



**ДЕЯН ГОЧЕВ ГОЧЕВ**

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ  
НА РАДАРНИ ДАННИ  
ЗА ИЗУЧАВАНЕ НА ЕСТЕСТВЕНИ И АНТРОПОГЕННИ  
ЯВЛЕНИЯ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

за присъждане на образователна и научна степен

**„ДОКТОР“**

Научна специалност  
„Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен консултант:  
проф. д-р инж. Румен Недков

София, 2017

## **СЪКРАЩЕНИЯ**

### **Съкращения на кирилица**

<b>БАИ</b>	Български Антарктически Институт
<b>ГКЛ</b>	галактични космически лъчи
<b>ГМА</b>	геомагнитна активност
<b>ГМБ</b>	геомагнитна буря
<b>ГМП</b>	геомагнитните пулсации
<b>ДВ</b>	дължина на вълната
<b>ДК</b>	диелектрична константа
<b>ДП</b>	диелектрична проницаемост
<b>ЕМВ</b>	електро-магнитна вълна
<b>ЕМХ</b>	електро-магнитни характеристики
<b>ЗМП</b>	земно магнитно поле
<b>ИИВЙ</b>	инсталации за изкуствено въздействие върху йоносферата
<b>ЛП</b>	ледниково покритие
<b>МБЛП</b>	масов баланс на ледниковото покритие
<b>ММП</b>	между-планетно магнитно поле
<b>МП</b>	магнитна проницаемост
<b>ОАЦ</b>	общата атмосферна циркулация
<b>ПВО</b>	противовъздушна отбрана
<b>ПНО</b>	промени в нивото на океана
<b>РВД</b>	ръководство на въздушно движение
<b>СА</b>	слънчева активност
<b>СВ</b>	слънчев вятър

### **Съкращения на латиница**

<b>A</b>	геомагнитен индекс
<b>AI</b>	изкуствен интелект
<b>Ap</b>	планетарен геомагнитен индекс
<b>API</b>	изкуствени плазмени йоносферни нееднородности
<b>Bz</b>	z-компонента на ММП
<b>Cb</b>	буреносен облак
<b>CIRs</b>	ко-ротиращи области
<b>CMEs</b>	коронални изригвания на плазма
<b>DARPA</b>	агенция за авангардни изследователски проекти към МО на САЩ
<b>DC</b>	постоянен ток
<b>D<sub>fr</sub></b>	фрактална размерност
<b>DEM</b>	цифров модел на релефа
<b>DP</b>	развоен прототип
<b>ELF</b>	крайно ниски честоти
<b>ERP</b>	ефективна мощност на излъчване
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>FAC's</b>	надлъжни токове
<b>FDP</b>	краен етап на развитие
<b>FIRI</b>	завършен инструмент за изследване на йоносферата
<b>G</b>	коефициент на усилване на антена
<b>GIC</b>	токове, индуцирани в Земята
<b>GIS</b>	Гренландски леден шелф
<b>GPS</b>	спътникова система за глобално позициониране
<b>INSAR</b>	SAR-интерферометрия
<b>IR</b>	инфрачервен

<b>IRI</b>	инсталация за изследване на йоносферата
<b>HF</b>	високи честоти
<b>HSS</b>	високо-скоростен поток
<b>K</b>	глобален интегрален индекс
<b>Kp</b>	3-часов планетарен геомагнитен индекс
<b>L1</b>	1-ва точка на Lagrange
<b>LIDAR</b>	Light Identification Detection And Ranging
<b>LIRI</b>	ограничен инструмент за изследване на йоносферата
<b>MIZ</b>	преходната зона ледник-океан
<b>MODIS</b>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
<b>OTHR</b>	радар за наблюдение „отвъд хоризонта“
<b>PMCs</b>	полярни мезосферни облаци
<b>Q</b>	цифрова стойност на отразения радарен сигнал
<b>Radar</b>	RAdio Detection And Ranging
<b>RF</b>	радиочестотен
<b>SAR</b>	радар със синтезирана апертура
<b>SD</b>	снежна дълбочина
<b>SEE</b>	стимулирани електромагнитни излъчвания
<b>SEP</b>	енергийни частици от Слънцето (СВ)
<b>SHF</b>	свръх високи честоти
<b>SIA</b>	опростени апроксимации за плитък лед
<b>SSA</b>	опростени апроксимации за шелф
<b>SMN</b>	Скандинавска магнитометрична мрежа
<b>SST</b>	подповърхностната океанска температура
<b>TEC</b>	тотална електронна концентрация
<b>TLE</b>	преходни светлинни явления
<b>UHF</b>	ултра високи честоти
<b>UT</b>	универсално време (по Greenwich)
<b>V<sub>св</sub></b>	скорост на СВ
<b>VH</b>	вертикално-хоризонтална поляризация
<b>VHF</b>	високи честоти
<b>VV</b>	вертикално- вертикално поляризация
<b>W</b>	число на Волф за броя слънчеви петна

