 2020, <https://climate.nasa.gov/causes/>

NASA 2020b “Climate Change: How Do We Know?”, Facts- Evidence, 28 April 2020, <https://climate.nasa.gov/evidence/>

NASA 2020c, “An unrecognizable Arctic.”, Scudellari M., 24 July 2013, <https://climate.nasa.gov/news/958/an-unrecognizable-arctic/>

NASA 2020d, “Arctic Ice Melt Is Changing Ocean Currents”, Editors Vizza R., Segal M., 6 February 2020, <https://climate.nasa.gov/news/2950/arctic-ice-melt-is-changing-ocean-currents/>

NASA 2020e, “Unexpected future boost of methane possible from Arctic permafrost”, Gray E., 20 August 2018, <https://climate.nasa.gov/news/2785/unexpected-future-boost-of-methane-possible-from-arctic-permafrost/>

NASA 2020f, “Arctic Sea Ice Minimum.”, Facts- Vital Signs, 28 April 2020, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>

National Geographic “Arctic”, Editor Evers J., Resource Library, 28 April 2020, <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/arctic/>

NOAA, About our agency, 5 June 2020, <https://www.noaa.gov/about-our-agency>

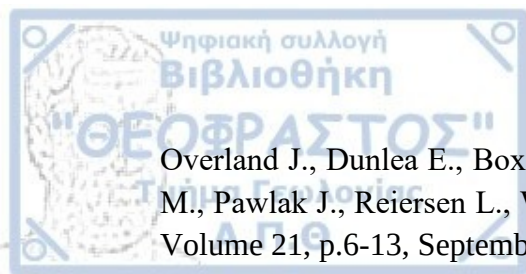
NSIDC 2020a “What is the Arctic?”, 28 April 2020, <https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/arctic.html>

NSIDC 2020b “Climate vs. Weather”, 28 April 2020, https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/climate_vs_weather.html

NSIDC 2020c “Climate Change in the Arctic”, 28 April 2020, https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/climate_change.html

NSIDC 2020d, “Arctic sea ice reaches second lowest minimum in satellite record”, Gautier A., Arctic Sea Ice News and Analysis, 23 September 2019, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2019/09/arctic-sea-ice-reaches-second-lowest-minimum-in-satellite-record/>

NSIDC 2020e, About NSIDC, 5 June 2020, <https://nsidc.org/about/overview>



Overland J., Dunlea E., Box J. E., Corell R., Forsius M., Kattsov V., Skovgård Olsen M., Pawlak J., Reiersen L., Wang M. “The urgency of Arctic change.” Polar Science, Volume 21, p.6-13, September 2019

PSL 2020a, About PSL, 5 June 2020, <https://psl.noaa.gov/about/>

Rowley T., Giardino J. R., Granados-Aguilar R., Vitek J. D., 2015, “Periglacial Processes and Landforms in the Critical Zone.” Developments in Earth Surface Processes, Volume 19, p. 397-447, <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/thermokarst>

The Arctic, “Scientists study thermokarst lake emissions in Western Siberia and the Arctic.”, 23 April 2019, <https://arctic.ru/news/20190423/849864.html>

The Guardian, “Arctic sea ice cover falls to 'alarming' low as temperatures rise”, Editor Sample I., Climate Change, 11 December 2019, <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/10/arctic-sea-ice-cover-falls-to-alarming-low-as-temperatures-rise#maincontent>

Vihma, T. “Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: a review.” 30 January 2014, https://www.pmel.noaa.gov/arctic-zone/future/bib/Vihma_accepted_in_Surv_Geophys.pdf

Woods Hole Oceanographic Institution, “Arctic Halocline”, 28 April 2020, <https://www.whoi.edu/multimedia/arctic-halocline/>

NORTH meteo, «Ο βόρειος Ατλαντικός ψυχραίνει – Ποια τα αίτια;», Κλιματολογία, 28 Απριλίου 2020, <http://northmeteo.gr/poy-mporei-na-ofeilontai-akraies-katastaseis-stin-eyropi-opos-oi-fetines/>

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αλμπανάκης Κ., 1999, «Μαθήματα Ωκεανογραφίας», σελ. 120

Ζάνης Π., 2014, «Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας», σελ. 24

Λαζαρίδης Μ., 2010, «Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας», σελ. 68-69

Φλόκας Α. Απ., 1997, «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», σελ. 324-325, σελ. 127