القطب الشمالي5الفصل

Jacqueline Richter-Menge, Editor

ترجمة : رشيدة الورايني

5a. نظرة عامة

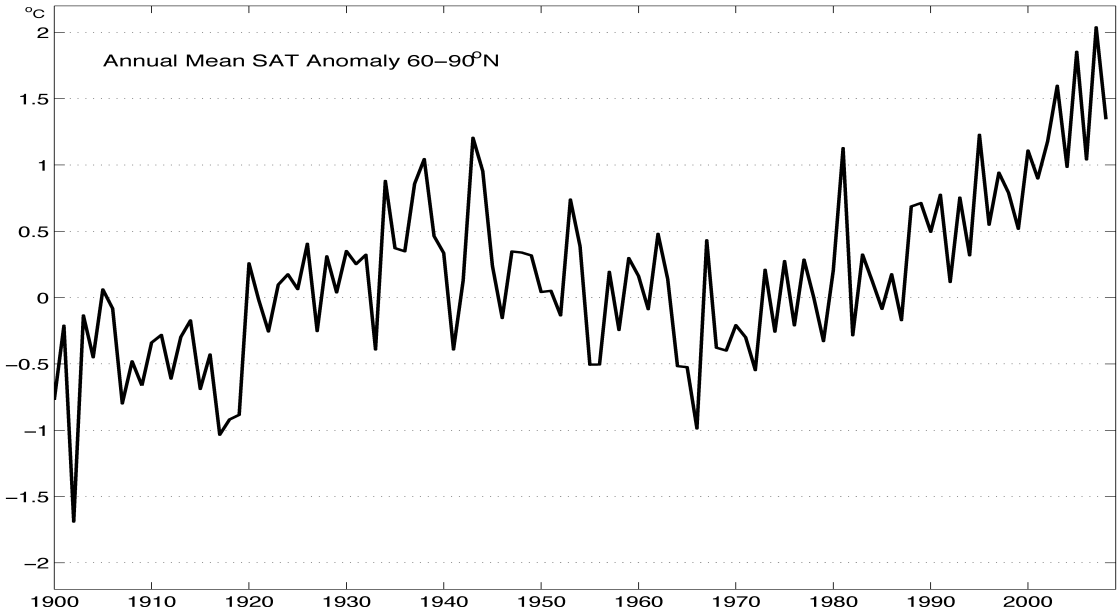
في سنة 2008، لا تزال هناك أدلة واضحة على التأثير الذي يحدثه الاتجاه العام نحو الاحترار في درجات حرارة الهواء على السطح فوق اليابسة في منطقة القطب الشمالي، والذي يبدو جلياً منذ منتصف الستينيات من القرن العشرين. لقد تم رصد درجات حرارة الهواء أثناء الصيف (حزيران / يونيو- تموز / يوليو – آب / أغسطس) في جميع أنحاء غرينلاندا؛ وشهدت المنطقة الشمالية لغرينلاند والمناطق المجاورة لمنطقة القطب الشمالي الكندية موسم ذوبان بطريقة مكثفة، رغم أن النصف الجنوبي لغرينلاندا عرف شتاءا باردا أكثر من المعتاد. على اليابسة, الاتجاه هو نحو استمرار انخفاض مدة موسم الثلوج في منطقة القطب الشمالي، و الذي يؤكد ذلك هو تسجيل أقصر مدة غطاء ثلجي (ابتداءً من 1966) في المنطقة القطبية الامريكية الشمالية. و الملاحظ أن هناك زيادة عامة في درجات حرارة سطح اليابسة و في درجات حرارة الصقيع الدائم خلال العقود الماضية في جميع أنحاء منطقة القطب الشمالي.

تظهر بيانات الصقيع الدائم الواردة حديثاً من روسيا تشابهاً لافتاً مع الرصدات في ألاسكا، مع ارتفاع نمطي في درجات حرارة الصقيع الدائم بنسبة درجة إلى درجتين سلسيوس في آخر 30 إلى 35 سنة. واحد من أكثر العلامات المثيرة للإتجاه العام نحو الاحترار هو استمرار الانخفاض الكبير في مساحة رقعة الغطاء الجليدي البحري في الصيف، والأهم من هذا, الانخفاض في كميات الجليد الأكثر سمكاً والأقدم نسبياً. لقد سجل الساتل ثاني أدنى قيمة (ابتداءً من 1979) لمساحة رقعة الغطاء الجليدي البحري في صيف 2008, وتعتبر أقل ب 36% من متوسط الفترة 1979-2000. لا يزال الشذوذ في درجات الحرارة أثناء الصيف في الطبقة السطحية للمحيط مرتفعا نسبياً، حيث بلغ أكثر من 3 درجات سلسيوس في بحر البوفورت. تواصلت الخسائر الكبيرة في كتل الصفائح الجليدية وفي مساحات الجرف الجليدي، مع خلو العديد من المضايق في الساحل الشمالي لجزيرة إيلسمير (Ellesmere) من الجليد لأول مرة منذ 3000-5500 سنة.

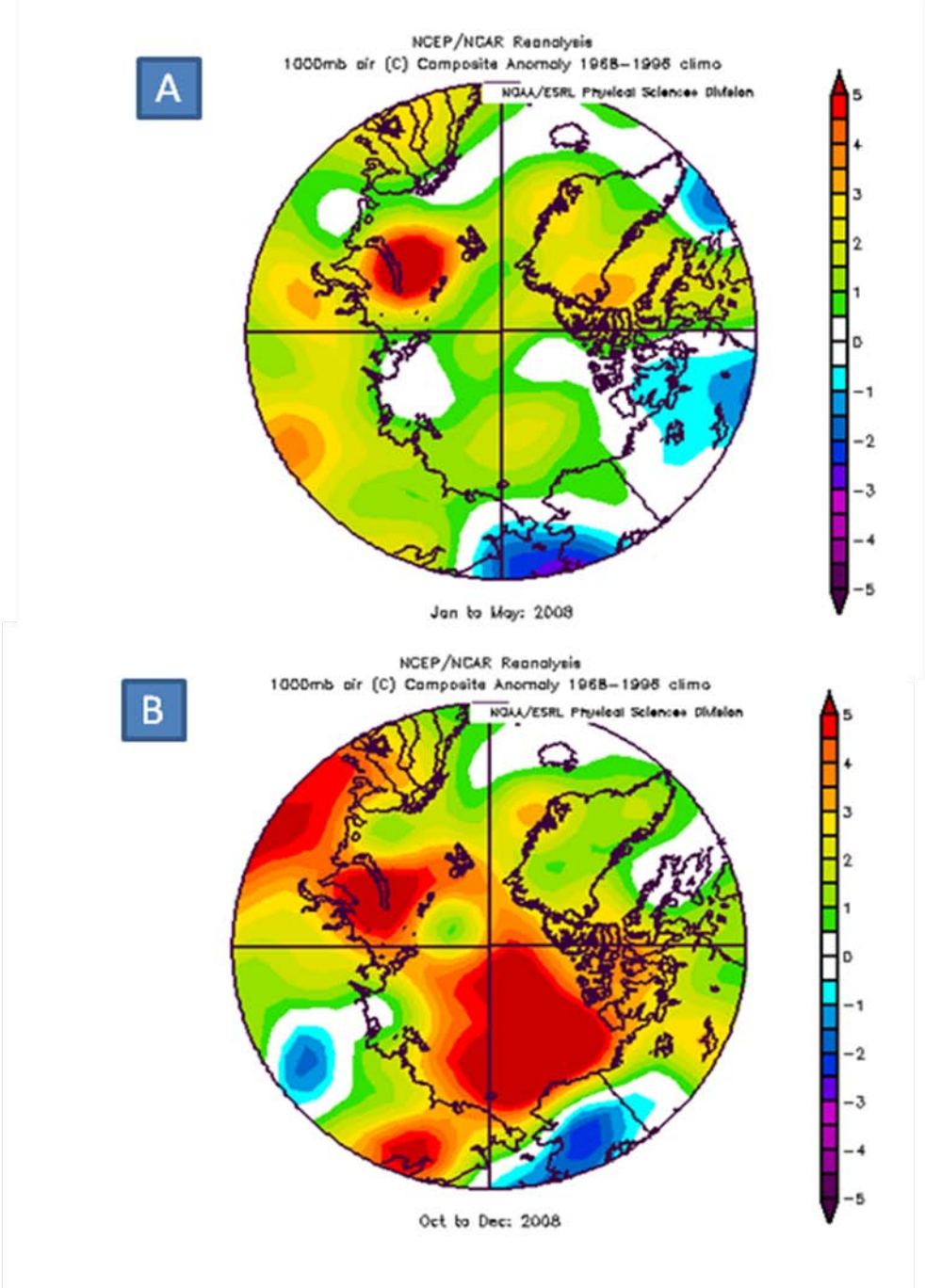
بدأت في الظهور عدة علامات موثقة و التي تدل على الربط الحاصل بين مختلف عناصر نظام القطب الشمالي. على سبيل المثال، فإن مقارنة درجات حرارة سطح المحيط خلال صيفي 2007 و2008 أعطت دليلاً واضحاً على أن توقيت فقدان الغطاء الجليدي البحري في الصيف يلعب دوراً هاماً في تحديد مقدار وتوزيع درجات حرارة سطح المحيط. ومن الواضح أن تسخين المحيط في المناطق التي يبلغ فيها تراجع الجليد البحري أثناء الصيف ذروته يؤثر تأثيراً مباشراً في درجات الهواء على السطح فوق المحيط المتجمد الشمالي، حيث بلغ الشذوذ في درجات حرارة الهواء على السطح قيمة 5+ درجة سلسيوس والتي لم يسبق لها مثيل و ذلك خلال الفترة تشرين الأول/ أكتوبر إلى كانون الأول/ دسمبر 2008. إن الرصدات المباشرة تأكد تنبؤات النموذج، وهي أن تراجع الجليد البحري يؤثر في درجات الحرارة وفي الغطاء النباتي للأراضي المتاخمة. تظهر التحليلات الزمنية عموماً، وذلك في إطار منطقة معينة، بأن الفترات التي يكون فيها تركيز كميات الجليد البحري الأكثر انخفاضاً ترتبط مع درجات حرارة سطح الأرض أكثر ارتفاعاً ومع زيادة في كميات عيش النباتات الخضراء في الصيف.

