

ИЗПОЛЗВАНЕ НА РАДАРНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФАЗОВИ ПРЕХОДИ НА ВОДАТА В ОКОЛОПОЛЯРЕН РАЙОН

Деян Гочев, Румен Недков, Мария Димитрова, Пламен Тренчев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: dejan@space.bas.bg*

Ключови думи: геомагнитна обстановка, фазови преходи на водата

Резюме: Данните (около 1000 изображения са с два вида поляризации) за периода 01.12.2014г. - 03.04.2017г. са получени от апаратурата SAR (радар със синтезирана апертура) на борда на Sentinel 1A и 1B - две спътникови платформи на ESA-проекта "Copernicus". Наблюдавани са два района от Норвегия, които включват цялостно неразтапящ се ледник на сушата, няколко фиорда с различна топография, която влияе на замръзването на океанската вода, океански район с преобладаващ цялостно паков лед. Известно е, че за радарно изображение отражателната характеристика на подстилящата повърхност се влияе от електромагнитните свойства, включващи и фазовото състояние на водата в нея. Последното, освен от климатични фактори за околополярни райони, се влияе и от геомагнитната обстановка. При липса на локални данни за метео-параметри, това изисква особено внимание при *in situ* определяне чрез радарни изображения на хидро-параметрите на средата и прогнозиране на последващата ѝ динамика. В проведеното изследване бе установено наличието на комплексни зависимости между споменатите фактори. Освен, че се потвърждават основни теоретични постановки, експерименталният материал е полезен за детайлни и специфични проучвания на фазовите преходи на преохладена вода при геомагнитна буря. Някои възможни приложения са за определяне на надеждността на радарни изображения при екстремна динамика на електро-магнитния фон, както и за динамиката на материков ледник и на океански паков лед.

Въведение

Кръговратът на водата на Земята е комплекс от явления, които са елемент от геологичната ѝ история и основен фактор за възникването и еволюиите на биоценозите. Времевата динамика на фазовите преходи на водата се определя основно от температурни промени и е значима за глобалните метеорологични процеси. Тя е ясно и силно изразена в околополярните райони, които са обект на изследването ни.

За прогнозиране на резултатите от климатични промени за около-полюсното ледово покритие се използва пресмятане на МБЛП. Има съществени различия в оценките за МБЛП и приноса му към повишаване нивото на океана.

По Sentinel-1 програмата се извършва мониторинг на океан, море, океански лед. Едно от предимствата на спътниковите радарни изображения е независимостта на качеството им от атмосферните условия и относителната неизменост на наблюдателни процес (постоянни орбитални параметри, характеристики на апаратурата и работни режими). Друга особеност е влиянието на електромагнитните характеристики (EMX) на изследваната повърхност и на средата върху разпространение на радарния сигнал. Отражението на електро-магнитна вълна (EMW) от повърхност зависи от ϵ ДП. С нарастване на честотата на EMW ДП има аномално поведение. Тя зависи от температурата и честотата на приложена EMW поради ефекти на поляризация и дисипация, които според процесите във веществото са с различна скорост и сила. Полярността на водните молекули е основен фактор за промените на комплексната част на ДП $\epsilon''(\omega)$. На ϵ'' на лед влияят:

- кристалографска ориентация;
- плътност;
- киселиност;
- температурата;
- пластичната деформация.

За сух сняг ϵ' зависи от плътността, за мокър зависи и от водния обем дял.

Промени в ДК на вода по време на фазов преход за $T \sim 0^{\circ}\text{C}$ са чувствителни спрямо ЕМХ на отразяващата среда и на средата на разпространение на отразения радарен сигнал.

Една от задачите на изследването е определяне на диапазон от Q, когато са възможни фазови преходи, т.е. замръзване или топене. Част от нея е прецизиране на продължителността на тенденциите, появата на опасни явления- пукнатини, отчупване от крайбрежен глетчер, което често винаги е потенциално опасно поради голямата денивелация и движението на глетчера.