## Увод

Комплексното интердисциплинарно изследване на геосферите и слънчевата система има освен познавателно и все по-разнообразно приложно значение. За това допринасят технологичните открития, които често възникват не само от чист научен интерес, но и за решаване на конкретни задачи, които са важни за съвременната цивилизация.

Поради ключовата важност на водата за климата и живота на Земята, пример е проучването на процесите на разпространение и превръщане на водата.

Натрупването на детайлни и в различни пространствени мащаби данни за определящите глобални явления и времевата им еволюция е оптимизирано чрез съчетаването на независещите от метеорологичните условия радарни аерокосмически изображения в различен обхват на електромагнитния спектър и изчислителните възможности за обработката и анализа им. Основно изискване е достоверността на данните. Тя се влияе от методиката на измерване, от използваните физически принципи за създаване на сензорните системи и т.н.. Свързаността на явления в наблюдавания обект създава важен проблем за отделяне на съществените за изследването характеристики.

## АКТУАЛНОСТ НА ТЕМАТА

През 2016 г. температурните разлики между Арктика и умерените ширини в континентите от Северното полукълбо са най-малки за целия над вековен период на достоверни климатични данни [6]. Намалването на океанския лед увеличава изпарението, влагата задържа повече топлина, което увеличава топенето, изпарението – това е една от обратните връзки. При друга положителна обратна връзка, затоплянето на Арктика увеличава в струйното течение на високи ширини амплитудата на вълните и периода им, в резултат се пренася повече влага и топлина от ниски към високи ширини. От промяната на активността на центровете на действие на ОАЦ в умерени ширини зачестяват трайни, с голям градиент, метеорологични явления (засушаване, застудяване, горещини) с мощни преходни процеси (бури). Установена е корелация между топлинните аномалии 20 – 30°C в Арктика със застудявания с подобен градиент в Сибир. По-ранният, интензивен снеговалеж причинява застудяване, което усилва южния пренос от струйното течение на студен въздух. В следващата положителна обратна връзка, през зимата усилените вълни на струйното течение променят формата на стратосферния полярен вихър, като в последните години се разпада на два. Това измества към пролетта влиянието върху струйното течение, в резултат на което полярната есен е по-топла и с по-малко лед. Коментираната каскада от положителни обратни връзки, заедно с аномалиите в активността на ENSO (El Niño-La Niña цикъла) увеличават същината на ускоряващата се глобална изменчивост на климата [7, 8]. В настоящата работа, чрез получени радарни изображения от Sentinel-1 A, B за околополярни райони в Северното полукълбо, е изследван вида на промените на цифрова стойност на отразения сигнал ( $Q$ ) от вода в различни фазови състояния.

Поради комплексния и сравнително проучвателен характер на извършената работа, в представянето има няколко особености. Теоретичната и експериментална основа за някои комбинации от условия е многовариатна и/или частично нееднозначна. Причината е в нелинейните зависимости на процеса на „топене/замръзване“ на вода от непряко свързани управляващи параметри, които определят тесни преходни области между относително устойчиви състояния от фазовото му пространство. 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.

## ЦЕЛ

Изследване влиянието на геомагнитната обстановка и някои изкуствени електромагнитни излъчвания върху диелектричната проникваемост, а оттам и върху отразения радарен сигнал от вода в различни фазови състояния и от други наземни обекти.