5b. الغلاف الجوي

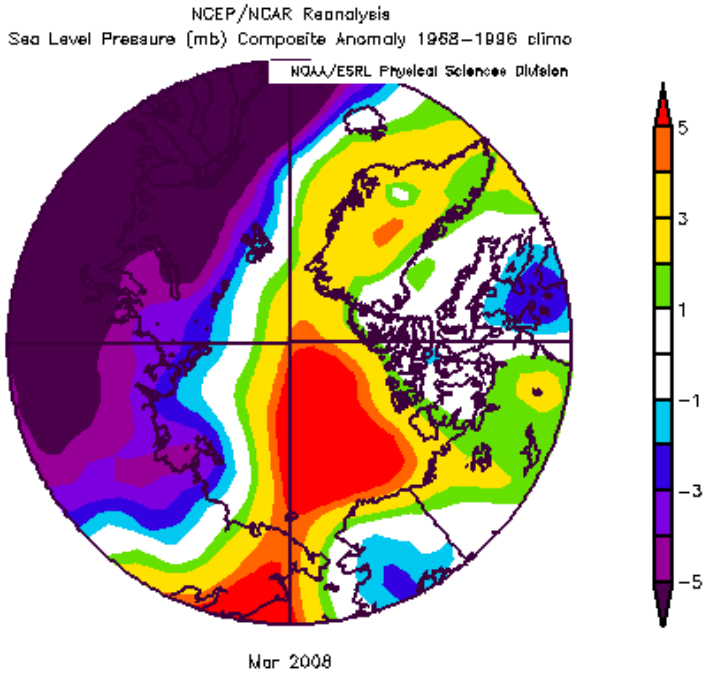
J. Overland, M.Wang and J Walsh



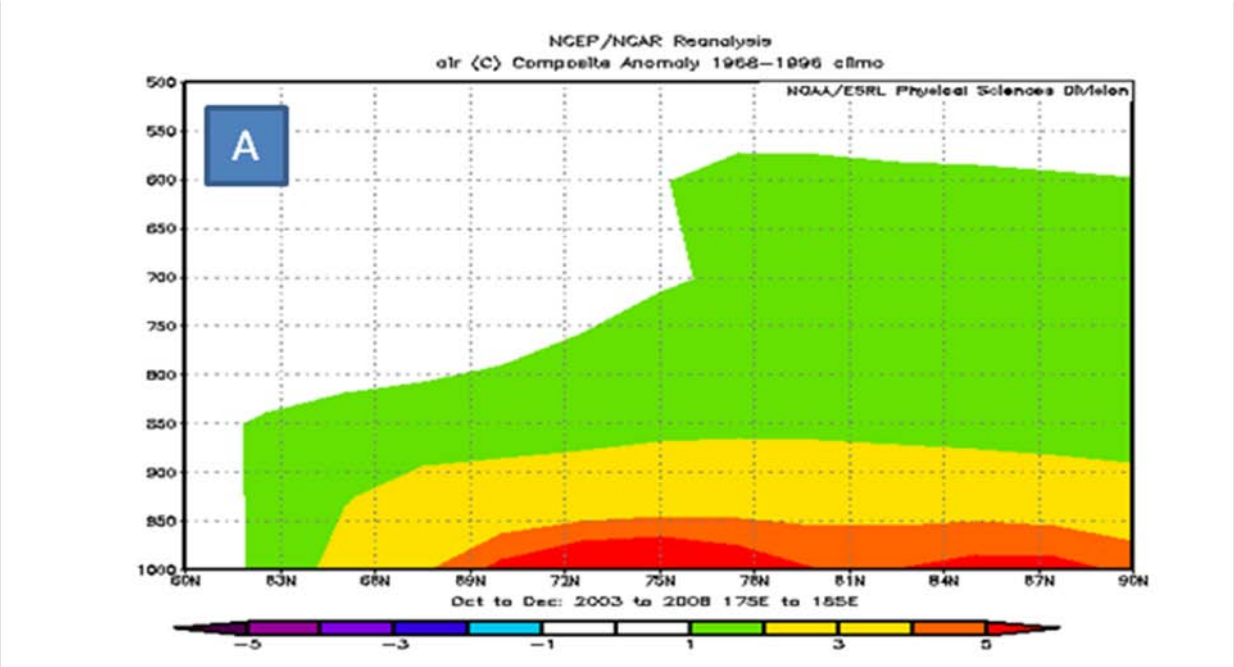
الشكل 5b1: متوسط الشذوذ السنوي لدرجات حرارة سطح الأرض والهواء في منطقة القطب الشمالي (من 60 إلى 90 درجة شمالاً) والمستمدة من المحطات الأرضية 60 درجة شمالاً فيما يتعلق بمتوسط الفترة 1961-1990. من مجموعة البيانات CRUTEM 3v (المتوفرة على الموقع: www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature). المنحنى لا يأخذ بعين الإعتبار الرصدات البحرية.

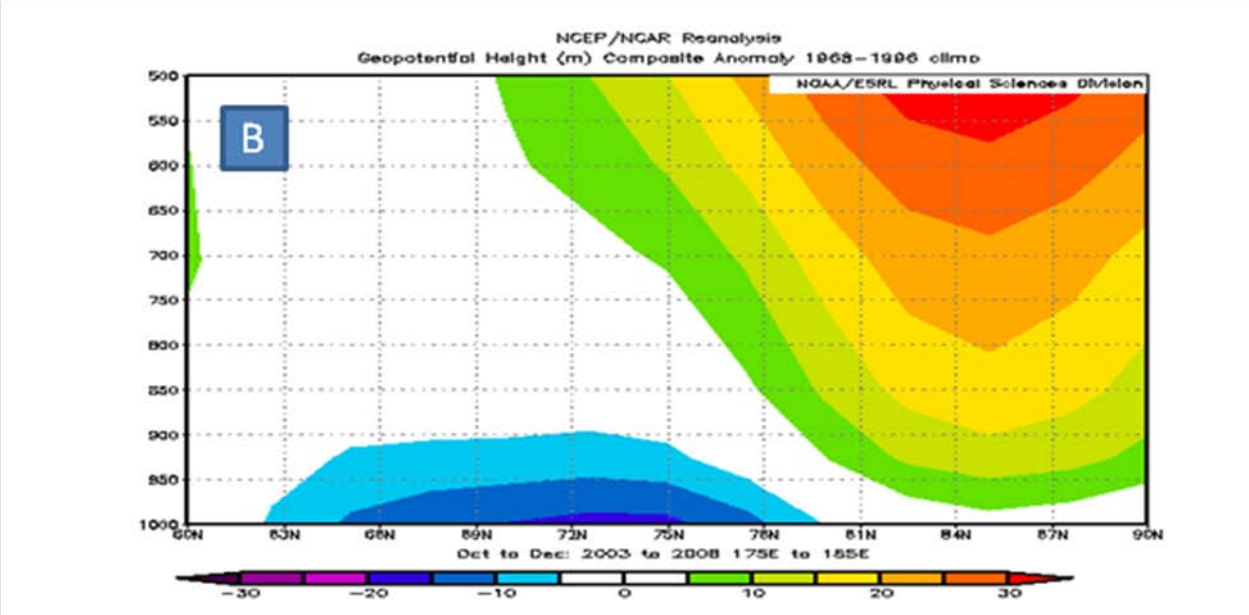


الشكل 5b2: الشذوذ في درجات حرارة الهواء قرب السطح ل : A) كانون الثاني/يناير- أيار/مايو 2008 وB) تشرين الأول/أكتوبر إلى كانون الأول/دسمبر 2008. قيم الشذوذ هي بالنسبة إلى متوسط الفترة1968-1996. البيانات مأخوذة من تحليلات NCEP-NCAR من خلال NOAA / مختبر الأبحاث نظم الأرض, الموقع الإلكتروني: www.cdc.noaa.gov.



الشكل 5b3: مثال للنمط الإيجابي الدافئ في القطب الشمالي للشذوذ في الضغط عند مستوى سطح البحر من آذار / مارس 2008. المناطق ذات اللون الأرجواني/ الأزرق لها قيم ضغط منخفضة نسبياً عند مستوى سطح البحر (SLP)، أما المناطق ذات اللون البرتقالي فلها قيم ضغط SLP مرتفعة. تميل الرياح ذات القيم الشاذة للهبوب موازاةً مع خطوط الكونتور، لتخلق بذلك تياراً من شمال شرق سيبيريا عبر القطب الشمالي. إن توجه هذا الضغط ثنائي القطب قابل للتحول، إذ تظهر أمثلة أخرى قدوم الرياح الجيوستروفيكية ذات القيام الشاذة من شمال مضيق برينغ (Bering) أو ألاسكا. البيانات مستمدة من تحليلات NCEP-NCAR وهي متوفرة على الموقع : www.cdc.noaa.gov.