В околополярни райони се съчетават основните оптимални за изследването ни условия: наблюдаваните обекти са с различни физико-географски особености (постоянен глетчеров лед, аблационна зона, терминус във фиорд, океански лед), т.е. има максимум от фактори, които влияят на фазов преход на водата; чести разнообразни смущения на ГМП от СА. Важно е и наличието за избраните райони на няколкогодишен набор от ежедневни радарни изображения при квази-постоянни условия на добиване.

Обект и методика на изследването

От възможните естествени явления, които смущават локалните електродинамични условия избрахме промени в ГМП в авроралния овал и полярната шапка. Причината е, че за тяхното развитие има целогодишно, устойчиво действащ, разнообразен набор от ГМА процеси. ГМП са с различни хармонични структури, поляризации, пространствено разпределение на генериране и регистрация, корелации с ММП, СВ, ГМА, и оптичските сигнатури на авроралната активност. Всички зависят от енергията на СВ, взаимодействието му със земната магнитосфера и вторичните ефекти в йоносферата, вкл. локалната проводимост на земната повърхност. Тези зависимости са неднозначни. Освен естествено генерираните смущения от СА, е логично да се предположи, че активността на ИИВЙ също ще влияе косвено чрез промени в йоносферата, и директно чрез промени на локалния фон, или чрез индуцирано излъчване от ГМБ през антенното поле. Особено интересни са случаите, когато в един и същ район (вж. по-долу за двата района в Норвегия), за постоянни метеорологични условия, когато процесът на замръзване/топене е неустойчив, в кратък интервал от време има последователно влияние на естествени и изкуствени ГМА промени.

За районите е усложнено от взаимодействието океан – базален слой на терминус.

За киша съставящите на меланжа са преохладена океанска вода, вода от разтопен лед и замръзваща (снегopodobна) маса. В нея замръзването и разтопяването са в неустойчиво равновесие. Защото Q зависи от оводнеността на средата, причини за възможни неточности в определяне на зависимостта на Q от ГМА са:

- при топене, или замръзване, се менят границите на под-района, което съчетано с неизбежното поради изменящите се орбитални параметри разминаване на отделните привързвания на радарното изображение към терена ;
- продължителността на периода когато температурите постоянно са отрицателни, но около тази на замръзване.

Допълнително за някои случаи анализът е усложнен поради наличието на променлив валеж (дъжд-суграшица-сняг), когато независимо, че за $T^{\circ}\text{C} < \sim 0^{\circ}\text{C}$ покритието на повърхността е с постоянно изменяща се оводненост.

На Фигура 1 са представени конкретните 2 района на изследване.



Фиг. 1. Райони на изследване

Разположението на района е в полярния край на авроралния овал, т.е. често е повлияван от промени в ГМА, причинени от промени в СА. Тези особености осигуряват наличие на условия за изследване чрез радарни изображения на влиянието на промени на ГМА върху фазовите преходи на водата [1]. Получената извадка за изследването е случайна. Случаите (изображения) са разпределени квазиравномерно през всяка година, включително дните с екстремална ГМА, която е зависима от параметри на СА. Съответните данни за ГМА също са общодостъпни [2, 3, 4]. За района изобилстваха (~ 50%) случаи, когато за силни магнитосферни бури минимум половината от изображението бе неизползваема. За 2015 г., понякога и за 2016 г., при висока ГМА в района, независимо, че спътникът е прелитал над него, достъпни изображения няма.

Методиката бе апробирана неколккратно за Гренландия и бе приложена за два взаимно отдалечени норвежки райони с общо време=UT+1, чиито геомагнитни координати съответстват на разположение в границата на полярната шапка за Longyearbyen (74.96° N, 127.66° E) в Svalbard (архипелаг Шпицберген), и в авроралния овал за Tromsø (67.22° N, 155.55° E) (Норвегия). Между района от Гренландия и двата от Норвегия има прилика на теренни форми- планини, фиорди, езера, заливи и открит океан. И за двата района от Норвегия има непрекъснати, общодостъпни данни от измервания на параметри на геомагнитната обстановка:

- геомагнитният индекс А е часови стойности на максималното средно отклонение в (nT) от дневната средна стойност на Н- компонентата на ЗМП [5];
- дневни магнитограми с часови стойности от минутни измервания за всяка от 21 станции от норвежката мрежа, по които може да се следят наземните магнитни смущения от развитието на магнитосферната буря [6].

