

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R RS.1883**
(2011/02)

استعمال أنظمة الاستشعار عن بُعد
في دراسة تغير المناخ وآثاره

السلسلة **RS**
أنظمة الاستشعار عن بُعد

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد المدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهترتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

| العنوان | السلسلة |
|--|-----------|
| البث الساتلي | BO |
| التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | BR |
| الخدمة الإذاعية (الصوتية) | BS |
| الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | BT |
| الخدمة الثابتة | F |
| الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | M |
| انتشار الموجات الراديوية | P |
| علم الفلك الراديوي | RA |
| أنظمة الاستشعار عن بعد | RS |
| الخدمة الثابتة الساتلية | S |
| التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | SA |
| تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | SF |
| إدارة الطيف | SM |
| التجميع الساتلي للأخبار | SNG |
| إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت | TF |
| المفردات والمواضيع ذات الصلة | V |

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2011

© ITU 2011

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R RS.1883

استعمال أنظمة الاستشعار عن بُعد
في دراسة تغير المناخ وآثاره

(2011)

مجال التطبيق

توفر هذه التوصية مبادئ توجيهية بشأن تقديم بيانات استشعار عن بعد مستقاة من السواتل لغرض دراسة تغير المناخ.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن تغير المناخ ظاهرة عالمية تؤثر على البشرية جمعاء؛
- (ب) أن تغير المناخ يُتوقع أن يتحلى في تغييرات خطيرة في بيئة الأرض تستتبع كوارث طبيعية أو تفاقمها؛
- (ج) أن دراسة تغير المناخ تتطلب بطبيعة الحال قدرات عالمية لرصد الأرض تنفرد في تلبيتها آلات أو أجهزة الاستشعار عن بعد المحمولة على متن السواتل؛
- (د) أن أجهزة الاستشعار عن بعد المحمولة على متن السواتل توجد وتشغل في نطاقات ترددية موزعة على خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EES)،

وإذ تدرك

(أ) أن القرار 673 (WRC-07) بشأن استعمال الاتصالات الراديوية من أجل تطبيقات رصد الأرض، اعتبر أن "بيانات رصد الأرض لها أهمية أساسية أيضاً لرصد تغيرات المناخ والتنبؤ بها والتنبؤ بالكوارث ورصدها وتخفيف آثارها، وكذلك لزيادة فهم جميع جوانب تغير المناخ ونمذجته والتحقق منه وما يتصل بذلك من وضع السياسات، ولاحظ كذلك أن أكثر من 90% من الكوارث الطبيعية له صلة بالمناخ أو الطقس... وأنه على الرغم من أن عدداً محدوداً من البلدان هو الذي يشغل حالياً سواتل الأرصاد الجوية ورصد الأرض، فإن البيانات و/أو التحليلات الناجمة عن عملياتها توزع وتستخدم في العالم كله... من جانب المنظمات المعنية بتغير المناخ؛"

(ب) أن القرار 672 (WRC-07) بشأن تمديد التوزيع للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية في النطاق 7 850-7 750 MHz اعترف بأن البيانات التي يتم الحصول عليها من سواتل الأرصاد الجوية أساسية للتنبؤ بالأحوال الجوية وتغيرات المناخ وتوقعات الأخطار على صعيد العالم،

وإذ تلاحظ

(أ) أن القرار 73 بشأن تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وتغير المناخ اعترف بأن تكنولوجيا المعلومات والاتصالات يمكن أن تساهم مساهمة كبيرة في التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معها، على النحو الوارد في الملحق 1، وأن تكنولوجيا المعلومات والاتصالات تؤدي دوراً حيوياً في مراقبة ومعالجة تغير المناخ من خلال دعم البحوث العلمية الأساسية، مما ساعد على طرح قضية تغير المناخ في المجال العام وزيادة الوعي بالتحديات المستقبلية؛

ب) أن تقرير الاتحاد الدولي للاتصالات المعنون، الاتحاد الدولي للاتصالات وتغير المناخ، يتناول تعزيز الشراكات الاستراتيجية مع مختلف وكالات الأمم المتحدة والبنك الدولي والمفوضية الأوروبية، والوكالات الدولية والوطنية والمنظمات (كوكالات الأرصاد الجوية، والفريق المعني برصد الأرض، والمنظمة الأوروبية لاستغلال السواتل المخصصة للأرصاد الجوية (EUMETSAT) والوكالة الفضائية الأوروبية (ESA) وفريق تنسيق الترددات الفضائية والوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء (JAXA) والإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA) والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) ووكالة الفضاء الاتحادية الروسية (Roscosmos))، والمنظمات غير الحكومية وجهات القطاع الخاص المشاركة في مكافحة تغير المناخ والمعنية بالدور الذي تقوم به خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) في مراقبة تغير المناخ؛

ج) أن التقرير ITU-R RS.2178 يقدم لمحة عامة واسعة عن تطبيقات الاتصالات الراديوية المختلفة المستخدمة لرصد الأرض وأبحاث الفضاء وعلم الفلك الراديوي، واصفاً وزنها المجتمعي وفوائدها الاقتصادية للمجتمع العالمي وخاصة أهميتها في مراقبة تغير المناخ والتنبؤ به والتخفيف من حدة الكوارث الطبيعية منها وتلك الناشئة عن أنشطة بشرية،

توصي

- 1 بأن تدرك الإدارات أهمية أجهزة الاستشعار عن بعد المحمولة على متن السواتل لدراسة تغير المناخ، على النحو الموضح في الملحق؛
- 2 بأن يواصل المشغلون توريد البيانات البيئية ذات الصلة بالمناخ؛
- 3 بالتأكيد على الحماية الممنوحة للأنظمة القائمة بعمليات الرصد البيئي بالغة الأهمية.

الملحق I

استعمال أنظمة الاستشعار عن بُعد في دراسة تغير المناخ وآثاره

1 مقدمة

تستخدم المركبات الفضائية في خدمة استكشاف الأرض الساتلية بصورة رتيبة بصورة رتيبة نفس الأجهزة أو أجهزة متماثلة وظيفياً لتغطية جميع أنحاء العالم. وبالتالي، فإنها توفر مجموعات بيانات على اتساق حقيقي على امتداد الكرة الأرضية. وكثيراً ما تتقاطع مجموعات البيانات هذه زمنياً على نحو يسمح ببناء مجموعات بيانات متجاورة تمتد لعقود من الزمن. وفي حين أن قواعد البيانات هذه لا تمتد إلى قرون أو آلاف السنين، فإنها توفر بيانات حاسمة لأولئك الذين يدرسون تغير المناخ.

والسواتل هي أفضل وسيلة لتوفير لقطة تحتزل الوضع الحالي لكوكبنا من منظور واحد موحد. وإذ لا يسع مركبة فضائية واحدة مزودة بأجهزة أن تقدم صورة كاملة، لعل الأسطول الحالي من المركبات الفضائية التي تعمل بالتنسيق وتبادل البيانات فيما بينها يعطينا أفضل تقييم متاح لنا للظروف العالمية.

وتخدم هذه البيانات غرضين:

- توفير أساس مرجعي لرصد وقياس تغير المناخ وآثاره على كوكب الأرض؛
- توفير مدخلات سليمة علمياً للنماذج المناخية.

وقد تقدمت علوم المناخ تقدماً مذهلاً من خلال عمليات الرصد الساتلي. فالمقياس الراديوي الذي حمّله الساتل إكسبلورر 7 بين العامين 1959 و1961 مكّن القياس المباشر للطاقة الداخلة إلى الأرض والخارجة منها. فهذه البعثة الفضائية وما تبعها من بعثات مكنت العلماء من قياس توازن طاقة الأرض بثقة أكبر كثيراً بالمقارنة مع التقديرات السابقة غير المباشرة وأسفرت عن تحسين النماذج المناخية. وإذ تحسنت المقاييس الراديوية، حققت هذه القياسات الدقة والاستبانة المكانية والتغطية العالمية اللازمة للرصد المباشر للاضطرابات في ميزانية الطاقة العالمية للأرض المرتبطة بالأحداث قصيرة الأمد مثل الانفجارات البركانية الكبرى أو النينو - التاراجح الجنوبي للمناخ (ENSO). وتقيس هذه المقاييس الراديوية مباشرة نقل النظام المناخي للحرارة من خط الاستواء إلى القطب وآثار غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي وتأثير السحب على ميزانية الطاقة للأرض. فقد عززت عمليات الرصد هذه فهمنا للنظام المناخي وحسنت نماذج المناخ.

وتوفر السواتل العاملة في مجال بحوث الغلاف الجوي (مثل AURA) والداعمة للأرصاد الجوية التشغيلية (مثل سلسلة MetOp الأوروبية وسلسلة السواتل ذات المدار القطبي للإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA)) مجسمات يومية ثلاثية الأبعاد لدرجة حرارة الغلاف الجوي ورطوبته في جميع أنحاء العالم وكذلك البيانات المتعلقة بمكونات الغلاف الجوي الطفيفة، مثل الأوزون. وفي حين تغذي هذه البيانات نماذج التنبؤ بالأحوال الجوية، فإنها تسهم أيضاً في تحديد الحالة الراهنة للغلاف الجوي وتقدم اختباراً قصيراً للأجل للنماذج المناخية.

وتراقب المركبة الفضائية سمات أرضية أخرى لا علاقة لها بالمساعي المتصلة بالغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال، يمكننا ملاحظة ما يلي:

- دأبت سلسلة المركبات الفضائية Landsat و SPOT على مراقبة سطح الأرض منذ عدة عقود؛
 - وراقبت السلسلة QuikSCAT و ADEOS-1 و ADEOS-2 رياح سطح البحر؛
 - ودأبت السلسلة TOPEX/Poseidon و Jason على مراقبة ارتفاعات ودرجات حرارة سطح البحر؛
 - وتراقب، أو ستراقب، رطوبة التربة وملوحة المحيطات بالساتل SMOS وغيره مثل Aquarius و SMAP.
- وتأتي مركبات فضائية وتقنيات أخرى، مثل الرادار ذي الفتحة التركيبية (SAR) وعمليات الرصد المنفصلة بالموجات الصغيرة، لتضيف إلى قدراتنا على وصف كوكبنا، لا سيما في رصد المناطق القطبية حيث ظلام الشتاء يمنع التقاط الصور الضوئية.