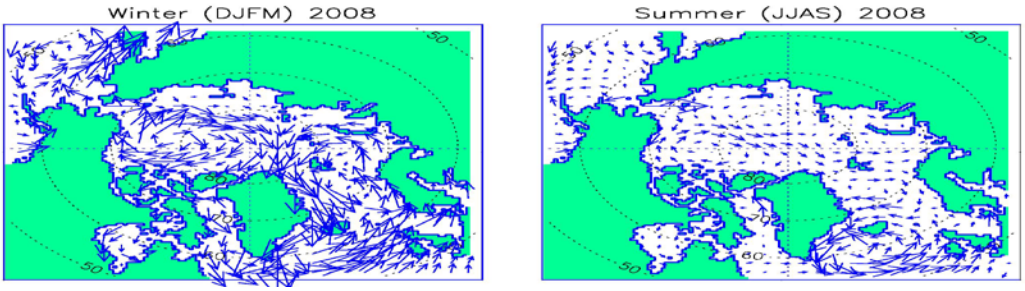


الشكل 5b4: مقطع رأسي من 60 درجة إلى 90 درجة شمالاً على متوسط طولي بامتداد 180 درجة من سنة 2003 إلى سنة 2008 (السنوات التي تراجعت فيها مساحة رقعة الجليد البحري أثناء الصيف إلى قيم منخفضة للغاية) و ذلك خلال الفترة تشرين الأول/أكتوبر - كانون الأول/دسمبر بالنسبة ل : A) درجة حرارة الهواء و B) الارتفاع جهد أرضي. البيانات مستمدة من تحليلات NCEP-NCAR المتوفرة على الموقع الإلكتروني: www.cdc.noaa.gov.

5c. المحيط

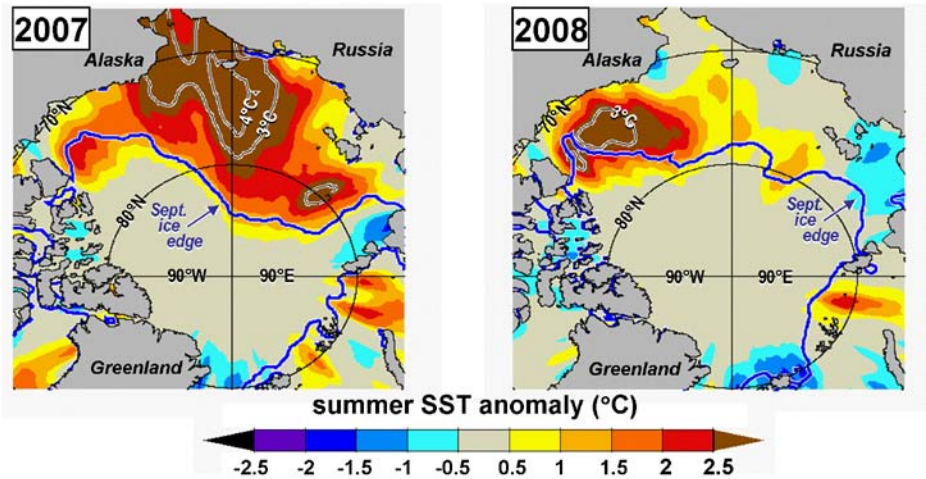
A. Proshutinsky, R. Krishfield, M. Steele, I. Polyakov, I. Ashik, M. McPhee, J. Morison, M-L. Timmermans, J. Toole, V. Sokolov, I. Frolov, E. Carmack, F. McLaughlin, K. Shimada, R. Woodgate and T. Weingartner

(i) الحركة الدورانية

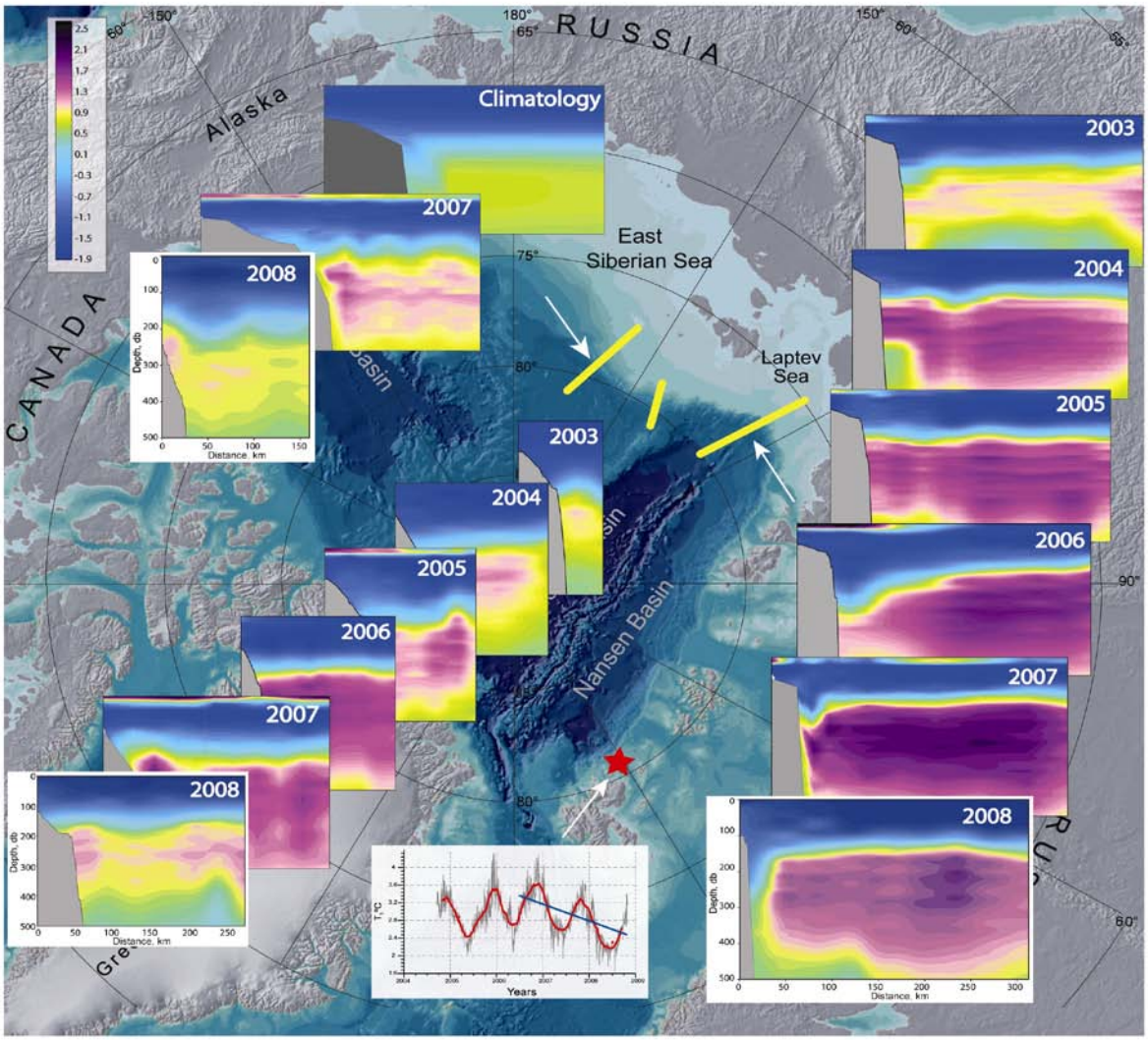


الشكل 5c1: محاكاة أنماط دوران الرياح في الشتاء (يسار) والصيف (يمين) سنة 2008. كلا النمطين أنتسيكلوني (عكس عقارب الساعة). انخفضت شدة دوران الأنتسيكلون في صيف 2008 بالنسبة إلى 2007 (Proshutinsky and Johnson, 1997).

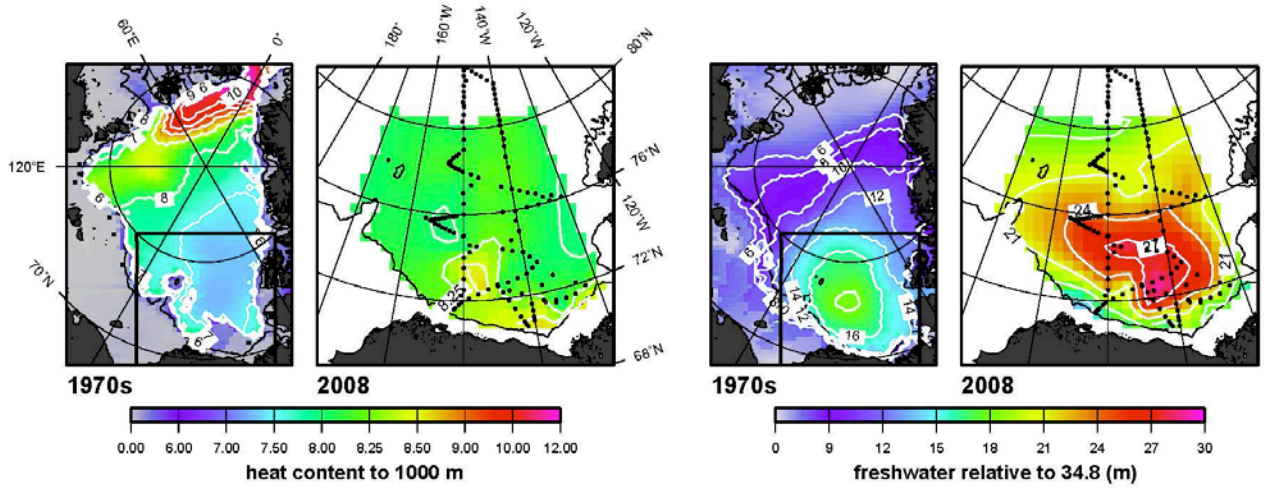
(ii) درجات حرارة المياه وملوحتها



الشكل 5c2: الشذوذ في درجات حرارة سطح البحر في الصيف (تموز/ يوليو – آب/ أغسطس–أيلول/ سبتمبر) و المستمد من الأقمار الإصطناعية (Reynolds et al. 2002) عام 2007 (الشكل على اليسار)، و2008 (الشكل على اليمين)، بالنسبة إلى متوسط الصيف خلال الفترة 1982-2006. يظهر أيضاً في الشكل متوسط شهر أيلول/سبتمبر لحافة الجليد (الخط الأزرق السميك).