Винаги има съвпадение на смущенията регистрирани от горните два случая.

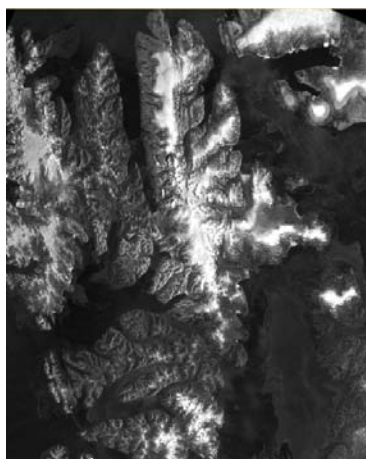
Данните за метеорологичните условия (средна и екстремни стойности за температура, вятър, валеж и т.н.) са за всеки район [7].

Радарните изображения са за периода 01.01.2015г. - 25.06.2017г., получени са от [8], за апаратурата SAR на борда на Sentinel 1A и 1B - две спътникови платформи на ESA-проекта "Copernicus" [440] и както и за Гренландия. На всяко от радарните изображения (21 за Longyearbyen и 20 за Tromsø) има по няколко (~8) подрайона според обяснението по-долу. Както и за Гренландия, и за двата района изобилстват случаи, когато при висока ГМА в района, независимо, че спътникът е прелитал над района, достъпни изображения няма. Ползвани са SAR-изображения с HH, HV, или VH- поляризация и единствените достъпни режими на работа, които за съответните условия a priori са избрани от управляващите SAR. Получената извадка за изследването за Норвегия е случайна. Изображенията са разпределени квазиравномерно през всяка година, включително дните с и без екстремална ГМА, която е зависима от параметри на СА. Според една от задачите на изследването (влияние на локални геомагнитни смущения върху интерпретацията на данни от радарни изображение в случаи на фазови преходи на вода), са подбрани случаи в групи от по 2-3-4 последователни, или изместени с ден, редуващи се дни с ниски и високи локални стойности на геомагнитния индекс А за пролетно-есенните периоди на топене, или замръзване, отделно и за екстремните сезони лято и зима. За всеки времеви период районите са подбрани според различните теренни особености, които променят условията за фазовите преходи, т.е под-районите са за: континентален ледник, океански лед, скала, киша-топящ се лед, или замръзваща вода. Допълнително са изследвани периоди от по 3-5 дни с ниска ГМА, също с висока ГМА по време на продължителна (4-8 дни) магнитосферна буря. Общото между под-извадките е постоянството на подрайоните.

Резултати и анализ

За Longyearbyen (фиг. 2) от 6 групи последователни (2-3-4) дни с ниска ($A = \sim 20$ nT) и висока ($A > \sim 100$ nT) са получени следните резултати, примери за които са представени на фиг. 3 – 6 и Табл. 1 – 4. Всички стойности на Q са в безразмерни единици, на А в nT.

За тригодишния период и за двата преходни сезона за глетчеров лед $\sim 400 < Q < \sim 900$. За повишена ГМА Q са + ~ 20%. В един случай на Q расте с намаляване на ГМА (2015 /11/10,11) причината бе, че в терена имаше денивелация ~ 1 km, поради което различните във височина метео-явления изместваха процесите на замръзване.