2 الجليد أو الغلاف الجليدي

إحدى المسائل المركزية في بحوث تغير المناخ والغلاف الجليدي (المناطق الجليدية) هي كيفية تأثير الاحترار المناخي على الصفائح الجليدية. وهي مسألة هامة لأن كمية الجليد القاري ومياه الذوبان التي تصب في المحيطات تساهم بقوة في تغير مستوى سطح البحر. فقبل ظهور السواتل، اقتصرَت البيانات القطبية على البيانات المجموعة محلياً خلال المواسم المواتية. وقد ثبتت فائدة استخدام أجهزة الراديو على متن السواتل بشكل خاص في المناطق القطبية والمناطق التي تطول فيها فترات الظلام خلال فصل الشتاء، حيث يتعذر الرصد في الطيف المرئي. والمشهد الإجمالي من السواتل، وخاصة السواتل المزودة بأجهزة استشعار راديوي، قد زاد تغطية البيانات القطبية بأضعاف مضاعفة، ولم يعد توفرها وفقاً على المواسم.

فقبل ظهور السواتل، افترض أن توازن كتلة الغطاء الجليدي في القارة القطبية الجنوبية وجرينلانداً مضبوطاً بالفرق بين معدلات ذوبان الجليد وتراكمه، وافترض ثبات معدل تصريف الجليد في المحيط، فأظهرت صور الساتل RADARSAT ما يلي:

- (1) سرعة تدفق الغطاء الجليدي متغيرة بدرجة كبيرة؛
- (2) هناك شبكات معقدة من الانسيابات الجليدية؛
- (3) زادت سرعة تدفق الانسياب الجليدي نحو البحر زيادة ملموسة بفعل تغير المناخ.

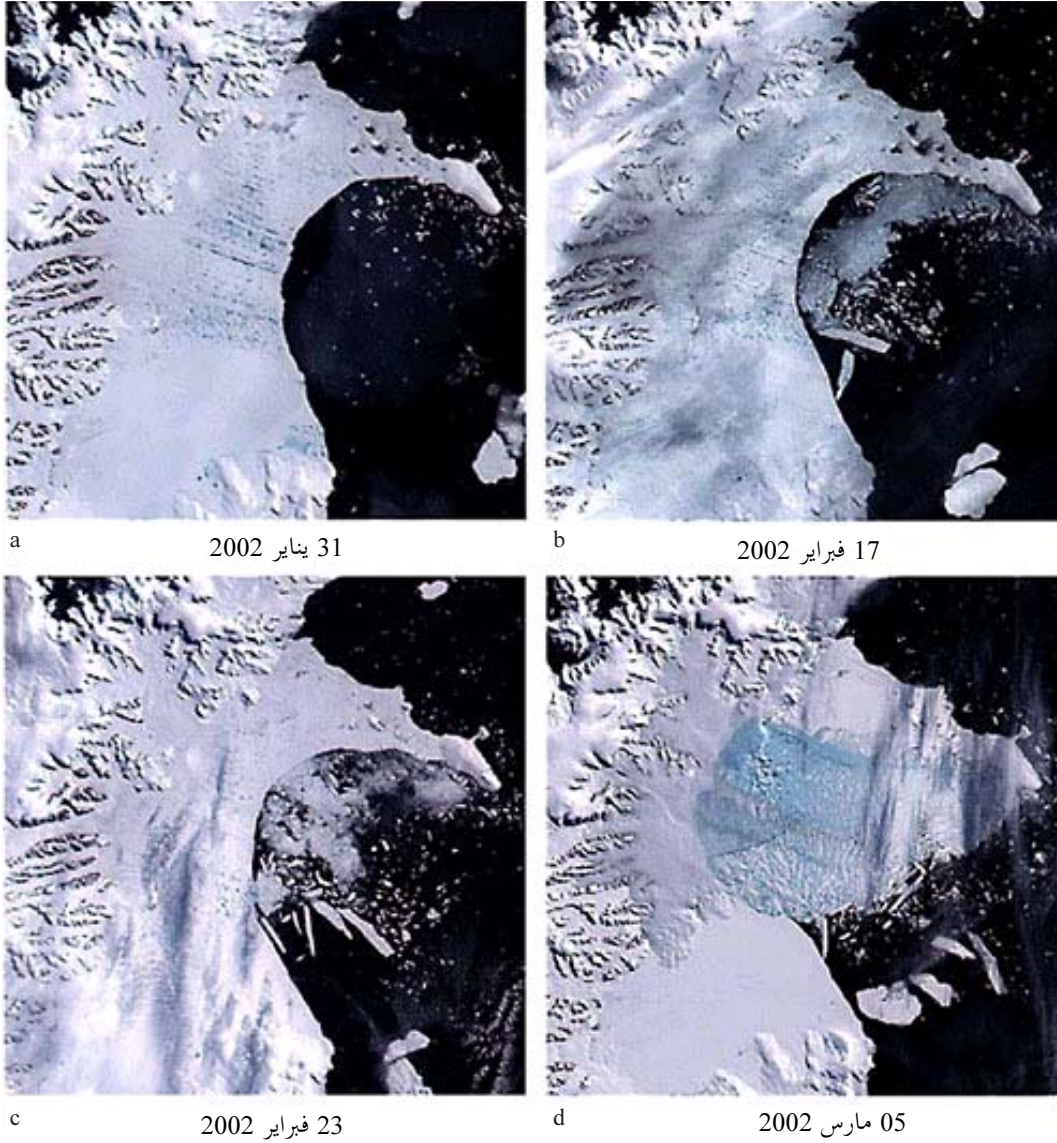
ومن دلائل تغير المناخ/الاحترار العالمي تراجع، بدلاً من أن تقدم، تدفقات الغطاء الجليدي (المثلجات والجليد البحري على السواء). وتظهر دراسة الأنظمة الجليدية في جميع أنحاء العالم إهدار واسع النطاق منذ أواخر السبعينات مع تسارع ملحوظ في أواخر الثمانينات. ويُستخدم الاستشعار عن بعد لتوثيق التغيرات في امتداد المثلجات (رقعتها) وموضع خط التوازن (الارتفاع على الثلجة حيث يتوازن التراكم الشتوي بالذوبان الصيفي). ومنذ عام 1972، وفرت السواتل صوراً ضوئية لامتداد المثلجات. ويُستخدم الآن الرادار ذو الفتحة التركيبية (SAR) لدراسة مناطق تراكم الثلوج الجليدية وذوبان الجليد لتحديد العوامل المناخية المؤثرة، ويستخدم قياس الارتفاعات الليزري كذلك لقياس التغير في ارتفاع المثلجات.

نظراً لأن المثلجات تتأثر بالتغيرات المناخية السابقة والحالية، يجري حالياً وضع جرد كامل للمثلجات العالمية لتتبع امتدادها الحالي فضلاً عن معدلات التغير في مثلجات العالم. وتستخدم قياسات الجليد الأرضي العالمي من مشروع الفضاء بيانات مستقاة من أجهزة الاستشعار على متن الساتلين ASTER وLandsat لجرد حوالي 160 000 مثلجة في جميع أنحاء العالم. وتعد القياسات وتحليل الاتجاهات الناشئة مؤشرات هامة لتغير المناخ ومثالاً على قيمة وأهمية مجموعات البيانات على المدى الطويل لفهم النظام المناخي المعقد.

وتسهل مراقبة الصفائح الجليدية بالأجهزة المحمولة في الفضاء، الفاعلة منها والمنفصلة. فقد رُصدت حالات تحطم الصفائح الجليدية الكبرى (مثل الجرف الجليدي لارسن باء) في القطب الجنوبي من الفضاء. وإن لم يكن هذا التحطم يعزى إلى ظاهرة الاحتباس الحراري، فقد تسارعت وتيرته من جرائها. ولم يتسنَ تصوير الهيار الجرف الجليدي لارسن باء في القارة القطبية الجنوبية في عام 2002 إلا بفضل التغطية المتكررة من الصور الساتلية. وقد بيّنت الصور بوضوح كبير ديناميات الصفائح الجليدية في مقاييس زمنية مذهشة بقصرها (الشكل 1). وتحمل هذه الكشوف الجديدة مضامين ذات ثقل مفادها أن الانتقال السريع للجليد من الصفائح الجليدية القارية إلى البحر يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع كبير في مستوى سطح البحر.

الشكل 1

أهيار الجرف الجليدي لارسن باء في القارة القطبية الجنوبية الغربية،
تفكك 2 000 km² من الجرف الجليدي في غضون يومين فقط



RS.1883-01

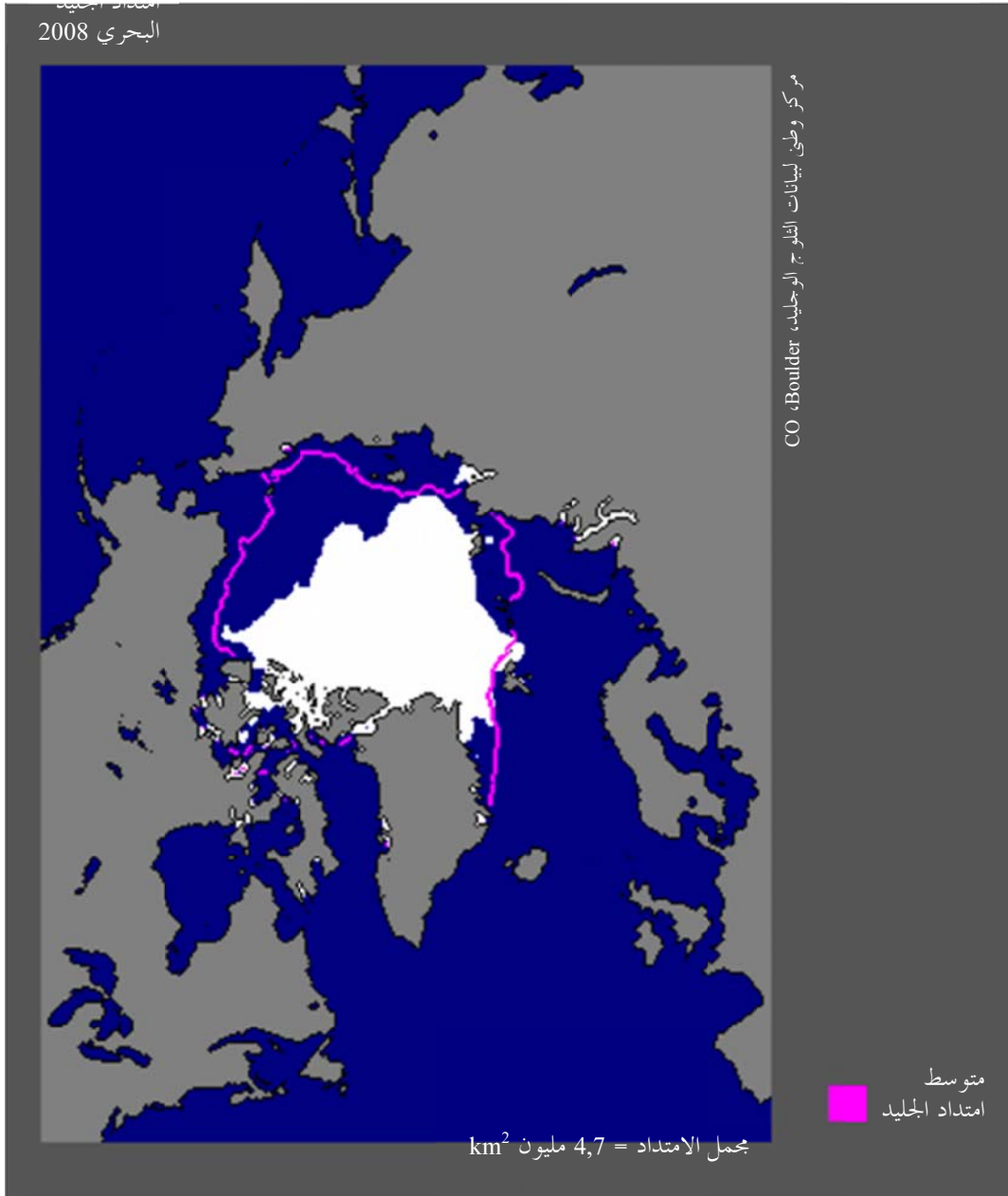
المصدر: رصد الأرض من الفضاء: السنوات الخمسون الأولى من الإنجازات العلمية، ص. 3، 2008، يمكن تحميله من الرابط:
<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>