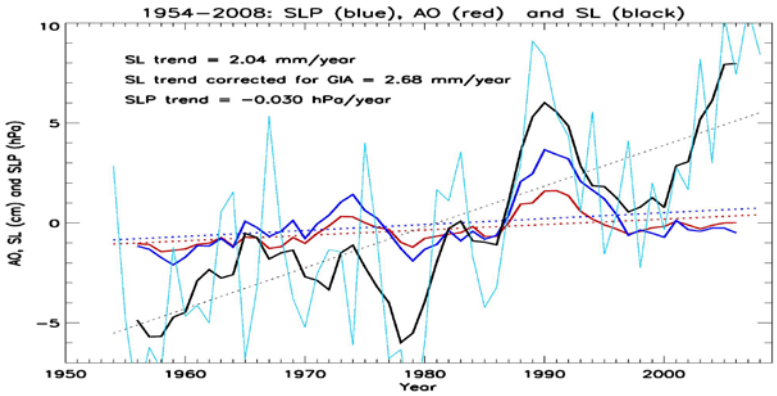


الشكل 5c3: التغيرات الزمنية والمكانية لدرجات حرارة مياه الطبقة الجوفية الاطلسية (AWCT). تم تمثيل مواقع المقاطع بواسطة خطوط صفراء سميكة.موقع الرسو قبالة سبتسبرجن (Spitsbergen) ممثل بنجمة حمراء. هناك انخفاض في درجات حرارة المياه الاطلسية على بعد 260m مترمن موقع الرسو بمعدل 0.5 درجة سلسيوس في السنة بدءا من نهاية العام 2006. كما لوحظ بعض التبريد في عام 2008 في المقاطع التي تعبر المنحدرات القارية بجوار سفرنايا زمليا (Severnaya Zemlya) و في بحر شرق سيبيريا (Polyakov et al., 2009).



الشكل 5c4: الحرارة الصيفية (E^10 J/m^2, يسار) ومحتوى المياه العذبة (بالمتر، يمين). يظهر الشكلين 1 و 3 محتوى الحرارة و المياه العذبة في المحيط المتجمد الشمالي على أساس مناخ السبعينيات من القرن العشرين (مشروع المناخ في القطب الشمالي، 1997, 1998). يظهر الشكلين 2 و 4 محتوى الحرارة و المياه العذبة في بوفورت جير (Beaufort Gyre) سنة 2008 على أساس المسح الهيدروغرافي (النقط السوداء تمثل مواقع المحطات الهيدروغرافية). للإشارة فإن هته المنطقة محاطة بإطار باللون الأسود في الشكلين 1 و 3. يقاس المحتوى الحراري باعتبار نقطة حرارة تجمد الماء في الألف متر من طبقة المحيط العليا. أما المحتوى من المياه العذبة فتم قياسه بالنسبة لملوحة مرجعية قدرها 34.8.

(iii) مستوى البحر

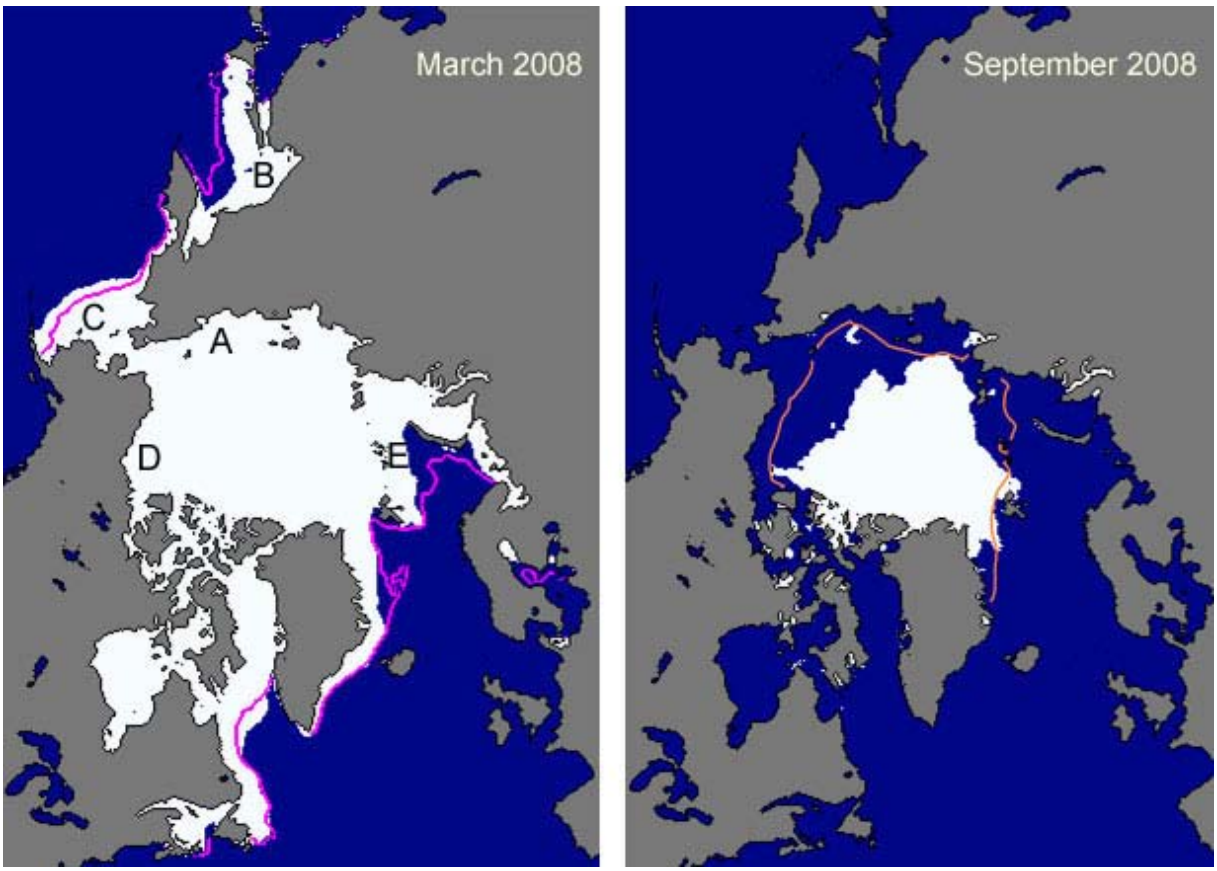


الشكل 5c5: السلسلات الزمنية لمتوسطات محسوبة على 5 سنوات: المتوسط السنوي لمستوى سطح البحر عند 9 محطات قياس المد و الجزر متموضعة على طول كارا (Kara)، ليبتيف (Laptev)، سواحل بحر شرق سيبيريا و سواحل بحر تشوكشي (Chukchi) (الخط الأسود). الخط الأحمر يعبر عن الشذوذ في المتوسط السنوي لمؤشر التذبذب القطبي الشمالي (AO)، مضروباً في ثلاثة. الخط الأزرق الغامق يمثل الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر في القطب الشمالي (من بيانات تحليلاتNCAR-NCEP) و هو مضروب في 1-. الخط الأزرق الفاتح يمثل التغير السنوي لمستوى البحر.

5d. الغطاء الجليدي البحري

D.K. Perovich, W. Meier and S.V. Nghiem

(i) امتداد رقعة الجليد البحري



الشكل 5d1: امتداد رقعة الجليد البحري في آذار/مارس 2008 (يسار) و أيلول/سبتمبر 2008 (يمين)، و يوضح على التوالي أقصى رقعة الجليد في الشتاء و أدناها في الصيف. يشير الخط الأرجواني إلى الامتداد الأقصى و الأدنى الواسط للغطاء الجليدي للفترة 1979-2000. تشير الحروف الأجنبية التالية إلى: A) بحر شرق سيبيريا,