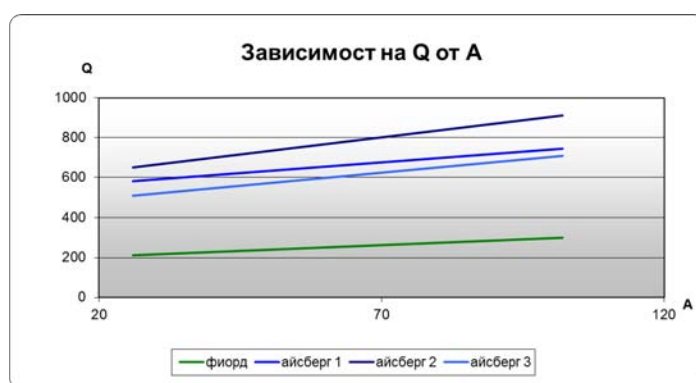


Фиг. 2. Longyearbyen

Други случаи на инверсия са, когато след проверка на ГМАс допълнителни данни за слънчевия вятър подозираме, че Q е възможно да реагира на забавяне с около час на големи флукутации на V_z и $V_{св}$, независимо, че реакцията на земното магнитно поле закъснява. По същото време (2017/03/01,02) е работила ИИВЙ в района, както и за други посочени случаи на инверсия. За тригодишния период и за двата преходни сезона за вода $30 < Q < 60$. За повишена ГМА се повишава с 25-40%. За случай с $T^{\circ}C < -10^{\circ}C$ поради преохладена вода стойностите са завишени с ~15% и влиянието на повишена ГМА по-слабо. За случаи с температура около тази на замръзване/топене диапазоните са по-големи. За този температурен интервал ($-3^{\circ}C < T^{\circ}C < 4^{\circ}C$) и охлаждащият ефект на вятъра (10 m/s понижава с $1^{\circ}C$ температурата) има инверсия в зависимостта на Q от ГМА. За тригодишния период, и за двата преходни сезона, за всяка от гореспоменатите групи дни с изменяща се ГМА, бяха анализирани отново за едни и същи места от района по 8 случая на киша във фиорди и в акватория близо до устието им. Заради чувствителността на Q от термодинамичните условия, стойностите ѝ се менят в широк диапазон (150-800).

Табл. 1. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170301

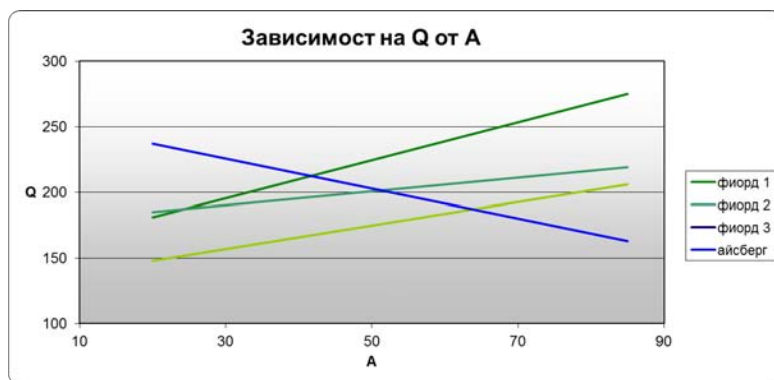
A	фиорд	айсберг 1	айсберг 2	айсберг 3	дата-UT
26	212	581	650	508	17/03/01-06
102	300	744	911	708	17/03/02-06



Фиг. 3. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170301

Табл. 2. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150318

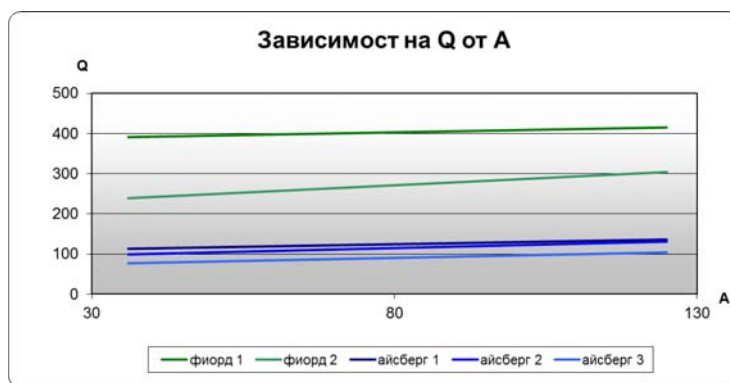
A	фиорд 1	фиорд 2	фиорд 3	айсберг	дата-UT
20	181	185	148	237	15/03/16-16
85	275	219	206	163	15/03/18-16