منذ عام 1979، جرت مراقبة الجليد البحري باستمرار بواسطة أجهزة الاستشعار المنفصلة العاملة بالموجات الصغرية (المقياس الراديوي الماسح كهربائياً بالموجات الصغرية (ESMR)) والمقياس الراديوي متعدد القنوات الماسح بالموجات الصغرية (SMMR) جهاز التصوير/الاستشعار بالموجات الصغرية الخاص (SSM/I) والمقياس الراديوي المتقدم الماسح بالموجات الصغرية - نظام رصد الأرض (AMSR-E)). وإذ لا تتعوق ظروف الطقس أو مستويات الضوء عمل هذه الأجهزة، فهي مناسبة لمراقبة الجليد البحري بسبب التباين الشديد في انبعاثات الموجات الصغرية بين المحيطات المكشوفة وتلك المغطاة بالجليد. وقد مكنت مجموعات البيانات طويلة الأجل الممتدة لمدة 35 عاماً أجهزة الاستشعار المنفصلة هذه العاملة بالموجات الصغرية من تحليل الاتجاه السائد بما يتجاوز تقلبات الجليد البحري بين سنة وأخرى. ومنذ عام 2000، رُصدت كميات قياسية دنيا من الجليد خلال الصيف في أربع من السنوات الست الماضية في منطقة القطب الشمالي (الشكلان 2 و3). وعلاوة على ذلك،

تبين المؤشرات الأخيرة أن امتداد الجليد في فصل الشتاء آخذ بالانحسار بمعدل أسرع، ربما نتيجة لارتفاع درجة حرارة المحيطات المرتبطة بغطاء جليدي أرق وأقل اتساعاً. وتتسق عمليات الرصد هذه لتقلص جليد البحر القطبي الشمالي مع توقعات النماذج المناخية للاحتمرار الزائد في خطوط العرض العالية، وتعتمد هذه النماذج بدورها في جزء كبير منها على قدرة الجليد على عكس أشعة الشمس الهابطة عليه. وعلى النقيض من القطب الشمالي، ولم يُكتشف أي اتجاه واضح في مدى التغطية الجليدية لبحر القطب الجنوبي.

الشكل 2

بلغ امتداد الجليد البحري في القطب الشمالي 4,67 km² (1,80 مليون ميل مربع)، وهو ثاني أدنى مساحة في السجل الساتلي. ويُظهر الخط الزهري متوسط امتداد الجليد في شهر سبتمبر في السنوات من 1979 حتى 2000

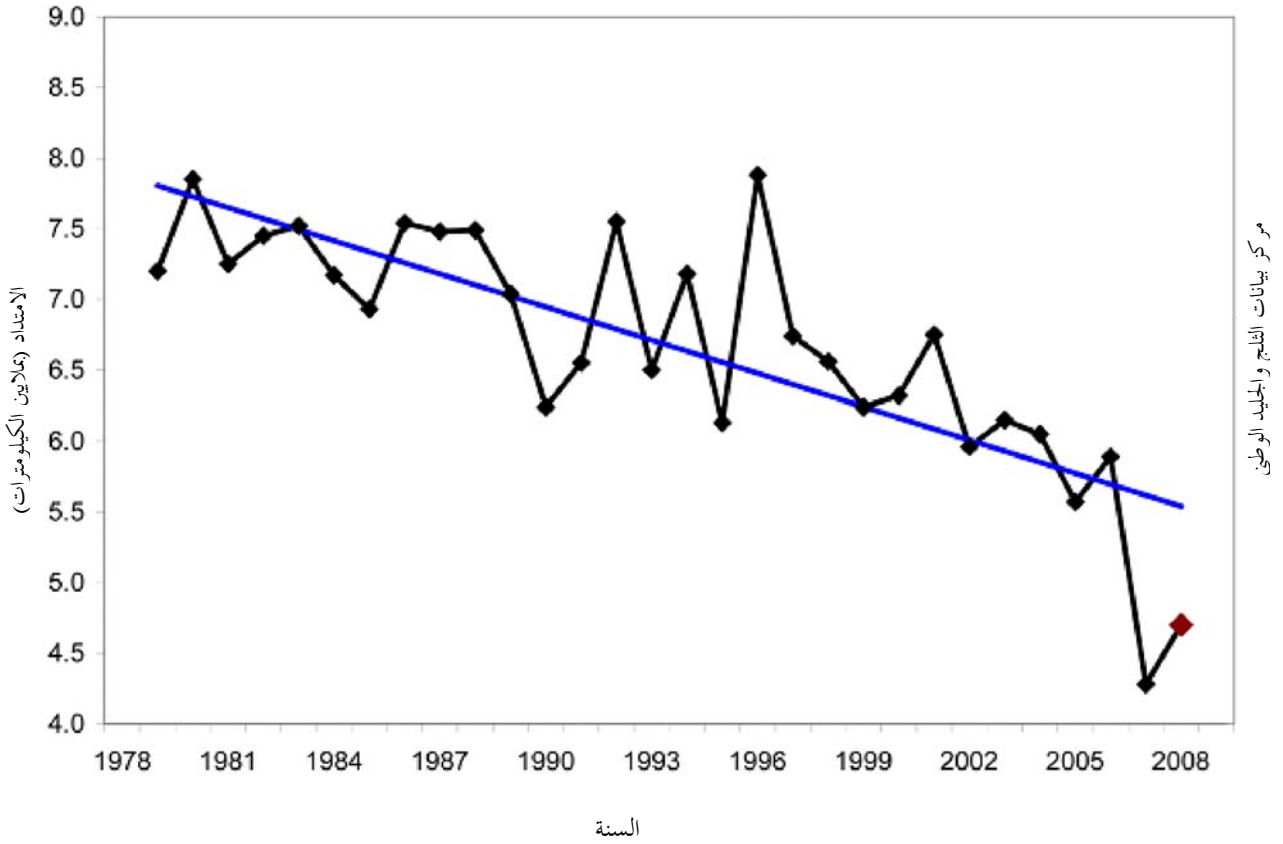


RS.18883-02

رابط المصدر: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html

الشكل 3

يظهر امتداد الجليد في شهر سبتمبر في السنوات من 1979 حتى 2000 انحساراً على مدى ثلاثين عاماً. وقد زاد معدل انحسار الجليد البحري في شهر سبتمبر منذ عام 1979 إلى -11,7% في العقد الواحد



RS.1883-03

رابط المصدر: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html

على مدى السنوات القليلة الماضية، كان هناك عدد متزايد من تقارير التنبؤ بظروف الجليد البحري. وتستند هذه التقارير كثيراً أو في الغالب على بيانات من السواتل. فعلى سبيل المثال، خلص تقييم أثر المناخ القطبي (ACIA 2005) إلى أن الانحسار المستمر في جليد البحر القطبي الشمالي قد يؤدي قريباً إلى قطب شمالي خال من الجليد موسمياً وزيادة حركة النقل البحري لأن طرق الشحن عبر المحيط المتجمد الشمالي أقصر بكثير من الطرق عبر قناتي بنما أو السويس. ولكن هناك أيضاً بعض الأدلة على أن انحسار الغطاء الجليدي سيتوافق بقدر أكبر من التباين بين سنة وأخرى في بعض المناطق على الأقل.

ويعتبر فهم تغيرات الطارئة على الصفائح الجليدية والجليد البحري والغطاء الجليدي والثلجات هاماً لفهم تغير المناخ العالمي والتنبؤ بآثاره. وعلى وجه الخصوص، فقد حُدد "تقلص الصفائح الجليدية" ومساهمته في ارتفاع مستوى سطح البحر بأنه "اختراق العام" الثالث من حيث الأهمية عام 2006 وفقاً لمجلة العلوم. ونظراً لتغير المناخ المتوقع وما يرتبط به من ارتفاع مستوى سطح البحر، فإن تيسر التغطية الساتلية القطبية العالمية في المستقبل سوف يخدم احتياجات المجتمع الحاسمة التي لا يفي بها أي نظام آخر للرصد.

3 المحيطات

تغطي المحيطات حوالي 71% من سطح الكرة الأرضية، وتؤدي دوراً رئيسياً في النظام المناخي في نواح عدة. وهي أيضاً مؤشر ممتاز لتغير المناخ. فعلى سبيل المثال، يكشف قياس مستويات سطح البحر عن مؤشرات بالغة الأهمية بشأن ظاهرة الاحتباس الحراري.

وتشكل التغيرات في الطقس والمناخ والبيئة تحديات خطيرة للبشرية. وتتطلب مواجهة هذه التحديات المزيد من التحسينات في مجال التنبؤات الجوية، وخاصة في التوقعات على المدى المتوسط الطويل. فإذا كانت هناك صورة أوضح لما سيحدث في الأيام العشرة المقبلة أو في الأشهر المقبلة أو حتى في الموسم المقبل، يمكن للناس والصناعات إعداد أنفسهم على نحو أفضل بكثير بالنسبة إلى أنماط الطقس غير المستقر. وتقتضي مواجهة هذه التحديات أيضاً فهماً أفضل للعوامل المناخية العالمية التي تسبب مثل هذه الظواهر مثل ظاهرة النينو والنينيا في المحيط الهادي والأعاصير والأنواء البحرية الخطيرة، وارتفاع مستويات مياه البحر خاصة.