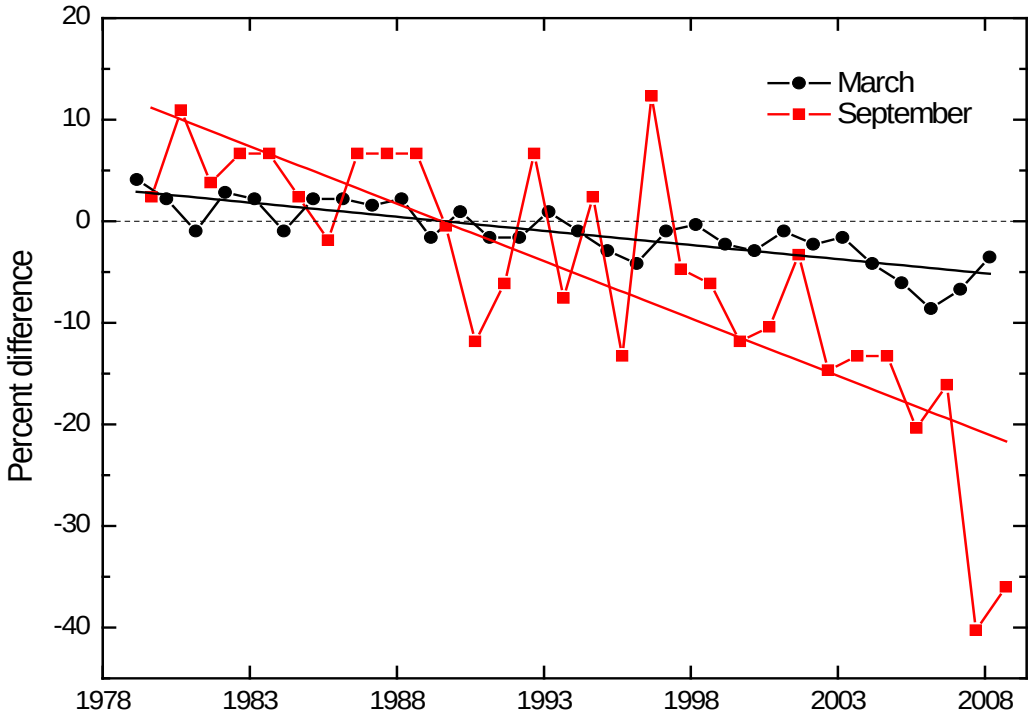
B) بحر أهكوتش (Ohkotsh),

C) بحر برينغ (Bering),

D) بحر بوفورت (Beaufort),

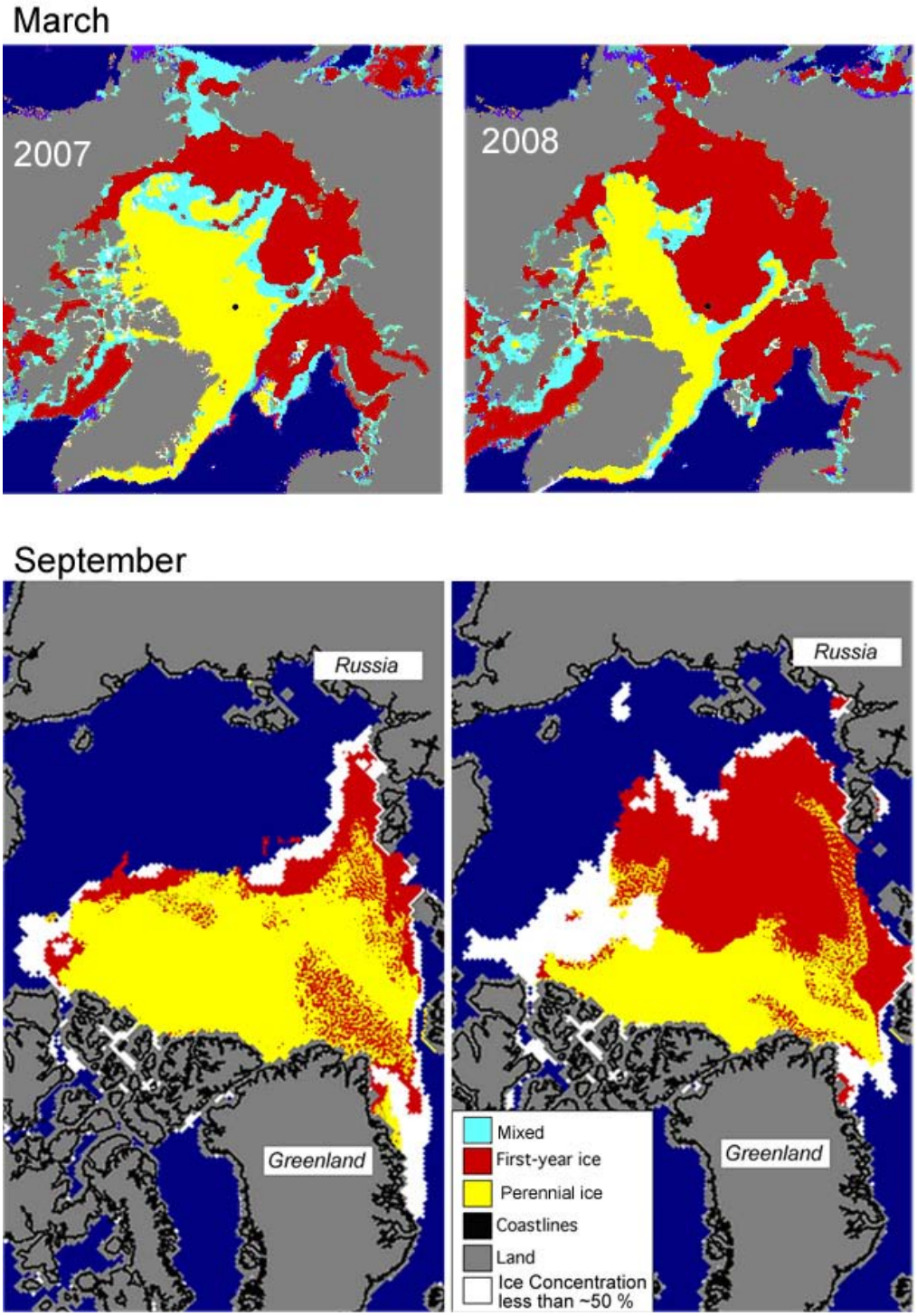
E) بحر بارنت (Barent).

[مصدر الأشكال: المركز الوطني لبيانات الثلج و الجليد، مؤشر الجليد البحري: http://nsidc.org/data/seaice_index/]



الشكل 5d2: السلسلات الزمنية للفروق بالنسبة المئوية بين الامتدادات الجليدية خلال شهر أذار/مارس (الشهر الذي تكون مساحة الجليد فيه هي القصوى) و شهر أيلول/سبتمبر (الشهر الذي تكون فيه مساحة رقعة الجليد هي الدنيا) من جهة و القيم المتوسطة للفترة 1979-2000 من جهة أخرى. بالاعتماد على الانحدار الخطي للمربعات الدنيا، فإن وثيرة انخفاض مساحة رقعة الجليد في شهري أذار/مارس و أيلول/سبتمبر هي على التوالي 2.8-% و11.1-% لكل عقد من الزمن.

(ii) عمر الجليد البحري وسمكه

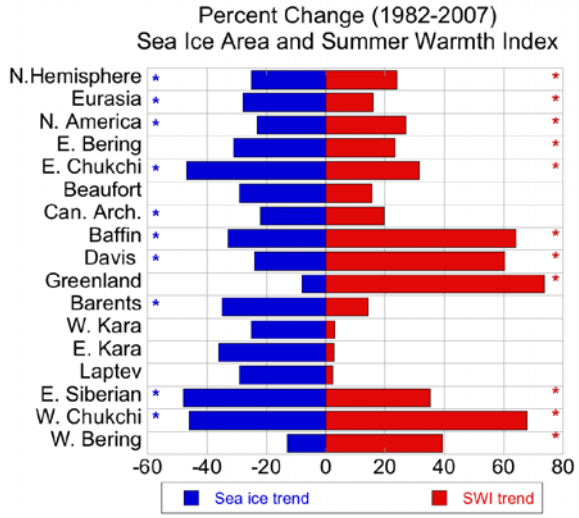


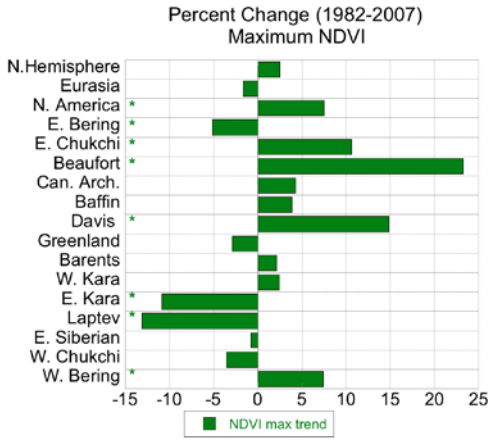
الشكل 5d3: خرائط لعمر الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية لسنة 2007 (على يسار الصورة) و 2008 (على يمين الصورة) في شهر أذار/مارس (أعلى الصورة) و أيلول/سبتمبر (أسفل الصورة). الأشكال أعلى الصورة مستمدة من بيانات QuickSCAT و مصدرها (Nghiem et al., 2007). الأشكال أسفل الصورة مصدرها J.Maslanik و S.Drobot من المركز الوطني لبيانات الثلج و الجليد و هي مستمدة من دمج رصدات الساتل AVHRR و SSM/I و نتائج العوامات الجارفة الخاصة بالجليد.