Фиг. 4. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150318

Табл. 3. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20160506 и 20160508

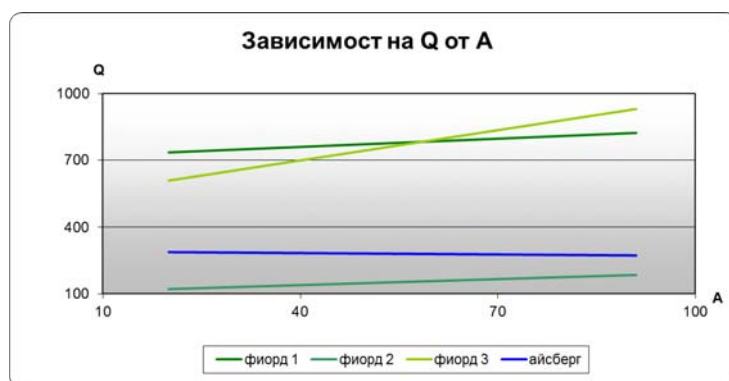
A	фиорд 1	фиорд 2	айсберг 1	айсберг 2	айсберг 3	дата-UT
36	391	239	113	99	77	16/05/06-15
125	415	304	136	131	104	16/05/08-15



Фиг. 5. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20160506 и 20160508

Табл. 4. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150319

A	фиорд 1	фиорд 2	фиорд 3	айсберг g	дата-UT
20	735	121	608	288	15/03/16-06
91	823	185	931	273	15/03/19-06

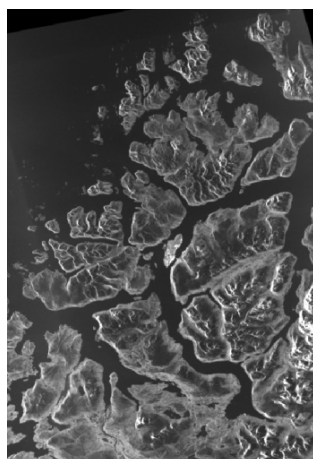


Фиг. 6. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150319

За киша на радарните и на оптически изображения е видима динамиката на постоянноменящите се съотношения на фазовите състояния на водата. Поради това за $Q < 400$ чувствителността спрямо промени в ГМА е нееднозначна. Не може категорично да се филтрира

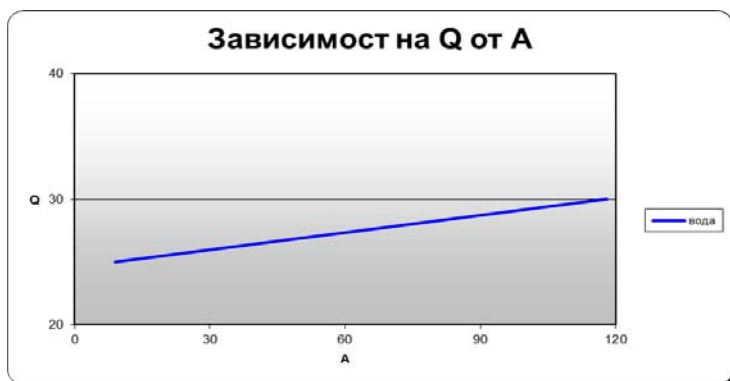
от процесите на оводняване на леда. За преобладаващи процеси на замръзване, или не топящ се лед, $Q > \sim 700$ се повишава с нарастване на ГМА. От значение е градиентът на изменение на ГМА. Най-ясно изразено нарастване на Q има при голямо нарастващ градиент на ГМА. За по-високи минимални и максимални стойности на ГМА измененията на Q са по-малки. За случаи на поредни дни с висока-ниска-висока ГМА, за последния ден има инверсия за влиянието на ГМА върху Q . Възможно обяснение споменато в глава 1 е, че в опитно установени смеси от различни водни мега-молекули със сложнаменяща се диполна структура около точката на замръзване и възможни хистерезисни явления за ледените кристали. Коментиранияте зависимости се прецизират с включване на данни за $T^{\circ}C$, вятър, валежи. За сняг оводнеността на подрайона нараства. Вятър с $v > 10$ m/s и, или с чести пориви $v > \sim 15$ m/s понижава $T^{\circ}C$, което ускорява процеса на замръзване. Анализът на данните потвърждават, че Q е чувствително към споменатите изменения. В такива случаи полезно бе сравняването на данни от видимия и радарния диапазони за айсберги и изменяща се киша във фиорди. За условията от двата последни коментара в различна степен на изменение (15%-30%) се потвърждава установената тенденция за повишаване на Q с при нарастване на ГМА. В $\sim < 20\%$ от случаите на киша е установено инверсна зависимост (Q намалява с нарастване на ГМА). За такива случаи обикновено има разлика от 2-3 дни между данните, и/или обективно неизбежни разминавания от ~ 100 m в привързването на подрайоните. Това е валидно при анализ на отделни зони, чиято площ е минимизирана до няколко пиксела (разделителната способност е 10 m). При усредняване на изрязаното изображение, влиянието на процеси на топене и смесване с преохладена вода около границите му статистическите характеристики средна стойност и стандартно отклонение се променят.