ولا سبيل للاهتمام إلى فهم القوى الكامنة وراء تغير أنماط الطقس إلا برسم خرائط التغيرات في ظروف سطح المحيطات في جميع أنحاء العالم وذلك باستخدام البيانات التي تم جمعها لوضع وتشغيل نماذج قوية لسلوك المحيط. فبالجمع بين نماذج المحيطات والغلاف الجوي، يمكننا تقديم التوقعات الدقيقة المطلوبة على المدى القصير والطويل معاً. وثمة حاجة إلى اقتران نماذج المحيطات والغلاف الجوي كي تؤخذ ديناميات المقياس المتوسط للمحيطات في الاعتبار تماماً. ويصبح اقتران هذه النماذج هاماً للتنبؤ بالأحوال الجوية لما بعد أسبوعين. وتعتبر المحيطات أيضاً جزءاً هاماً من عملية تغير المناخ، فمن المعروف على نطاق واسع أن ارتفاع مستويات مياه البحر في العالم بأسره هو إحدى العواقب المحتملة الأوخم لظاهرة الاحتباس الحراري.

1.3 درجة حرارة سطح البحر ومتوسط ارتفاع مستوى سطح البحر

قُدمت مساهمة هامة لعلم المناخ بالسجل طويل الأجل لدرجة حرارة سطح البحر (SST) من المقياس الراديوي المتقدم ذي الاستبانة العالية جداً (AVHRR) الطائر على متن سلسلة سواتل الرصد التلفزيوني بالأشعة تحت الحمراء (TIROS-N) وسلسلة سواتل NOAA. كما تقاس حرارة سطح البحر الآن بأجهزة الموجات الصغيرة المنفصلة. وتعتبر حرارة سطح البحر من أهم مؤشرات تغير المناخ العالمي ومعلمة حيوية لنمذجة المناخ. ونظراً لكون سجل بيانات حرارة سطح البحر الأطول بين بيانات دراسة المحيطات في الاستشعار عن بعد، فإن أثره واسع النطاق.

وقد كشف سجل حرارة سطح البحر دور المحيط في تغير المناخ الإقليمي والعالمي وكشف عن تفاصيل مهمة حول تيارات المحيطات. وتحتزن المحيطات أكثر من 80% من إجمالي تدفئة نظام الأرض، وتعمل تيارات المحيطات على إعادة توزيع هذه الحرارة في جميع أنحاء العالم. وقد ساعد تحليل اتجاهات سجل بيانات حرارة سطح البحر على تحسين فهم التأثيرات التفاعلية للمناخ والغلاف الجوي في المناطق المدارية المسؤولة أيضاً عن أحداث التآرجح الجنوبي للمناخ (ENSO) في المحيط الهادي. وكان للتقدم الحاصل في فهم التآرجح الجنوبي للمناخ، جراء الرصد الساتلي للرياح السطحية في البحر ولاارتفاعات ودرجات حرارة سطح البحر، أن أثر تأثيراً عميقاً على التنبؤات بالمناخ والطقس إقليمياً. وعلاوة على ذلك، رُبطت شدة الأعاصير البحرية بدرجات حرارة سطح البحر. وبالتالي، استفادت كل من درجات حرارة سطح البحر والأعاصير نفسها من الدراسات التي تستخدم بيانات من السواتل.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن سجل حرارة سطح البحر هو في صلب اقتران المحيط والغلاف الجوي وهو عامل الضبط في تبادل الحرارة والبخار بينهما. ويقيم تحليل اتجاهات سجل بيانات حرارة سطح البحر الدليل على ظاهرة الاحتباس الحراري والتأثير التفاعلي الهام في المناطق المدارية المسؤول أيضاً عن أحداث التآرجح الجنوبي للمناخ (ENSO). وهذا الرصد لحرارة سطح البحر بالاقتران مع القياسات الموضعية الرأسية لدرجات الحرارة في المحيط على عمق 3 000 متر، يوفر أدلة للكشف عن ظاهرة الاحتباس الحراري في المحيط الناشئة عن أنشطة بشرية.

كما أن لفهم ارتفاع حرارة سطح البحر والمدخلات الحرارية الناجمة عن أنشطة بشرية، مفاعل هامة على قياس ارتفاع مستوى سطح البحر والتنبؤ به. إذ إن ارتفاع مستوى سطح البحر قد يكون علامة على ارتفاع درجة حرارة الأرض. ومراقبة هذا المستوى هو من تطبيقات قياس الارتفاعات، وهو إحدى القضايا الرئيسية في العلوم البيئية للقرن الحادي والعشرين.

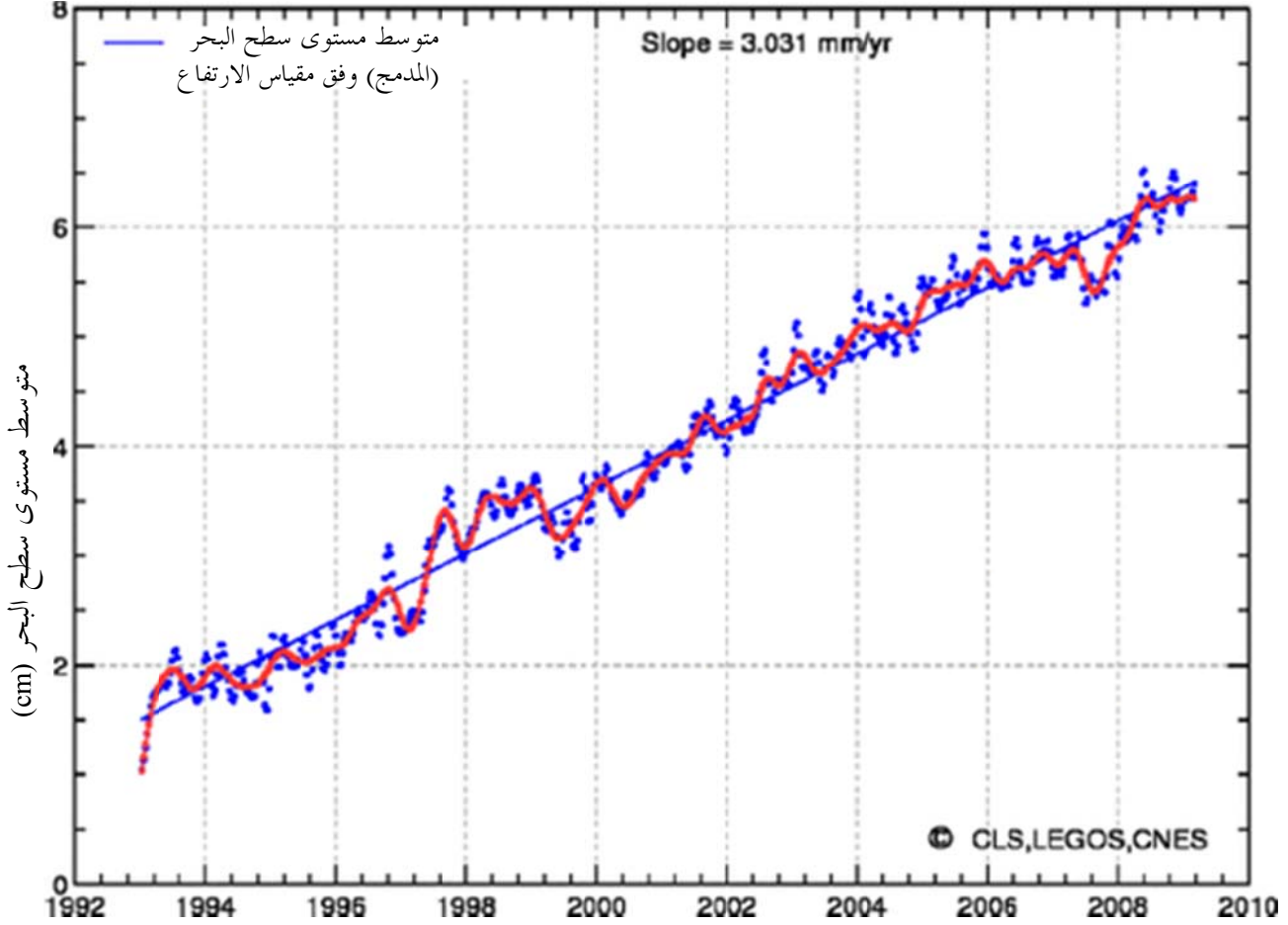
ويصعب كثيراً فصل التقلبات الطبيعية للمناخ عن آثار الاحتباس الحراري. وقد استُمدت قياسات مستويات سطح البحر على مدى 15 عاماً من عمليات الرصد الساتلي التي ظلت متسقة وأنتجت سلسلة زمنية دقيقة لعمليات الرصد الساتلي. ومع ذلك، فإن مثل هذه الفترة الزمنية قصيرة. وبالإضافة إلى ذلك، تدعو الضرورة إلى بيان ما يضيفه الاضطراب بفعل الإنسان إلى

تقلبات المناخ الطبيعية. لذلك، يتعذر الكشف عن إشارات تغير المناخ إلا إذا فاقت التقلبات الطبيعية في الخلفية. وينطوي كشف تغير المناخ العالمي على أكثر بكثير مما تتطلبه مراقبة التأثيرات الإقليمية.

ويعود الارتفاع المرصود في مستوى سطح البحر في جانب منه إلى تزايد درجة حرارة المياه. ويمكن أن يعود الباقي إلى ذوبان الثلجات والتقلبات في مستوى المياه القارية. ويبين الشكل 4 أن الارتفاع يبلغ حوالي 3,3 ميليمتر سنوياً، أي ما يقرب من 5 سنتيمتراً في غضون 15 عاماً.

الشكل 4

متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر



RS.1883-04

بيد أن متوسط الارتفاع في مستوى سطح البحر ليس سوى جزء من القصة. فارتفاع مستوى المحيطات بعيد كل البعد عن كونه موحداً. وفي بعض مناطق المحيطات ارتفع مستوى سطح البحر (بنسبة تصل إلى 20 mm في السنة في بعض الأماكن)، فيما هبط في مناطق أخرى بمقدار مماثل. وهذه الاختلافات الإقليمية التي رصدها الساتلان TOPEX/JASON منذ عام 1993، تعكس في الغالب تقلبات مستوى سطح البحر على مدى عدة سنوات.