5e. اليابسة

(i) النباتات

D.A. Walker, U.S. Bhatt, M.K. Raynolds, J.E. Comiso, H.E. Epstein, G. J. Jia

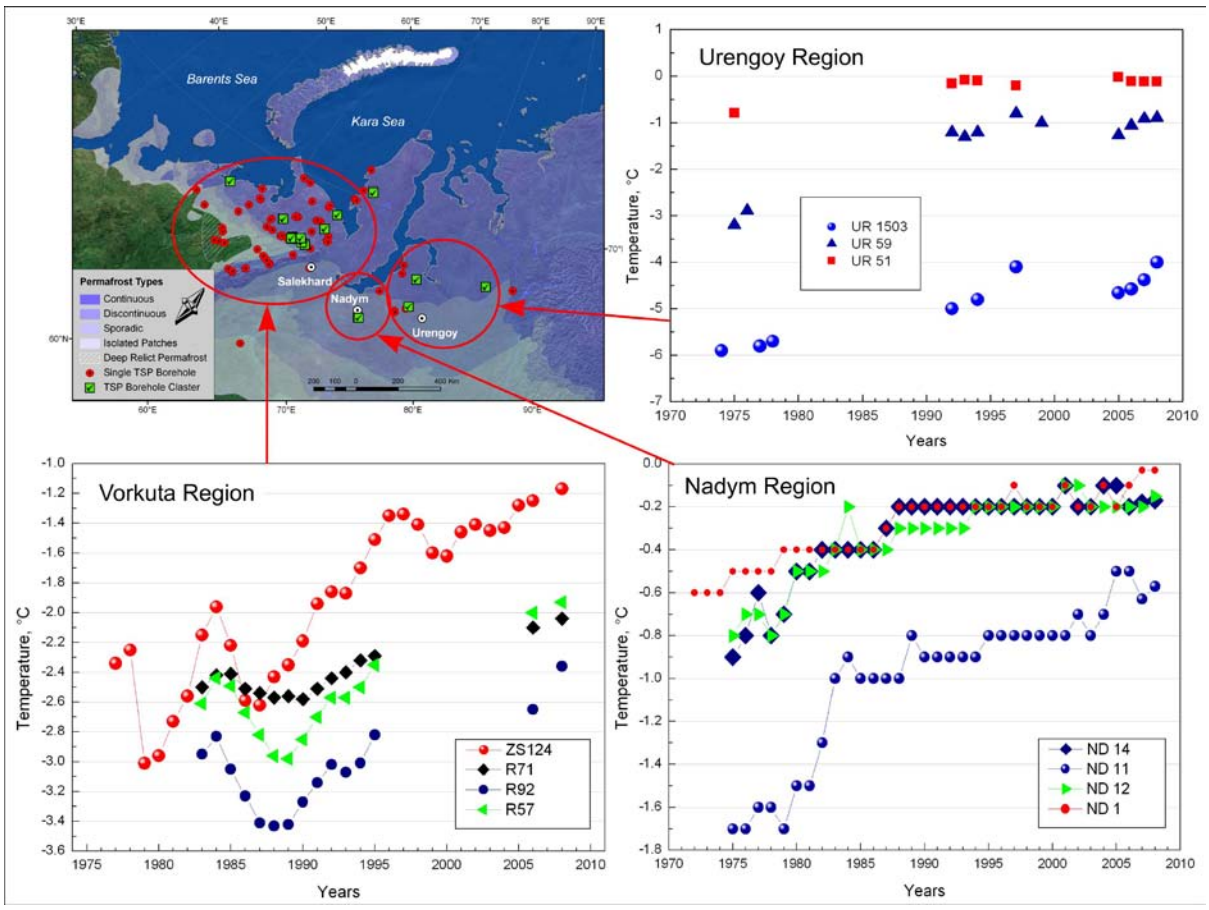




الشكل 5e1: أعلى اليسار: النسبة المئوية لتغير رقعة الجليد البحري في أواخر الربيع (عندما يتم بلوغ متوسط التركيز50% على المدى الطويل) خلال 1982-2007, و ذلك على طول 50 كيلومتراً من الهوامش البحرية الساحلية لكل من البحار الأساسية للقطب الشمالي باستعمال بيانات الموجات الدقيقة SSMI passive microwave Bootstrap الخاصة بتركيز الجليد البحري و ذات الدقة المكانية 25 كيلومتراً (Comiso and Nishio, 2008). أعلى اليمين: نسبة التغير في درجات حرارة سطح الأرض في الصيف كما قيست من خلال مؤشر الحرارة الصيفي (SWI هو مجموع المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة فوق درجة حرارة التجمد (C °mo) و المستمد من بيانات AVHRR لدرجات الحرارة السطحية (Comiso, 2003). الأسفل: النسبة المئوية للتغير في الخضرة و التي قيست بواسطة المؤشر النباتي الأقصى (NDVI) و المستند إلى بيانات GIMMS NDVI النصف أسبوعية (Tucker et al. 2001). تدل النجمات الصغيرة على الاتجاهات المهمة عند $p<0.05$. مستمد من Bhatt et al. 2008.

(ii) الصقيع الدائم

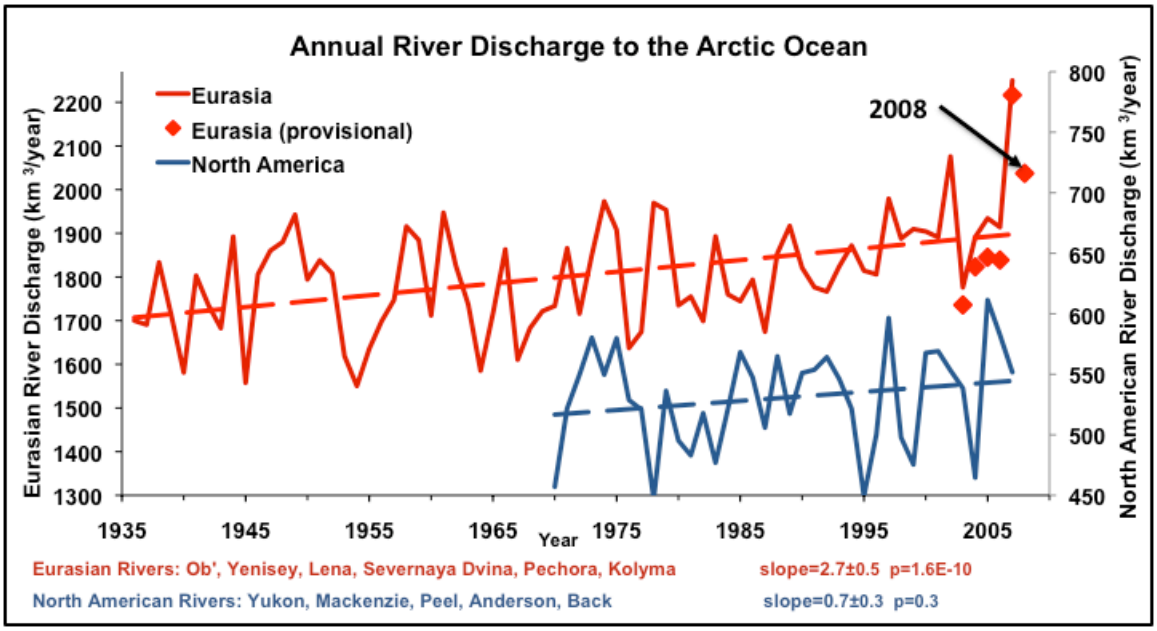
V. Romanovsky, N. Oberman, D. Drozdov, G. Malkova, A. Kholodov, S. Marchenko[1]



الشكل 5e2: أعلى اليسار: أماكن وجود محطات رصد الصقيع الدائم "ميريكو" على المدى الطويل و معهد الغلاف الجليدي الأرضي في شمال روسيا. أسفل اليسار: التغيرات في درجات حرارة الصقيع الدائم عند عمق 15 متراً و ذلك خلال 20-25 سنة الأخيرة في المحطات المختارة في منطقة فورتوكا (Vortuka) (من تحديث Oberman, 2008). اليمين: التغيرات في درجات حرارة الصقيع الدائم عند عمق 10 أمتار و ذلك خلال 35 سنة الماضية في المحطات المختارة في منطقتي أورنجوي Urengoy (أعلى) و نديم Nadym (أسفل)، (تم تحديثه من طرف Romanovsky et al. 2008).

(iii) تفريغ النهر

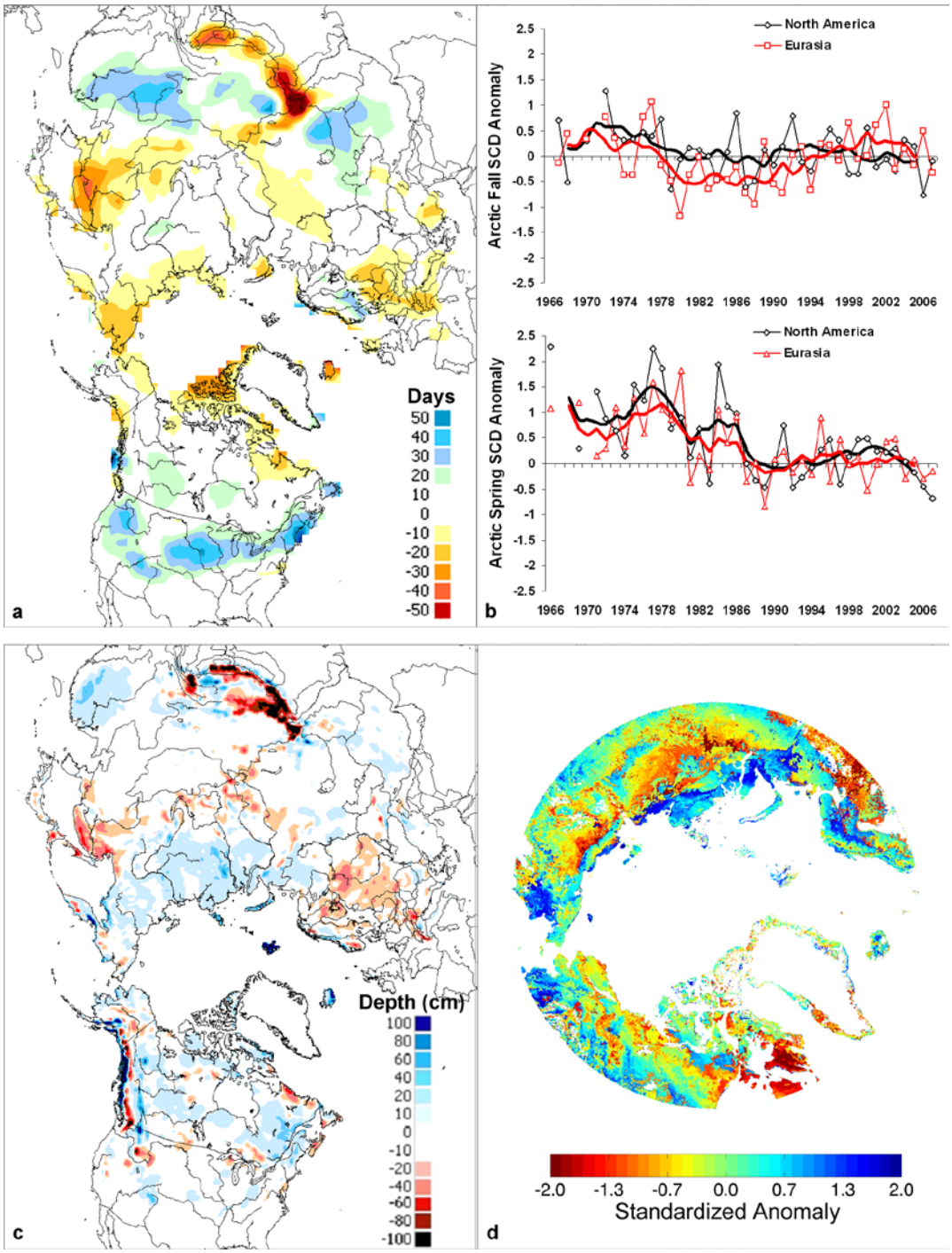
A. Shiklomanov



الشكل 5e3: التفريغ السنوي الكلي النهري نحو المحيط المتجمد الشمالي لأكبر ستة أنهار في المنطقة القطبية الشمالية الاورآسيوية خلال فترة الرصد 1936-2007 (من تحديث Peterson et al. 2002) (الخط الأحمر)، ثم لأكبر خمسة أنهار في المنطقة القطبية الأمريكية الشمالية خلال الفترة 1973-2006 (الخط الأزرق). الخطوط المتقطعة تبين الإتجاه الخطي للمربعات الدنيا. الماسات الحمراء في الشكل تعبر عن التقديرات المؤقتة للتفريغ السنوي للانهار الست الكبرى في المنطقة القطبية الشمالية الاورآسيوية و المستندة إلى بيانات الموقع http://RIMS.unh.edu.