За Tromsø (фигура 7) от 18 групи последователни (2-3-4) дни с ниска ($A \sim 20$ nT) и висока ($A > \sim 100$ nT) са получени следните резултати.



Фиг. 7. Tromsø

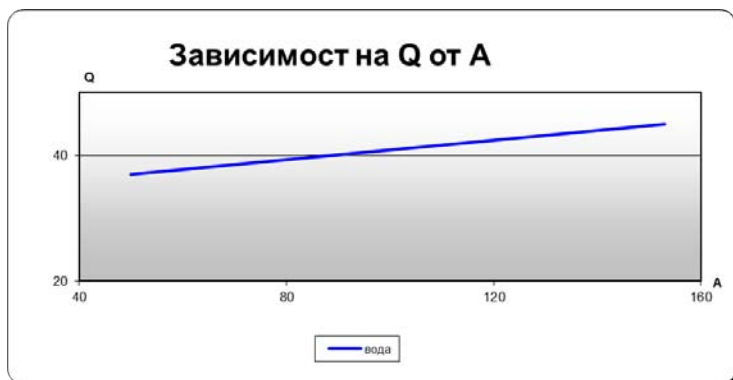
За вода $Q = \sim 40$ и замръзваща ($T^{\circ}C \sim 0^{\circ}C$) киша $Q \sim < 100$ за $A = 150-170$ nT и не се мени. За голям градиент на геомагнитни смущения ($A = 18-127$ nT, $A = 131-71$ nT) Q -вода слабо расте, а Q -киша се мени с $\sim < 100\%$ (Фиг.8-10 и Табл. 5-7). Всички стойности на Q са в безразмерни единици, на A в nT.



Фиг. 8. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170326 и 20170329

A	вода	дата-UT
50	37	15/11/12-05
153	45	15/11/10-05

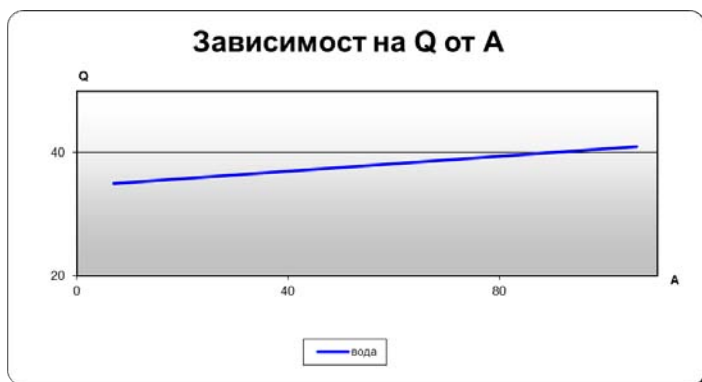
Табл. 5. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170326 и 20170329