ويتمثل أحد بواعث القلق الرئيسية في إمكانية أن يغمر ارتفاع مستويات مياه البحر المناطق الساحلية في جميع أنحاء العالم، وأن يُغرق تماماً الجزر المنخفضة. وبينما يُتوقع لهذا الأثر أن يكون ذا شأن على نطاق زمني مديد نسبياً (عقود وقرون)، فإن الطوبوغرافيا المستمدة من الرصد الساتلي (رصد الرادار ذي الفتحة التركيبية (SAR) كبعثة الطوبولوجيا الرادارية لمكوك الفضاء، والرصد البصري عن طريق ساتل ASTER) يمكن أن تساعد من خلال تحديد المناطق المعرضة للخطر.

ولم يقتصر ما أظهرته قياسات درجة حرارة سطح البحر على معلومات هامة حول تيارات المحيطات (مثل تيار الخليج)، بل ارتقت أيضاً ببحوث المناخ إذ قدمت معلومات تفصيلية عن مدخلات الحرارة في المحيطات. وقد أدى الجمع بين لون المحيط ورصد درجة حرارة سطح البحر (SST) إلى اكتشافات جديدة بشأن الاقتران الفيزيائي البيولوجي في المحيط، مع ما لذلك من مدلولات هامة لدور المحيطات في الدورة الكربونية.

ويقدم الرصد الساتلي الوسيلة الوحيدة لتقدير دور الكتلة الحيوية للمحيط ومراقبتها بوصفها بالوعة للكربون. وعلى وجه الخصوص، لا يمكن تناول السؤال الأساسي عما إذا كان امتصاص الكربون البيولوجي يتغير استجابة لتغير المناخ سوى بالقياسات الساتلية. فهو لا يتطلب قياسات لون المحيط (الكتلة الحيوية للعوالق النباتية والإنتاجية) فحسب، بل أيضاً تطابق عمليات الرصد الفضائية لبيئة المحيطات الفيزيائية (الدوران والاختلاط) والتبادلات بين اليابسة والمحيطات (عن طريق الأنهار ومد الأراضي الرطبة) وعوامل أخرى مثل الرياح والمد والجزر ومدخلات الطاقة الشمسية إلى المحيط العلوي. ويعد رصد الروابط بين البيئة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمحيطات إنجازاً كبيراً للرصد من الفضاء.

2.3 رطوبة التربة وملوحة المحيطات

عادة ما يحدث التبخر والتسرب وإعادة حقن المياه الجوفية من خلال نطاق الفادوز غير المشبع الذي يمتد من أعلى سطح الأرض إلى المياه الجوفية. وتقع منطقة الجذر من الغطاء النباتي، حيث يرتوي النبات، ضمن نطاق الفادوز الذي يشكل واجهة التماس بين النباتات والنظام الهيدرولوجي. وتتحكم كمية المياه المتوفرة ضمن النبات في تنح النبات والتمثيل الضوئي وبالتالي امتصاص ثاني أكسيد الكربون. كما أن كمية المياه في نطاق الفادوز ترتبط ارتباطاً مباشراً بقدرة التربة على الاستنزاب بعد هطول الأمطار. وقد صُممت مخططات نقل التربة والغطاء النباتي والغلاف الجوي (SVAT) المستخدمة في الأرصاد الجوية والهيدرولوجيا لوصف عمليات التبخر الأساسية على السطح وتقسيم المياه بين تنح النباتات والاستنزاب والجريان السطحي ومحتوى التربة من الرطوبة. ويجب توفير قيمة واقعية أولية لكمية المياه في نطاق الفادوز لنماذج نقل التربة والغطاء النباتي والغلاف الجوي.

وعند التعامل مع تربة جرداء أو تربة تتناثر عليها نباتات متفرقة، يمكن حساب معدل التبخر والجريان السطحي من سلسلة الوقت لرطوبة التربة السطحية. أما عند التعامل مع السطوح المغطاة بالنباتات، فلا بد من تؤخذ كمية المياه في النباتات (العمق البصري للنباتات) في الحسبان. ويمكن أن يكون العمق البصري للنباتات نفسه منتجاً مفيداً جداً لمراقبة ديناميات الغطاء النباتي.

وتعد معرفة توزع الملح (الملوحة) في المحيط العالمي وتقلباته السنوية وما بين سنة وأخرى أموراً ذات أهمية حاسمة في فهم دور المحيطات في النظام المناخي. والملوحة أساسية في تحديد كثافة المحيط، وبالتالي الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط. كما ترتبط ملوحة المحيط بدورة الكربون في المحيطات كونها تقوم بدور في إرساء التوازن الكيميائي الذي ينظم بدوره امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون وإطلاقه. ولذلك فإن استيعاب قياسات الملوحة على سطح البحر ضمن النماذج البيولوجية الجغرافية الكيميائية ينبغي أن يحسن تقديرات امتصاص المحيطات لغاز ثاني أكسيد الكربون.

وتتولى بعثة الساتل SMOS مراقبة رطوبة التربة، إلى جانب بعثة الساتل SMAP؛ ومراقبة درجة ملوحة مياه المحيطات، إلى جانب بعثة الساتل Aquarius.

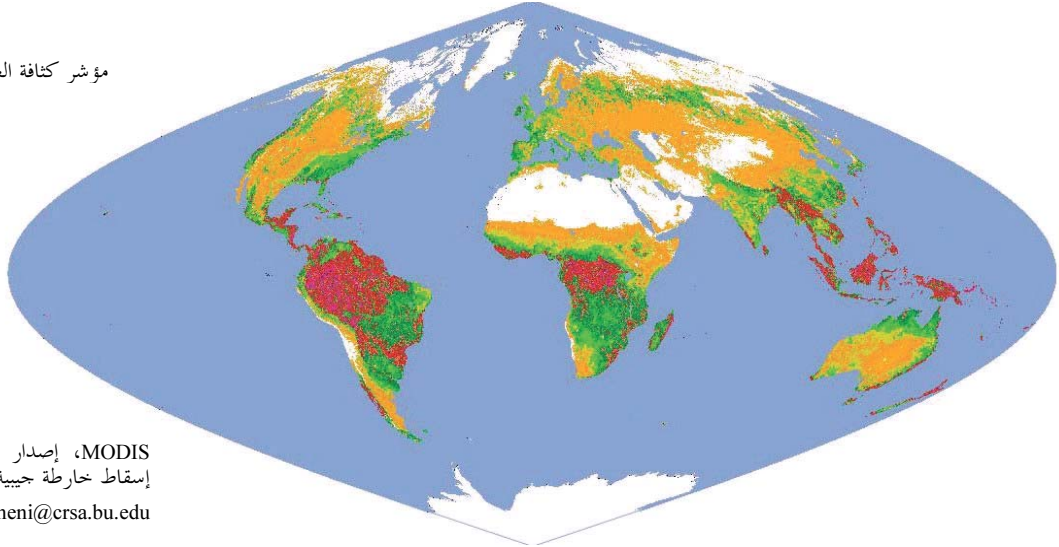
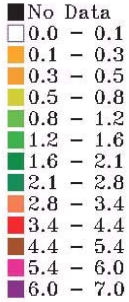
4 الغلاف الحيوي

لا بد من المراقبة الساتلية لديناميات الغطاء النباتي للأرض من أجل فهم أداء النظام البيئي العالمي والاستجابة لتقلبات المناخ وتغيره. وبفضل مقياس الطيف التصويري المتوسط الاستبانة (MODIS) على متن الساتلين AQUA و TERRA، صار هذا الرصد أدق بتوسيعه ليشمل القياس الحيوي الفيزيائي.

الشكل 5

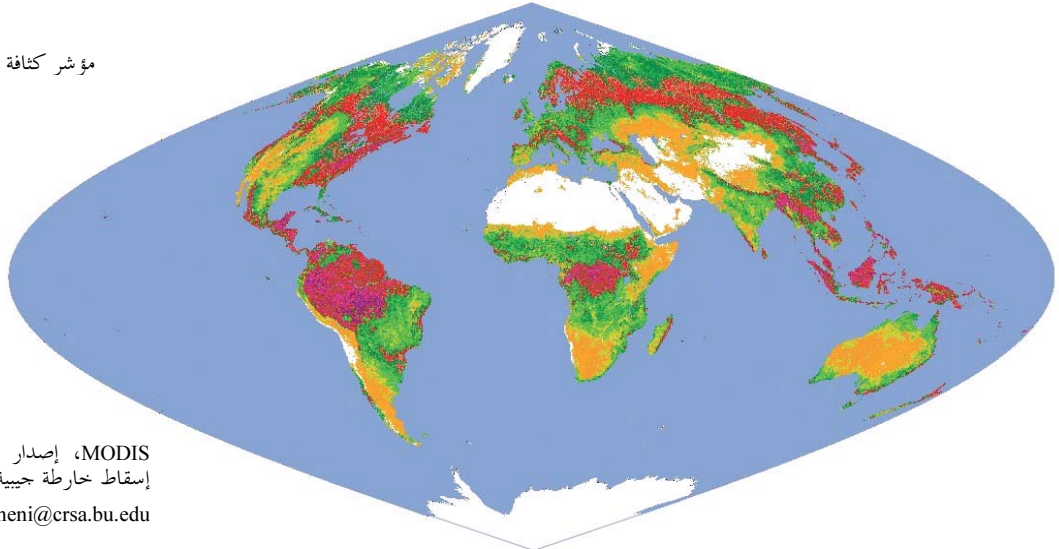
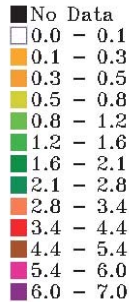
مؤشرات الورقة الخضراء من مقياس الطيف التصويري المتوسط الاستبانة (MODIS)
التي تُظهر التغيرات الموسمية في النباتات

مؤشر كثافة الغطاء النباتي (LAI)



MODIS، إصدار 4,4 km، فبراير 2006،
إسقاط خارطة جيبية
rmyneni@crsa.bu.edu

مؤشر كثافة الغطاء النباتي (LAI)