## ЗАДАЧИ

- Да се изясни достоверността на данните от наблюдения над Гренландия, Svalbard, Tromsø за различни сезони, природни обекти и геомагнитни условия;
- Да се използват резултатите за оценка на възможността да се използват за прогноза на ледова обстановка и съответните практически цели- корабоплаване, ледникова аблация, съпътстващи движението на ледени потоци гранични явления- лавини, скални и кални свлачища;
- Да се оцени възможността промени в локалните геомагнитни условия да влияят на фазов преход на вода „топене/замръзване“;
- Да се оцени качествено възможността чрез радарни изображения да изследваме активността на ИИВЙ;
- Да се оцени възможността евентуални резултати от активността на ИИВЙ да индуцират промени в природни електродинамични явления и в достоверността на изследването им чрез радарни изображения.

## ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

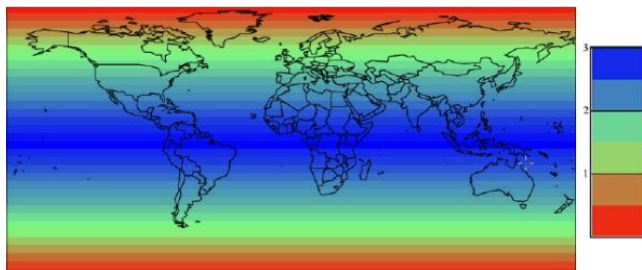
По отношение на честота на прелитане, продължителност на наблюдения, разрешителна способност, глобално, потенциално използвана, двойна поляризация, спътниковата групировка SENTINEL-1 (A и B) е по-добра от ERS-1/2 и ENVISAT ASAR. Създадена е от Thales Alenia Space-Италия като основен контрактор, Astrium-Германия е изпълнител за CSAR-оборудването съвместно с Astrium-Великобритания за част от електрониката. Спътниковата платформа PRIMA е апробирана при полетите на RADARSAT-2 и COSMO-SKYMED. С точност =  $0.004^\circ$  спътникът е ориентиран чрез слънчев, звезден, жirosкопен и геомагнитен сензори. С точност =  $0.01^\circ$  по всяка ос е 3-осно стабилизирани с 4 жirosкопа и 3 актуатора с усукващи се въжета. Два слънчеви панела захранват енергийно (5.9kW) бордна батерия. SENTINEL-1A (маса = 2300 kg) е изстрелян на 03.04.2014 г., SENTINEL-1B на 22.04.2016г [11].

Слънчево-синхронната орбита е на височина 693 km, с инклинация  $98.18^\circ$  е близка до полярна, със 175 прелитания за 12-дневен цикъл на повтораемост. SENTINEL-1A и SENTINEL-1B са със  $180^\circ$  орбитално дефазиране в една и съща орбитална равнина. Нужната за интерферометрия ориентация и времева синхронизация се постига с поддържане на орбитата в „тръба“ с радиус 50 m [12].

На всеки SENTINEL-1 спътник работи SAR в C-диапазона (5.405 GHz) в 4 добиващи мода:

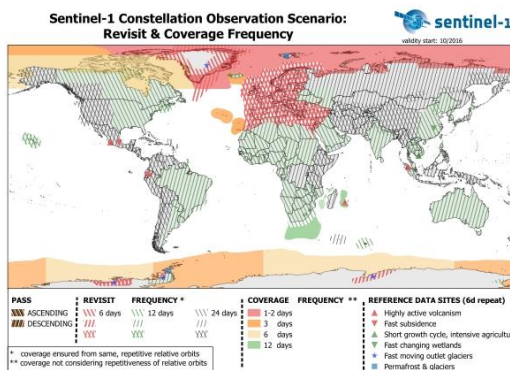
- Stripmap (SM) – с разрешаваща способност =  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ , S = 80 km
- Interferometric Wide swath (IW) – с разрешаваща способност =  $5\text{ m} \times 20\text{ m}$
- Extra-Wide swath (EW) – с разрешаваща способност =  $20\text{ m} \times 40\text{ m}$
- Wave mode (WV) – с разрешаваща способност =  $20\text{ km} \times 20\text{ km}$

Всеки SENTINEL-1 веднъж с възходящо, или низходящо прелитане през цикъла, може да заснеме интерферометрично широка (IW) ивица на захват (S) от цялата земна повърхност (Фиг. 11, 12, 13, 14).