Фиг. 9. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20151110 и 20151112

A	вода	дата-УТ
9	25	17/03/26-16
118	30	17/03/29-05

Табл. 6. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20151110 и 20151112



Фиг. 10. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20161104 и 20161105

A	вода	дата-УТ
7	35	16/11/05-05
106	41	16/11/04-05

Табл. 7. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20161104 и 20161105

За редуващи се замръзване и топене на шест групи от за айсберги в открит океан ясно се потвърждава влиянието на оводнеността на леда и промените в чувствителността на Q от A (Табл. 8). Всички стойности на Q са в безразмерни единици, на A в пТ .

Табл. 8. Зависимост на степента на отражение от ГМА за айсберги и вода

дата-УТ	Q 16/12/26-16	Q 16/12/28-16	коментар
вода	19	62	замръзване
Айсберг 1	100	144	замръзване
Айсберг 2	166	210	замръзване
Айсберг 3	153	256	замръзване
Айсберг 4	144	192	замръзване
Айсберг 5	168	154	топене
Айсберг 6	134	112	топене
A	98	27	

За $\sim 150 < Q < \sim 400$ промените в Q (A) са чувствителни от условията на конкретния случай, чиито дребни флуктуации причиняват инверсия. Подозираме, че активността на ИИВЙ-EISCAT също влияе (Табл. 9). Всички стойности на Q са в безразмерни единици, на A в пТ .

Табл. 9. За 20170415, 20170416 и 20170422, 20170423

дата-UT	17/04/15-05	17/04/16-05	17/04/22-05	17/04/23-05
Q - вода	50	49	30	34
Q – лед-суша	420/206/189	679/458/234	71/86/95/90	74/80/81/86
A	109	25	150	170
Температура (°C)	-2	-2	2	1
вятър km/h	10	15	15	13
EISCAT/експеримент	mandamaarsy	mandamaarsy	mandamaarsy	mandamaarsy

Възможно е поради близостта на Гълфстрийма и множеството фиорди, които да развиват бурните ветрове около Tromsø, да преобладават условия гранични за топене/замръзване. Това да е причина за преобладаването на случаи с променящи знака си флукутиращи изменения на голямата чувствителност на Q (A). Допълнително за изместване на извадката са и малкия брой достъпни радарни изображения.

За случаите на неизяснена инверсия на зависимостта на Q от ГМА в близост до районите са работили ИИВЙ-EISCAT.

Заклучение

С настоящото проучване показваме, че поради тези зависимости, е нужно внимателното използване на радарни изображения на обекти, чиито отражателни характеристики се влияят от геомагнитна активност (ГМА). При нееднозначна идентификация на обектите на изследване е нужно използването и на изображения в оптичния и инфрачервения диапазони. Комбинирането на различни методи и средства за дистанционни изследвания осигурява надеждност на интердисциплинарните проучвания [5]. Въпреки системния характер на интензивните, многогодишни, разнообразни глациологични проучвания, за преодоляване на частичната им все още фрагментарност, с цел изясняване на съвременните представи са полезни интердисциплинарни, допълващи проучвания в граничните области.

Литература:

1. Toward the observation of a liquid-liquid phase transition in patchy origami tetrahedra: a numerical study. The European Physical Journal E, 2016; 39 (12)
2. Daily Geomagnetic Data <http://services.swpc.noaa.gov/text/daily-geomagnetic-indices.txt> [Retrieved March 04-10, 2017]
3. The aurora and solar activity archive <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/> [Retrieved March 04-10, 2017]
4. Current Space Weather Conditions, NOAA <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/> [Retrieved March 04-10, 2017]
5. <http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/mkstackplot.cgi?nor=Norwegian+line&comp=H&day=00&month=00&year=0000&site=tro2a>
6. <http://flux.phys.uit.no/AscActIx/>
7. <https://www.wunderground.com/history/>.
8. scihub.copernicus.eu