MODIS، إصدار 4,4 km، فبراير 2006،
إسقاط خارطة جيبية
rmyneni@crsa.bu.edu

RS.1883-05

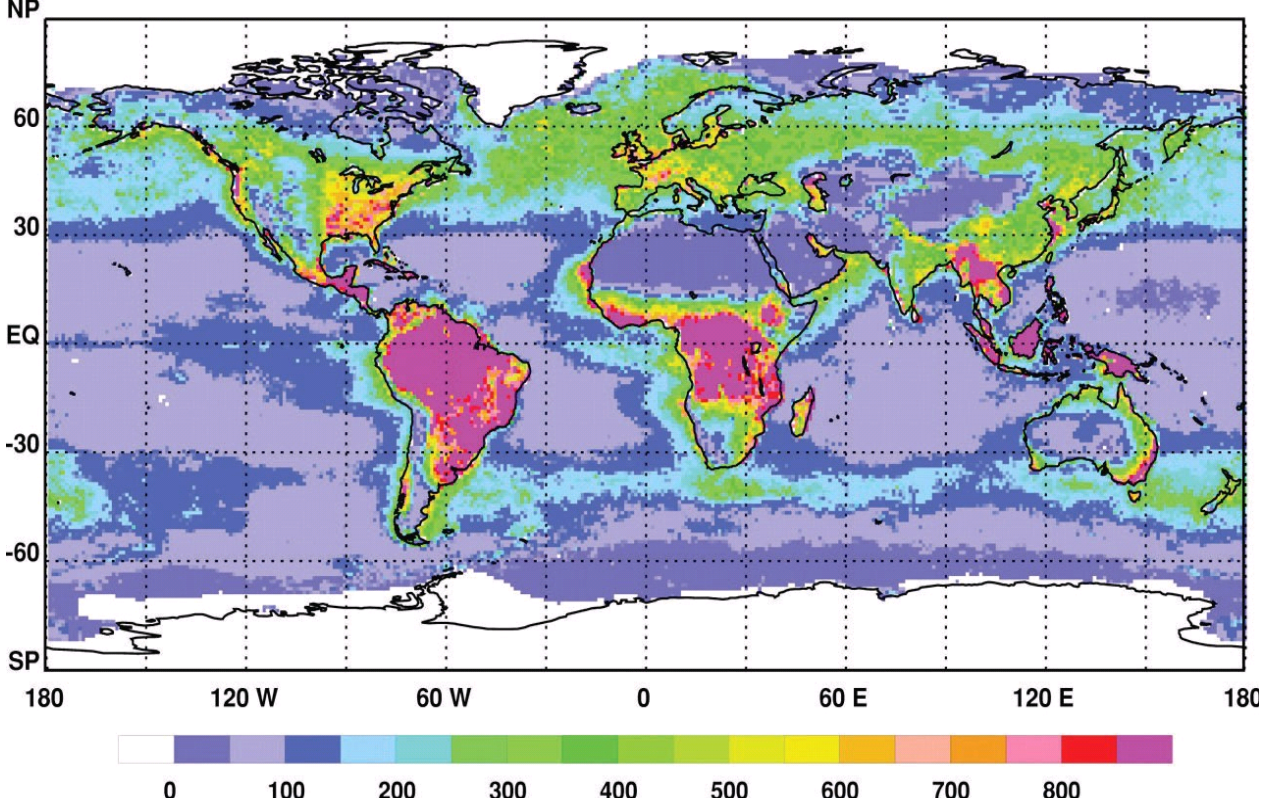
المصدر: رصد الأرض من الفضاء: السنوات الخمسون الأولى من الإنجازات العلمية، ص. 75، 2008، يمكن تحميله من الرابط:
<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>

وقد استمدت دراسات التغير المناخي العون من البحوث الساتلية في دورة الكربون وتقلبات الطاقة في الأرض.

وتُعرّف الإنتاجية الأولية الصافية (NPP) على أنها صافي تدفق الكربون من الجو إلى النباتات الخضراء في وحدة الزمن. ويقدم الرصد الساتلي للإنتاجية الأولية الصافية مساهمات قيمة للفهم الأساسي لآثار تغير المناخ على الغلاف الحيوي. وتتأثر الإنتاجية الأولية الصافية بضوابط مناخية وحيوية تتفاعل مع بعضها البعض. وتكاد تتساوى مساهمة الأرض والمحيطات في الإنتاجية الأولية الصافية (الشكل 6)، ولكن هناك تفاوتاً لافتاً في هذه الإنتاجية على المستوى المحلي. ونظراً لأن دورات حياة العوالق النباتية أقصر بكثير من أعمار النباتات البرية (أيام مقابل سنوات أو عقود)، فإن العوالق النباتية قد تستجيب لتأثيرات المناخ على الدوران والاختلاط وتوريد المواد الغذائية والضوء في المحيطات بسرعة أكبر بكثير من النباتات في الأنظمة البيئية الأرضية. ومن ثم، فإن المكون المحيطي للدورة الكربونية (النصف تقريباً) يُتوقع أن يستجيب بسرعة أكبر لتغيرات المناخ.

الشكل 6

الإنتاجية الأولية الصافية (NPP) العالمية السنوية (بوحدة غرامات الكربون في المتر المربع سنوياً) للغلاف الحيوي،
 محسوبة من نموذج الإنتاج المعمم رأسياً (CASA-VGPM) وبيانات الدخل للون المحيط من جهاز استشعار
 المساحة اللونية للمناطق الساحلية (CZCS) هي متوسط القيم بين العامين 1978 و 1983
 مؤشر الغطاء النباتي للأرض من أجهزة استشعار المقياس الراديوي المتقدم ذي الاستبانة العالية جداً (AVHRR)
 هو متوسط القيمة بين العامين 1982 و 1990



RS.1883-06

المصدر: رصد الأرض من الفضاء: السنوات الخمسون الأولى من الإنجازات العلمية، ص. 77، 2008، يمكن تحميله من الرابط:
<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>

أطلقت المساحة اللونية للمناطق الساحلية عام 1978، وأظهرت إمكانية رصد إنتاجية المحيط بواسطة النطاقات المرئية والقريبة من تحت الحمراء، غير أن قياسات هذه المساحة كانت مشبعة على الأرض وبالتالي غير صالحة للاستعمال.

وقد حصل المقياس الراديوي المتقدم ذو الاستبانة العالية جداً (AVHRR)، المركب على متن سواتل رصد الأحوال الجوية ذات المدار القطبي للإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA)، على سجل مستمر من الرصد العالمي اليومي منذ عام 1978 بواسطة النطاقات الحمراء والقريبة من تحت الحمراء على السواء. وتمتد بيانات المقياس الراديوي المتقدم ذو الاستبانة العالية جداً (AVHRR) اليومية الآن لأكثر من 25 عاماً، وهي أطول سجل عالمي مستمر متوفر عن إنتاجية الأرض والفيولوجيا (دراسة الوقائع الدورية لدورة حياة النبات والحيوان وكيف تتأثر بالتغيرات الموسمية والتغيرات بين سنة وأخرى في المناخ) وتغيير النظام البيئي، من أجل مراقبة استجابة الغلاف الحيوي لتغير المناخ وتقلبه.

ورغم أن المقياس الراديوي المتقدم ذو الاستبانة العالية جداً (AVHRR) ليس مصمماً لمراقبة المناخ، فقد أنتج استمرار التحسن في المعايرة وإعادة التحليل سجلاً متسقاً لمراقبة وتقييم استجابات الغلاف الجوي الماضية والمقبلة من جراء تغير المناخ وتقلبه والأنشطة البشرية.

ومن دواعي القلق الكبرى تأثير تغير المناخ على الزراعة. فمع ارتفاع درجة حرارة المناخ، يطول موسم الزراعة وتصبح المناطق الشمالية أكثر إنتاجية بينما تقل إنتاجية المناطق الجنوبية التي تواجه القَيْظ. وقد رُوِّقت الإنتاجية الزراعية من الفضاء منذ عقود. ويتراوح مؤشر الغطاء النباتي ذو الفرق الموحد (NDVI) بين 1- و 1+ حيث يتخذ قيمةً تناهز 1+ عندما تُرصد النباتات الخضراء. ومن الناحية التقنية، فإن مؤشر الغطاء النباتي ذو الفرق الموحد هو المعطى القريب من الأشعة تحت الحمراء ناقصاً معطى الأشعة الحمراء (المرئية) مقسوماً على مجموعهما.

وفي العقد الماضي، أصبحت بيانات مؤشر الغطاء النباتي ذو الفرق الموحد (NDVI) من المقياس الراديوي المتقدم ذي الاستبانة العالية جداً (AVHRR) مكوناً حاسماً في مراقبة تغير المناخ وتقييم تغير طول وتوقيت موسم الزراعة ومراقبة حالة الغلاف الحيوي والظواهر الأخرى المرتبطة بالنظام البيئي. وقد كشفت سجلات مؤشر الغطاء النباتي ذو الفرق الموحد طويلة الأجل ارتفاع قيمة هذا المؤشر في استجابة لاحتراق المناخ خلال الثمانينات وأوائل التسعينات، بيد أن هذا الاتجاه عاد وأخذ منحىً مستقراً في الآونة الأخيرة. وارتبطت تغيرات هذا المؤشر (الأخضرار) على مستوى الكوكب ارتباطاً قوياً مع الديناميات اليومية لإشعاع التركيب الضوئي الأرضي الفاعل الملتقط وتركيزات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويتناسب المؤشر تناسباً عكسياً قوياً مع غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بحيث يكون عالياً عند انخفاض تركيزات الغاز والعكس بالعكس. ويبين هذا النمط الزمني في عملية التركيب الضوئي والتنفس في النظام البيئي الاقتران الدينامي بين الغلاف الحيوي والغلاف الجوي.

5 الخلاصة

وفرت أجهزة الاستشعار المحمولة على متن السواتل البيانات الأساسية في فهمنا لهذا الكوكب ولتأثيرات تغير المناخ. وبما أن هذه الأجهزة توفر بيانات أساسية، ينبغي أن تبقى محمية في المستقبل.

الملحق 2

حالة رصد المتغيرات المناخية الرئيسية والعوامل المؤثرة

إن الملخص التالي عن حالة رصد المتغيرات المناخية الحرجة انطلاقةً من الفضاء (وفي بعض الحالات، الرصد الداعم انطلاقةً من الأرض) مأخوذ من تقرير مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي بعنوان، علوم الأرض وتطبيقات من الفضاء، دار نشر الأكاديميات الوطنية، واشنطن العاصمة، 2007 (الجدول 1.A.9، الصفحات 298-303).

وتتوفر هذه الوثيقة على الرابط التالي: <http://www.nap.edu/catalog/11820.html>.

وقد لاحظ التقرير أنه:

"على الرغم من أن الجدول يقدم منظوراً قيماً، ينبغي أيضاً إدراك محدداته:

- (1) في بعض الحالات، يُدرج الجدول متغيرات يمكن الحصول عليها من خلال تقنيات عدة، ولكن تُدرج التقنيات كافة؛
- (2) يقتصر الجدول على الرصد الساتلي في المدار الأرضي المنخفض، مع أن عدداً من الأهداف المذكورة يمكن تحقيقه أيضاً من خلال استخراج الصور المتعددة الأطياف وبيانات المسبار من منصات في مدارات ثابتة بالنسبة إلى الأرض ومدارات أخرى؛
- (3) يمكن اعتبار بعض عمليات الرصد الفضائي قياسات فيزيائية في حد ذاتها، وكثيراً ما تراجع التأويلات مع إجراء المزيد من المقارنات بين الاستنتاجات القائمة على الرصد الفضائي والقياسات البديلة للمتغيرات الفيزيائية".