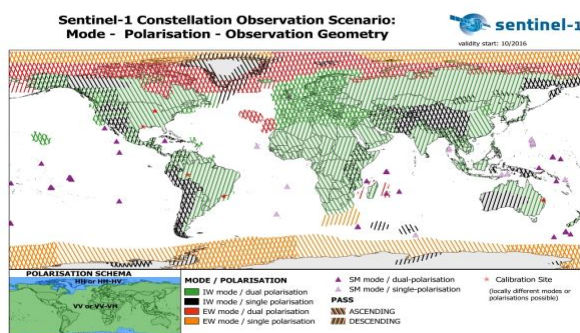


- ✓ Two satellites in a 12 day orbit
- ✓ Repeat frequency: 6 days (important for coherence)
- ✓ Revisit frequency: (asc/desc & overlap): 3 days at the equator, <1 day at high latitudes (Europe ~ 2 days)

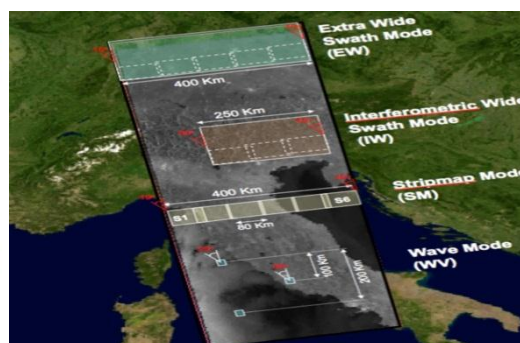
Фиг. 11. Покритие на Sentinel 1



Фиг 12. Покритие на Sentinel 1



Фиг. 13. Покритие на Sentinel 1



Фиг. 14. Покритие на Sentinel 1

Бордовата памет е 1410 Gb, която се разтоварва със скорост 520 Mbit/s към наземни станции през телеметричен канал в X-диапазона. Всеки орбитален отрязък трае ~ 25 s за SM и IW и ~ 60 s за EW и може индивидуално да се обработи на три нива [12, 13, 14, 15].

По Sentinel-1 програмата се извършва:

1. мониторинг на океан, море, океански лед, за което са нужни наблюдения в квазиреално време (~ 3 ч. интервал, понякога и 10 минутен), които да са приети до час от наземна станция за обработка;
2. тематично разнообразни изображения на сушата, които са достъпни за анализ след 24 ч.

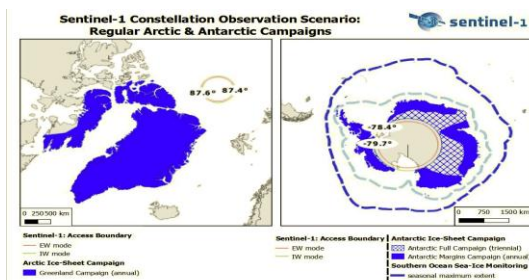
Това е възможно заради оптимизирането на наблюденията:

1. използване на SAR за 25 мин. за орбита;
2. ограничения за превключванията на X и RF диапазони и преходните времена на S-модите;
3. максимална ефективност на трансфера на данни към Земята.

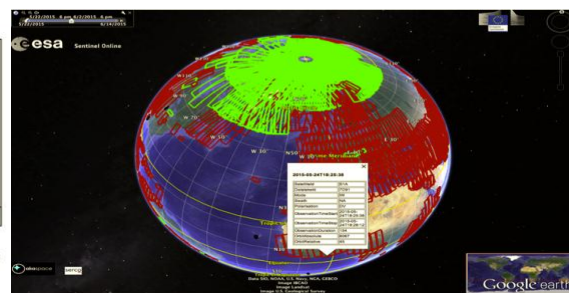
WV- модът е за непрекъснато, с нисък приоритет наблюдение на океана. IW и EW модите са за предварително определени географски области:

1. IW за сушата;
2. IW, или EW за полярни и океански [17, 18, 19].
  - SM-мод е за спешни ситуации, ако IWS-модът не е подходящ. Фиг 15
  - Използването на видовете поляризация и S е:
  - HH-HV, или HHca за полярни райони и океански лед;
  - VV-VH, или VV са другите;
  - за Балтийско море през зимата: HH-HV от Sentinel-1B по низходяща орбита, IW VV+VH от Sentinel-1A;
  - VV+VH за ветров вълнение и петролни разливи;

- EWS HH+HV за айсберги, като се използва GRD-продукт с 90 m- разрешение; EWS е с ширина 400 km, използва се често (за IWS е 250 km), независимо от посоката на орбитата;
  - EWS HH се използва за полярни наблюдения на географски ширини над 78°;
  - за Гренландия и околната акватория \* (с цел непрекъснатост на наблюдението й (\*) е без прекъсване на мода) през зимата: IW HH за 4 до 6 последователно повтарящи се цикли с 6-дневен интервал от Sentinel-1A и Sentinel-1B; подобен е режимът и за Svalbard-ледниците; за детайлно изследване на измененията на терминуса на ледниците, допълнително за избрани райони, в началото на всеки цикъл се правят по 6 IW HH наблюдения;
  - за Канадска Арктика и крайбрежието: EW HH+HV, или EW HH за океански лед, EW VV+VH за океана и езерата;
  - за Антарктида заради по-голямата площ и глобалното ѝ климатично влияние, подборът е подобен на този за Гренландия, но е по-детайлен;
  - HH е по-точна при покрит със сняг лед;
  - SM за референтни годишни наблюдения над критични райони (вулкани, ледникови аблационни зони).
- (Фиг. 12, 13, 15, 16)



Фиг. 15. Наблюдения над полярни райони



Фиг. 16. Глобален обзор на спътника

Чрез INSAR измерването на повърхностни изменение е с точност няколко милиметра за година, което е полезно за мониторинг на земетръсни и вулканични райони. Също се използва и за изследване на структурни промени на транспортни съоръжения и подземно строителств с цел минимизиране на риска и икономическа ефективност [20, 21].

Мониторингът на океана на околополярни ширини е полезен за бреговата охрана, планиране на корабоплаване, усвояването на морските ресурси, съхранението на природата [22].

В настоящата работа е показано, че работата на ИИВЙ има действие, подобно на елемент от електронна война (EW) (Фиг. 17):

1. използване на радарни наблюдения: за откриване на работещ радар;
2. моментно заглушаване;
3. косвено определяне на режима му на работа, за което се използват статистически методи и фрактална размерност на полученото интерференчно изображение [23].

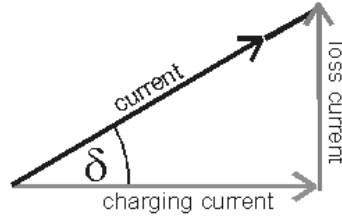
Прилагането на външно електрично поле  $\mathbf{E}$  върху диелектрик се описва с  $\mathbf{D}=\epsilon\mathbf{E}+\mathbf{P}$

$\mathbf{D}$  е векторът на полето на отместване,  $\mathbf{P}$  е векторът на поляризацияното поле,  $\epsilon$  е ДП (за вакуум  $\epsilon_0= 8.854.10^{-12}$  е универсална константа).  $\mathbf{D}$  е current,  $\mathbf{E}$  е charging current,  $\mathbf{P}$  е loss current,  $\delta$  е фазовото отместване между  $\mathbf{D}$  и  $\mathbf{E}$  [24].

Според Деbye-механизъм [27] ДК се представя в комплексен вид  $\epsilon_r^*$

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - iL_f \quad (24)$$

$\epsilon_r'$  е способността на веществото да се поляризира от външно поле, факторът на загуби  $L_f$  (представя се и с  $\epsilon''$ ) е ефективността, с която енергията на ЕМВ се конвертира в топлина,  $i = \sqrt{-1} \cdot \tan(\delta) = \text{loss current}/\text{charging current} = L_f/\epsilon_r$  (Фиг. 18).