(iv) الثلوج الأرضية

Derksen, R. Brown and L. Wang



الشكل 5e4 : الشكل a) الشذوذ في مدة الغطاء الثلجي (SCD) (فيما يتعلق بالفترة 1988-2007) للعام الثلجي 2007-2008. b) السلسلات الزمنية للشذوذ في SCD الموسمي في المنطقة القطبية الشمالية (فيما يتعلق بالفترة 1988-2007) المستمدة من سجل NOAA بالنسبة للنصف الأول (الخريف) و الثاني (الربيع) لموسم الثلج. تدل الخطوط المتصلة على المتوسط المتحرك على كل 5 سنوات. c) الشذوذ في الحد الأقصى لعمق الثلوج الموسمية2007-2008 (فيما يتعلق بالفترة 1998/99 -2007/08) المستمد من تحليل CMC لعمق الثلوج. d) الشذوذ في بداية ذوبان الثلوج الأرضية (فيما يتعلق بالفترة 2000-2008) من بيانات QuickSCAT المستمدة من خوارزمية Wang et al. 2008. يقيس الشذوذ المعياري تاريخ بدء ذوبان الثلوج على أساس متوسط و أهمية التغير السنوي في التاريخ عند كل موقع. يدل الشذوذ السلبي (بالأحمر و الأصفر) على بداية ذوبان مبكرة للثلج خلال الربيع.

(v) المناطق الجليدية خارج غرينلاند

M.Sharp and G.Wolken (with acknowledge data contributions from D.Burgess, G.Cogley, P.Glowacki, J.Jania, S.O'Neel, D.Puczko, A.Arendt and S.Luthcke)

جدول 5e1: الشذوذ في التساقطات الشتوية و درجات الحرارة الصيفية عند المستوى700 (استناداً إلى متوسطات تحليلات NCEP خلال الفترة 1948-2008) بالنسبة للمناطق المتجمدة من القطب الشمالي (باستثناء غرينلاندا). تعتمد العلامات الدالة على توازن الكتلة السطحية على مقارنة السجلات التاريخية لتوازن الكتل لكل منطقة مع قيم شذوذ التساقطات و درجات الحرارة المستنبطة من تحليلات NCEP. استمدت قيم الشذوذ في مدة الذوبان و توقيت بدء الذوبان و التجمد (استناداً إلى مناخ 2000-2004) من بيانات مقياس التشتت QuickSCAT. بالنسبة للتوقيت، تشير قيم الشذوذ السالبة إلى توقيت ابكر من الوقت المعتاد.

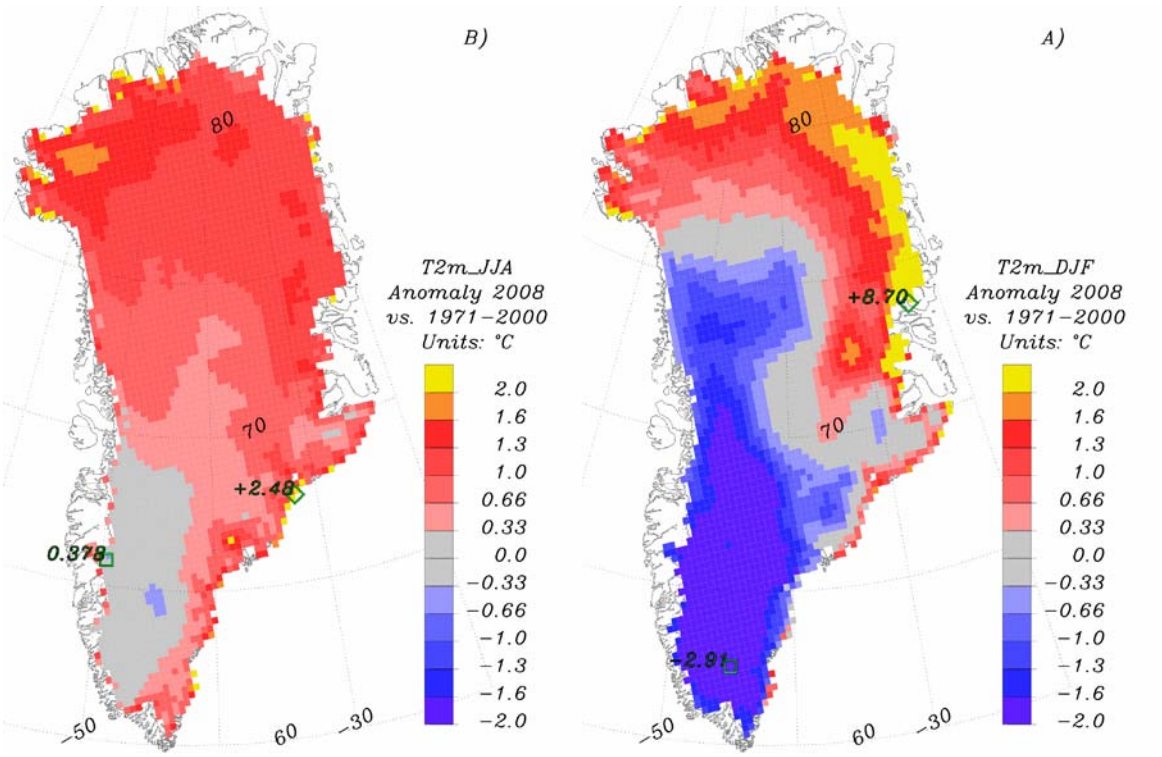
Region	Sub-Region	Latitude (N)	Longitude (E)	JJA 700 hPa T Anomaly	2008 Rank	Sep-May Ppt Anomaly	2008 Rank	Inferred Surface Balance	Melt Onset Anomaly	Freeze-up Anomaly	Melt Duration Anomaly
				(deg C)	(/60)	(mm)	(/60)		days	days	days
Arctic Canada	N. Ellesmere Island	80.6 - 83.1	267.7 - 294.1	2	4	12.3	10	--	-1.8	9.8	19.3
	Axel Heiberg Island	78.4 - 80.6	265.5 - 271.5	1.67	5	0	30	--	-2.9	11.4	17.6
	Agassiz Ice Cap	79.2 - 81.1	278.9 - 290.4	2.11	3	-9.2	44	--	5.4	24.0	22.5
	Prince of Wales Icefield	77.3 - 79.1	278 - 284.9	1.77	7	-11.4	42	--	2.1	7.8	10.2
	Sydkap	76.5 - 77.1	270.7 - 275.8	1.53	6	-58.5	59	--	3.0	3.8	1.4
	Manson Icefield	76.2 - 77.2	278.7 - 282.1	1.71	7	-62.5	56	--	6.4	5.7	0.0
	Devon Ice Cap	74.5 - 75.8	273.4 - 280.3	1.47	6	-8	33	--	0.8	-0.8	5.8
	North Baffin	68 - 74	278 - 295	1.97	2	12.4	17	--	-26.9	-14.4	4.9
	South Baffin	65 - 68	290 - 300	2.39	1	5.9	25	--	-2.8	-1.6	-1.1
Eurasian Arctic	Severnaya Zemlya	76.25 - 81.25	88.75 - 111.25	-0.36	41	38.9	17	+	-0.2	13.4	10.6
	Novaya Zemlya	68.75 - 78.75	48.75 - 71.25	0.29	24	78	6	+	21.5	-5.3	-4.2
	Franz Josef Land	80 - 83	45 - 65	-0.77	46	110	3	++	8.4	-2.4	6.1
	Svalbard	76.25 - 81.25	8.75 - 31.25	0.13	31	58.5	7	+	-6.6	-2.8	-0.8
Iceland		63 - 66	338 - 346	0.13	27	-29.3	46	-	-4.2	-14.4	6.5
Alaska	SW Alaska	60 - 65	210 - 220	-0.33	40	117.4	14	+	3.5	-15.6	-17.7
	SE Alaska	55 - 60	220 - 230	-0.91	50	237	5	++	*	*	*

5f. غرينلاند

J.E. Box, L.-S. Bai, R. Benson, I. Bhattacharya, D.H. Bromwich, J. Cappelen, D. Decker, N. DiGirolamo, X. Fettweis, D. Hall, E. Hanna, T. Mote, M. Tedesco, R. van de Wal and M. van den Broeke