وتشير الأرقام الواردة بين قوسين إلى المتغيرات المناخية الأساسية المدرجة في التذييل 1 للنظام العالمي لمراقبة المناخ (GCOS)، عام 2003. وهذه الوثيقة، الوثيقة التقنية 1143 الصادرة عن المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، هي التقرير الثاني عن مدى كفاية أنظمة رصد المناخ العالمية دعماً لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ وفق النظام العالمي لمراقبة المناخ - 82 (UNFCCC GCOS-82).

وتشير البعثات 1 و2 و3 و4 إلى البعثات المنشودة، لا على البعثات المزمعة في الوقت الراهن. وقد حُذف العمود الخامس الوارد في الجدول الأصلي باعتبار أنه يتتبع مصادر داخلية للبيانات.

ملخص الفريق المعني بتغير المناخ وتقلباته بشأن حالة المتغيرات المناخية والعوامل المؤثرة الرئيسية

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنة | المتابعة (2010-2020) |
|--|--|---|---|
| إجمالي كثافة تدفق الإشعاع الشمسي (1.2) | قياس مباشر | إطلاق SORCE عام 2003؛ Glory (TIM فقط) 2008 | NPOESS TSIS-GFE |
| ميزانية إشعاع الأرض | الجمع بين أجهزة تصوير متعددة الأطياف وأجهزة قياس راديوي عريضة النطاق: تحديد هوية المشهد، الشطر العلوي من تدفقات الغلاف الجوي | Terra MODIS/CERES على متن (2000)، Aqua (2002) | VIIRS/CERES على متن NPOESS، C1 (2013) البعثة 2 |
| ميزانية إشعاع سطح الأرض | الجمع بين أجهزة تصوير متعددة الأطياف وأجهزة قياس راديوي عريضة النطاق: تحديد هوية المشهد، الشطر العلوي من تدفقات الغلاف الجوي، نمذجة النقل الإشعاعي | Terra MODIS/CERES على متن (2000)، Aqua (2002) | VIIRS/CERES على متن NPOESS، C1 (2013) البعثة 2 |
| | أجهزة قياس راديوي مرابطة في الأرض: مواقع ARM، BSRN، CMDL، SURFRAD في مواضع متناثرة | | |
| هباء طبقة التروبوسفير (1.3): التوزيع الجغرافي والرأسي للهباء، العمق البصري، المقاس، الشكل، انعكاسية النثر الواحدة | أجهزة تصوير متعددة الأطياف: توفر العمق البصري وبعض الدلالات عن المقاس فوق المحيطات والأسطح المظلمة | AVHRR منذ عام 1981 NOAA (7، و حالياً على متن NOAA 17, 18, 19 VIRS على متن TRMM (1997) MODIS، MISR على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002) | VIIRS على متن NPOESS، NPP |
| | أجهزة تصوير - قياس راديوي بالأشعة فوق البنفسجية: توفر العمق البصري وبعض الدلالات عن الامتصاص في طبقات الهباء المرتفعة | OMI على متن AURA (2004) OMPS على متن (2010) NPP | OMPS على متن C3، NPOESS البعثة 1 |
| | أجهزة قياس الاستقطاب: توفر العمق البصري، المقاس، الشكل، انعكاسية النثر الواحدة | POLDER على متن PARASOL (2005) Glory على متن (2008) APS على نحو محدود. بمسقط الساتل على الأرض | APS على متن C3، NPOESS البعثة 1 |

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنة | المتابعة (2010-2020) |
|---|--|---|--|
| | كشفت المدى وتحديدته بالضوء (Lidar): يوفر البيانات العامة الرأسية لتركيز الهباء وبعض الدلالات عن المقاس والشكل | CALIPSO (2006) | البعثة 1 |
| | أجهزة قياس راديوي أرضية متعددة الأطياف | ARM، AERONET | VIIRS على متن ،NPOESS البعثة 1 |
| | قياسات التدفق عريض النطاق عن الأرض وسطحها | CERES على متن Terra (2000) وAqua (2004) بالافتراض مع مواقع SURFRAD وARM وBSRN | CERES على متن ،NPOESS البعثة 2 |
| خصائص هباء طبقة التروبوسفير، العمق البصري، المقاس، الشكل، انعكاسية النثر الواحدة (1.3) | قياسات الحافة والخسوف الشمسي: البيانات العامة لاندثار الهباء | HIRDLS على متن Aura، جهاز قياس راديوي بالأشعة تحت الحمراء؛ SAGE II على متن ERBS (1984-2006)؛ SAGE III على متن Meteor SciSat (2006-2002) (الكندي الأمريكي) | لا توجد |
| | الضوء المنتشر عن الحافة: البيانات العامة لعمق الهباء البصري | | OMPS على متن (2010) NPP NPOESS |
| | كشفت المدى وتحديدته بالضوء: يوفر البيانات العامة الرأسية لتركيز الهباء وبعض الدلالات عن المقاس والشكل | CALIPSO (2006) | البعثة 1 |
| خصائص السحاب (1.2): التوزيع الجغرافي والرأسي، نصف القطر الفعال لقطرة الماء، موئل بلور السحاب الجليدي ومقاسه، نسبة الطور المختلط لماء/جليد السحاب ومقاس التكاثر الجوي والعمق البصري المرئي، كميات ماء السحاب وماء الجليد | أجهزة تصوير متعددة الأطياف: خصائص طبقة السحاب الفعالة الواحدة | AVHRR منذ عام 1981 NOAA (7)، وحالياً على متن NOAA 17, 18, 19 استدلالات على مقاس التكاثر الجوي، ولكن ليس في مرحلة VIRS على متن TRMM؛ MODIS على متن Aqua وTerra يُستدل به على مرحلة التكاثر الجوي | VIIRS على متن NPOESS، NPP يوفر الاستدلال على مرحلة التكاثر الجوي |
| | أجهزة قياس راديوي متعددة المناظير، أجهزة قياس الاستقطاب | MISR على متن Terra، ارتفاع السحاب بتحديد المواضع بواسطة جهاز POLDER على متن PARASOL، مقاس التكاثر الجوي والطور من قياس الاستقطاب APS على متن Glory (2008)، الطور من قياس الاستقطاب | APS على متن C3، NPOESS مرحلة التكاثر الجوي من قياس القطبية |
| | أجهزة سير، أجهزة تصوير بطول موجة 15 μm: ضغط طبقة السحاب لنظام السحاب أحادي الطبقة فعلياً، حتى للسمحاق الرقيق بصرياً | HIRS على متن NOAA 17, 18, 19 MODIS على متن Terra، Aqua AIRS على متن Aqua (2002) | CrIS على متن NPOESS |

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنة | المتابعة (2010-2020) |
|--|--|---|--|
| | أجهزة تصوير بالموجات الصغيرة: استدلال على المياه السائلة في السحب فوق المحيط | DMSPI على متن TRMM على متن Aqua, AMSR-E على متن CMIS على متن NPOESS | |
| | كشف المدى وتحديد الضوء: التخوم العلية، اندثار السحب ذات الاستقطاب الرييقة بصريا ، طور الجزينات | CALIPSO (2006) | البعثة 1 |
| | رادار السحب: حدود السحاب، التوزيع الرأسي للماء السائل، معدلات الرذاذ عندما يخف المطول | CloudSat (2006) | البعثة 1 |
| الأوزون: الستراتوسفير، التروبوسفير (1.3) | جهاز تصوير - قياس راديوي بالأشعة فوق البنفسجية: يوفر مقدار الأوزون في العمود التروبوسفيري، والاستبانة الرأسية التقريبية لبياناته العامة | OMI على متن Aura (2004) | نظير سميت OMPS على متن NPP (2010)، C3 ،NPOESS |
| غازات النزر المتحكمة في الأوزون (H ₂ O ، CH ₄ ، N ₂ O ، HCl) (HNO ₃) | أجهزة السير بالأشعة تحت الحمراء: توفر بيانات عامة رأسية للأوزون الستراتوسفيري | HIRDLS على متن Aura ، TES على متن Aura يوفر كذلك مشاهدة الحافة (لم يعد يستخدم بعد عام 2005)؛ AIRS على متن Aqua (2002) | لا توجد |
| | سير الحافة بالموجات الصغيرة: يوفر بيانات عامة رأسية للأوزون الستراتوسفيري | MLS على متن Aura | لا توجد |
| CO ₂ (1.3) | مقياس الطيف القريب من الأشعة تحت الحمراء: عمود تركيزات ثاني أكسيد الكربون بدقة عالية | OCO (2008) ؛ الهدف هو تحقيق دقة كافية لتحديد المصادر ويؤثر الامتصاص؛ شبيكات على سطح الأرض (NOAA ، WMO GAW) AGAG | لا توجد |
| | أجهزة سير بالأشعة تحت الحمراء: | AIRS على متن Aqua (2002) | لا توجد |
| CH ₄ (1.3) | مقياس طيف بالأشعة تحت الحمراء: عمود تركيزات CH ₄ بدقة عالية | TES على متن Aura؛ شبيكات على سطح الأرض (NOAA ، WMO GAW) AGAGE | لا توجد |
| | أجهزة سير بالأشعة تحت الحمراء: | AIRS على متن Aqua (2002) | لا توجد |

| المتابعة (2010-2020) | الحالة الراهنة | الاستراتيجية | القياس |
|---|---|--|--|
| VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS | AVHRR على متن NOAA 17, 18, 19: استدلالات على الانعكاسيات الكيفية المصححة من أجل الغلاف الجوي؛ MODIS على متن Terra (2000)، Aqua (2002) سلسلة Landsat | تصوير متعدد الأطياف: مؤشر الغطاء النباتي، استدلال على انعكاسية السطح | غطاء السطح البري وانعكاسية السطح (3) (الغطاء الثلجي، المتلججات، تغطى الصفائح الجليدية لاحقاً) |
| البعثة 1 | Hyperion (EO-1) | التصوير بالطيف الفائق: أنماط النباتات، الغطاء البري | |
| ATMS، CrIS على متن (2010) NPP NPOESS | HIRS/MSU منذ 1979 حالياً على متن NOAA 17, 18, 19 SSM/I على متن DMSP (1995، 1997، 1999) AIRS/AMSU على متن Aqua (2002) | أجهزة سير بالأشعة تحت الحمراء والموجات الصغيرة: البيانات العامة الرأسية لدرجات حرارة الطبقات | درجة الحرارة (1.2): البيانات العامة الرأسية |
| البعثة 2 | GPS على متن CHAMP (2000)، COSMIC (2006) | الحسوف الراديوي للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS): البيانات العامة الرأسية باستبانة تقارب km 1-0,5 قرب السطح | |
| | | شبكة سطح الأرض: البيانات العامة لحرارة المسبار الراديوي، شبكة مسبار WMO (1959) | |
| ATMS على متن MIS، (2010) NPP على متن NPOESS | SSM/I على متن سواتل DMSP القطبية (1995، 1997، 1999) | التصوير بالموجات الصغيرة: كميات بخار الماء العمودية فوق المحيطات | بخار الماء (1.2): كميات العمود، البيانات العامة الرأسية |
| لا توجد | MODIS على متن Terra (2000) Aqua (2002) | تصوير متعدد الأطياف: كميات العمود من قنوات بخار الماء القريبة من الأشعة تحت الحمراء | |
| CrIS على متن NPP (2010) NPOESS | بيانات HIRS منذ عام 1979 (TIROS-N)، حالياً على متن NOAA 17, 18, 19 | أجهزة سير بالأشعة تحت الحمراء: كميات طبقة بخار الماء باستبانة رأسية تقريبية نسبياً في التروبوسفير | |
| CrIS على متن NPP (2010) NPOESS | AIRS على متن Aqua (2002) TES على متن Aura (2004) | أجهزة قياس راديوي بالأشعة تحت الحمراء وباستبانة طيفية عالية: كميات طبقة بخار الماء باستبانة رأسية أدق في التروبوسفير | |
| لا توجد | TES، MLS على متن Aura (2004) | أجهزة قياس راديوي ماسحة للحافة بالأشعة تحت الحمراء والموجات الصغيرة: كميات طبقة بخار الماء في التروبوسفير الأعلى وفي الستراتوسفير | |

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنة | المتابعة (2010-2020) |
|--|---|--|--|
| | الحسوف الراديوي للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS): البيانات العامة للحرارة وبخار الماء باستبانة رأسية تصل إلى حوالي 0,5 km قرب السطح | CHAMP (2000)، COSMIC (2007) | البعثة 2 |
| | شبكة سطح الأرض: البيانات العامة لبخار ماء المسبار الراديوي، شبكة مسبار WMO (1959) | | |
| اضطرابات الحرائق (3) | تصوير حراري بالأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء: كشف باستبانة مكانية عالية لنقاط الحرائق الساخنة | بيانات AVHRR منذ عام 1981 (NOAA 7)، وحالياً على متن NOAA 17, 18, 19 MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002) | VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS |
| الكتلة الأحيائية البرية، جزء من الإشعاع الفاعل من ناحية التركيب الضوئي | تصوير متعدد الأطياف: مؤشر الغطاء النباتي، استدلال على FAPAR | بيانات AVHRR منذ عام 1979 (NOAA 7)، وحالياً على متن NOAA 17, 18, 19 MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002)؛ SeaWiFS | VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS البعثة 1 |
| (3) (FAPAR) | رادار: تغطية برية من الانتثار الخلفي لرادار عامل في النطاق C | بيانات RADARSAT 1 (1995)، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | لا توجد |
| متلجات، جليد بحري، صفائح جليدية (3) | تصوير متعدد الأطياف: تغطية مساحة | بيانات AVHRR منذ عام 1979 (TIROS-N)، NOAA 17, 18, 19 MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002) | VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS |
| | أجهزة تصوير بالموجات الصغيرة: تغطية مساحة | SSM/I على متن (1995، 1997، 1999) AMSR-E على متن Aqua TMI على متن (1997) TRMM MIS على متن NPOESS | |
| | رادارات: مساحة الجليد وتدفعه، سماكة جليد البحر من الطوبوغرافيا | بيانات RADARSAT 1 (1995)، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | البعثة 3 |
| | Lidar: ارتفاع الجليد | GLAS على متن (2003) ICESat | البعثة 1 |
| | ساتل الثقالة: كتلة الجليد عند جمعها مع قياس طوبوغرافي | GRACE (2002) | GRACE متابعة |

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنه | المتابعة (2010-2020) |
|---|--|--|--|
| الجليد الدائم والأرض المجمدة موسمياً (3) الغطاء الثلجي (والمكافئ المائي للثلج) (3) | رادارات مقترنة بأجهزة قياس راديوي بالموجات الصغيرة: الجمع بين المساحة والوعورة والطبوغرافيا لتوفير المكافئ المائي للثلج | بيانات (1995) RADARSAT 1، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | ما من متابعة مزمنة |
| المياه الجوفية (3) | أجهزة تصوير بالموجات الصغيرة: رطوبة التربة، عدا المساحات المغطاة بالثلج الجليدي والمساحات الحراجية الكثيفة | SSM/I على متن DMSP (1995، 1997، 1999) AMSR-E على متن Aqua (2002) MIS على متن NPOESS | |
| | ساتل الثقلالة: مياه جوفية على نطاق واسع (يتطلب رصد مساعد في الموقع) | GRACE (2003) | GRACE متابعة |
| مستويات البحيرات (3) | تصوير متعدد الأطياف باستبانة عالية: مساحات البحيرات | Landsat 7 (1999) | LDCM |
| | رادارات: مساحات البحيرات | بيانات (1995) RADARSAT 1، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | غير مزمنة متابعة |
| | Lidar: ارتفاعات المياه - سطح الأرض | GLAS على متن ICESat (2003) | البعثة 1 |
| تصريف الأنهار (3) | تصوير عالي الاستبانة: مساحات بحيرات وأنهار | Landsat 7 (1999) | LDCM |
| | مقياس ارتفاع Lidar: مناسب الأنهار | ICESat (2002) | البعثة 1 |
| | رادار: مساحات بحيرات وأنهار | بيانات (1995) RADARSAT 1، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | ما من متابعة مزمنة |
| مؤشر كثافة الغطاء النباتي (LAI) (3) | تصوير متعدد الأطياف: مؤشر الغطاء النباتي | بيانات AVHRR منذ عام 1981 (NOAA 7)، والياً على متن NOAA 17, 18, 19 MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002)؛ MISR على متن Terra (2000)؛ SeaWiFS (1997)؛ VIIRS على متن NPP (2010) | VIIRS على متن NPOESS |
| | استبانة مكانية عالية تصوير متعدد الأطياف: مؤشر الغطاء النباتي باستبانة مكانية عالية | Landsat 7 (1999)؛ ASTER على متن Terra (2000)؛ EO-1 | LDCM؛ البعثة 1 |
| مستوى سطح البحر | مقياس الارتفاع: ارتفاع مستوى سطح البحار والمحيطات | GFO (2001) Jason 1 | ALT على متن ،NPOESS البعثة 4؛ GRACE متابعة |

| القياس | الاستراتيجية | الحالة الراهنة | المتابعة (2010-2020) |
|--|---|--|---|
| | SARs: مساحة المناطق الساحلية | بيانات (1995) RADARSAT 1، RADARSAT 2 (2007)، متوفرة في الأسواق التجارية | لا توجد |
| حالة البحر (2.1)، الرياح السطحية (1.1) | أجهزة تصوير بالموجات الصغيرة: سرعة الرياح السطحية | SSM/I على متن DMS (1995، 1997، 1999) AMSR-E على متن Aqua (2002) MIS على متن NPOESS | |
| | مقياس الانتشار: متجه الرياح السطحية | QuikSCAT (1999)؛ ASCAT على متن (MetOp) | ASCAT على متن ،MetOp البعثة 4 |
| لون المحيط (2.1) | أجهزة تصوير متعدد الأطياف بمقدرات الأشعة فوق البنفسجية - الزرقاء: إشعاعات الغطاء النباتي على سطح الأرض | SeaWiFS (1997)؛ MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002)؛ | VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS و |
| حرارة المحيط في السطح (2.1) وما تحت السطح (2.2) | تصوير متعدد الأطياف: حرارة سطح البحر | بيانات AVHRR منذ عام 1981 (NOAA 7)، وحالياً على متن NOAA 16, 17, 18 VIIRS على متن (1997) TRMM MODIS على متن Terra (2000) MODIS على متن Aqua (2002)؛ | VIIRS على متن (2010) NPP NPOESS و |
| | أجهزة سير بالأشعة تحت الحمراء والموجات الصغيرة: حرارة سطح البحر | AVHRR على متن ؛NOAA 16, 17, 18 AIRS AMSR-E على متن Aqua (2002)؛ MODIS على متن Aqua (2002)؛ MODIS على متن Terra (1999) | CrIS/ATMS على متن (2010) NPP؛ MIS على متن NPOESS |
| | أطواف مستهلكة لجمع البيانات العامة: البيانات العامة عن الحرارة، درجة الحرارة في العمق الحيادي لقابلية الطفو، وفي السطح | أطواف ARGO | |
| ملوحة المحيط في السطح (2.1) وما تحت السطح (2.2) | جهاز قياس رادويوي بالموجات الصغيرة ومقياس الانتشار: ملوحة السطح، تموج المحيط | | AQUARIUS (2010) |
| | أطواف مستهلكة لجمع البيانات العامة: البيانات العامة عن الملوحة، الملوحة في العمق الحيادي لقابلية الطفو | أطواف ARGO | |

| المتابعة (2010-2020) | الحالة الراهنة | الاستراتيجية | القياس |
|------------------------------------|--|---|---|
| ALT على متن ،NPOESS البعثة 4 | (2001) Jason 1 | مقياس الارتفاع: ارتفاع مستوى سطح المحيط الذي تُشتق منه التيارات | تيارات المحيط في السطح (2.1) وما تحت السطح (2.2) |
| GRACE متابعة | (2002) GRACE | ساتل الثقالة: تحولات الكتلة تحت السطح أو الكتلة الانتحائية الضغطية (تُحسب بالاقتران مع قياسات مقياس الارتفاع عند السطح) | |
| | أطواف ARGO | أطواف مستهلكة لجمع البيانات العامة: الانحراف الموضعي في العمق الحيادي لقابلية الطفو (وعند السطح مع بعض الاحتياطات) | |
| | | | العوالق النباتية تحت السطح (2.2) |
| | DMSI على متن (1999، 1997، 1995) TMI على متن (1997) TRMM؛ Aqua على متن AMSR-E (2002) MIS على متن GPM، NPOESS (2012) | أجهزة تصوير بالموجات الصغيرة: معدل هطول الأمطار فوق المحيطات | الهطولات (1.1) |
| (2012) GPM | (1997) TRMM | رادار الهطولات: الهيكل الرأسي لمعدلات الأمطار | |
| البعثة 1 | (2006) CloudSat | رادار السحاب: معدل الرذاذ الخفيف | |