(i) موجز

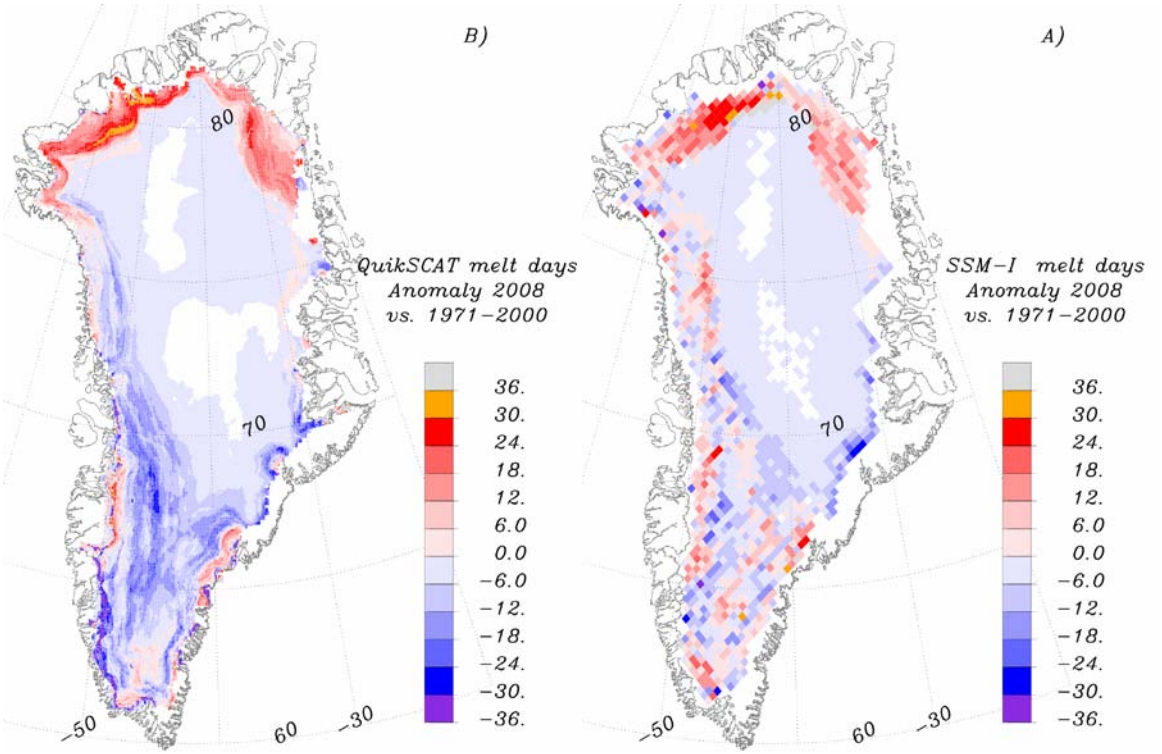
(ii) درجات الحرارة السطحية الإقليمية



الشكل A:5f1) الشذوذ في درجات حرارة الهواء قرب السطح (مترين) في سنة 2008 أثناء الشتاء و B) الصيف، استناداً إلى فترة الأساس 1971-2000 عن طريق محاكاة Polar MM5 حسب (Box et al. 2006).

(iii) درجات حرارة الهواء العلوي

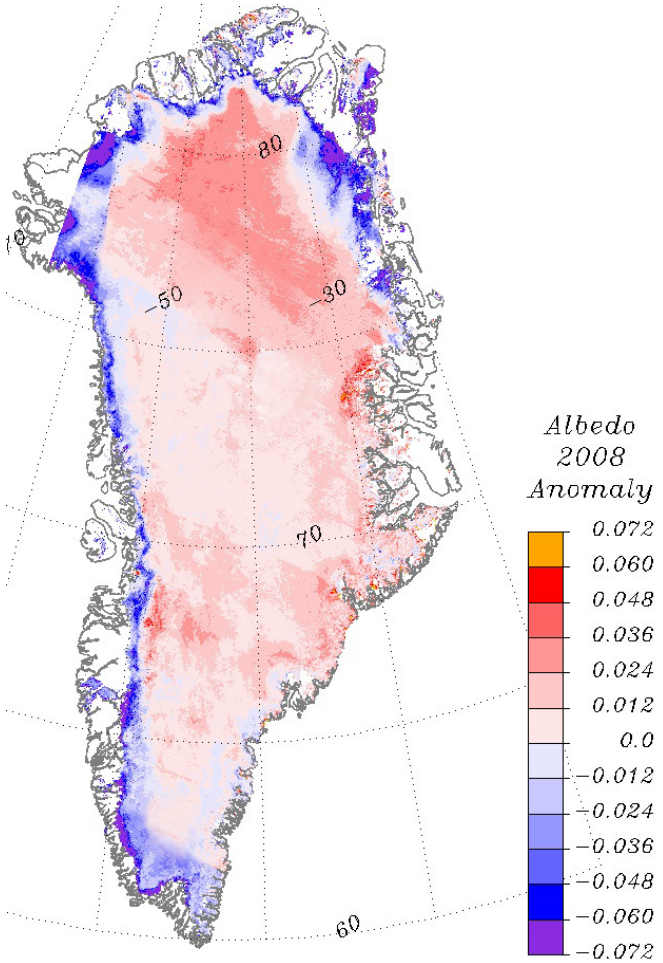
(iv) ذوبان السطح و مدته



الشكل 5f2: الشذوذ في مدة ذوبان سطح الصفائح الجليدية في غرينلاند سنة 2008 بالنسبة لفترة الأساس1989-2008 و المعتمد على SSM/I (A و (فترة الأساس 2000-2008) QuickSCAT (B , بحسب Bhattacharya et al. (submitted).

(v) الشذوذ في التساقطات

(iv) ألبيدو السطح

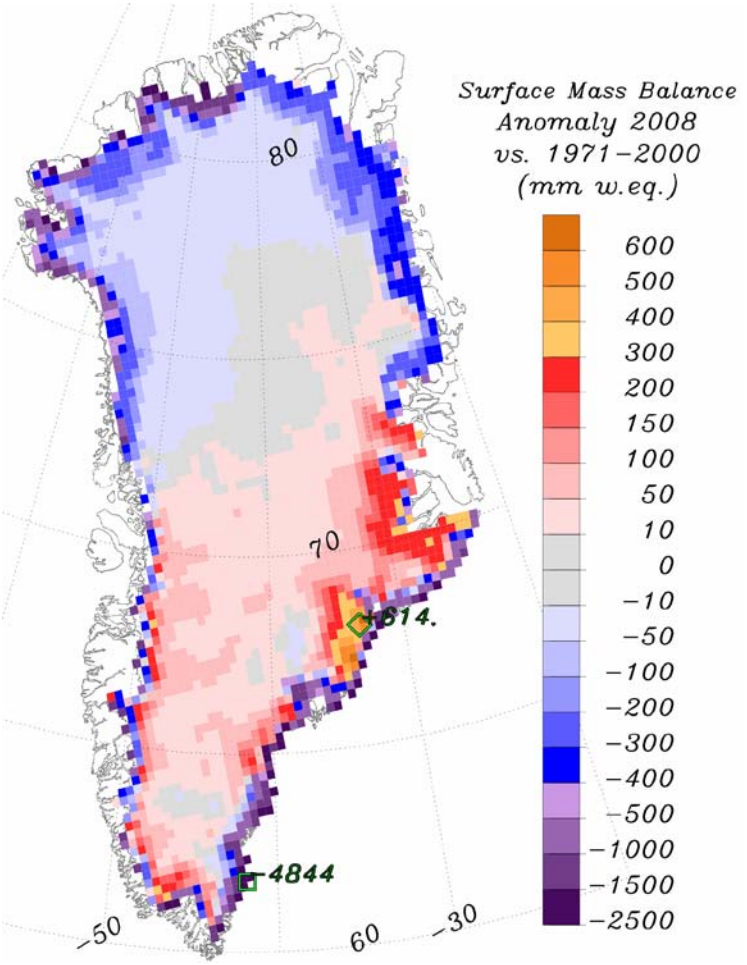


الشكل 5f3: الشذوذ في الألبيدو السطحي للفترة حزيران/يونيو - تموز/يوليو 2008 فيما يتعلق بفترة الأساس حزيران/يونيو - تموز/يوليو 2000-2008.

(vii) توازن الكتلة السطحية

الجدول 5f12 : القيم المحددة (بارامترات) لتوازن كتلة سطح الصفائح الجليدية في غرينلاندا: انحراف سنة 2008 عن معدل الفترة 1971-2000 (مقتبس من Box et al. 2006). وردت تقديرات (Hanna et al. 2008) من أجل المقارنة.

	Box			Hanna		
	Mean (1971-2000)	% of normal	2008 Anomaly (Gt)	Mean (1971-2000)	% of normal	2008 Anomaly (Gt)
Total Precipitation	710.7	105%	38.5	624.16	108%	52
Liquid Precipitation	16.8	142%	7.1	27.01	147%	13
Surface Water Vapor Flux	66.7	100%	-0.2	40.59	74%	-11
Blowing Snow Sublimation	39.6	99%	-0.3			
Snow Accumulation	604.5	106%	39.0	556.56	109%	50
Melt Water Volume	330.1	159%	194.1	333.95	133%	110
Melt Water Runoff	214.9	186%	184.3	277.91	142%	116
Surface Mass Balance	389.6	63%	-145.3	305.66	83%	-53
Mean T	-19.0		0.9	-21.4		1.1
Accumulation Area Ratio	0.920	0.905 (%)	-0.087	0.859	0.933 (%)	-0.007



الشكل 5f4: الشذوذ في توازن الكتلة السطحية عام 2008 استناداً الى فترة الأساس 1971-2000، وتم محاكاتها بواسطة Polar MM5 (بحسب Box et al. 2006).