Фиг. 18. Деbye-механизъм

Връзката между ДП на вакуум, на вещество и относителната ДП ( $\epsilon_r$ ) е  $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ , като  $\epsilon_r$  се нарича диелектрическа константа (ДК). Тя зависи от температурата и честотата на приложена ЕМВ поради ефекти на поляризация и дисипация, които според процесите във веществото са с различна скорост и сила. Електронните са бързи и слаби, йонните са бавни и силни и преобладават за честоти  $< 200$  MHz. При йонна и диполна структура, каквато има водата, за СВЧ преобладават йонната и ориентационната поляризации. На вътрешно-граничните повърхности в хетерогенни системи се образуват заряди и около честота = 0.1 MHz действа Maxwell–Wagner поляризацията, която е по-слаба от йонната.

Честотата изменя  $\epsilon_r^*$ ,  $\epsilon_r'$  и  $L_f$ , като за ниски честоти  $\epsilon_r'$  (статичната област) е  $\epsilon_s$ , за високи е  $\epsilon_\infty$ . Максимална диелектрична загуба има за критичната  $\lambda_s$

$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (\lambda_s/\lambda)^2} + \epsilon_\infty \quad (25)$$

$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} + \epsilon_\infty \quad (26)$$

През времето за релаксация ( $\tau$ ) водната молекула реагира чрез ротация, на промяната на  $E$ , или възстановява ориентацията след това

$$\tau = \frac{4\pi\eta r^3}{kT} \quad (27)$$

$L_f$  се увеличава до максимум при критични честоти

$$L_f = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)(\lambda_s/\lambda)}{1 + (\lambda_s/\lambda)^2} \quad (28)$$

$$L_f = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)(\omega\tau)}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (29)$$

Аномалиите за ДП на водата са поради различните особености на молекулите на водата, които определят и различните й твърди фази (лед). При замръзване само кислородните атоми се фиксират, а водородните остават неподредени поради високата



степен на кооперативност на водородно свързаните водни молекули, които не може да се подреждат независимо една от друга. Наличието на примеси (напр. HCl) ускорява подреждането на водородните връзки около температура на замръзване. Образуваният лед е в различни фази на подреденост. (напр. неподреден за фаза VI, подреден за фаза XV) [42]. Числено изследване на структурата на мономерни допуски съвместното съществуване на взаимно проникващи две течни фази с ниска и висока плътности, но да е достатъчно еластична за да не замръзне [43]. Честотно и температурно определяните промените на ДП на водни разтвори зависят от комплексното взаимодействие на ориентационни, междумолекулни, кинетични, от водородна (H-) свързаност, дифузионни, миграционни моди. Променят се дисперсионните амплитуди и времена за релаксация на процеса на разтваряне, поява на нова област на релаксация в ДП-честотната диаграма, промени в електролитната проводимост [40]. Формата и симетрията на ледените частици влияят на топенето, което за тях е фазов преход от първи порядък, т.е. без преходно състояние, съвместно има течна и твърда фаза. При охлаждане диполният момент и свързаността на водата нарастват, също и ДП до 87.9 (0°C), което продължава при замръзването ѝ и охлаждането на леда. Тази аномалия се определя от зависимостта на ДП от преобладаващ протонен пренос в сравнение с молекулни ротации. При високо налягане, или преохладена вода, водните молекули се раздалечават и е възможно взаимно проникване подобно на това за плътен лед, където процесът зависи от различията му от кубичен лед. Този ефект е интересен за процесите в базалната дренажна система на ледник. За сух сняг  $\epsilon_r$  зависи от плътността, за мокър  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  зависят от водния обемен дял, като  $\epsilon''$  е като на водата [44]. За лед в голям честотен диапазон  $\epsilon'$  е постоянна, а за СВЧ  $Lf$  е заради вибрации на кристалната решетка, като има ориентационна анизотропия [56 – 59]. В морския лед има големи части замръзнала солена вода, което променя  $\epsilon_r$ . За чист лед  $Lf$  е малко за  $\omega > 10$  MHz, за вода голямо, а за океански лед зависи от йонната проводимост и диполната ротация на водните молекули. В лед разтворимостта на газове и соли е много ниска [60 – 63]. На  $\epsilon''$  на лед влияят:

1. кристалографска ориентация;
2. плътност;
3. киселинност;
4. температурата;
5. пластичната деформация.

За вътрешни отражения, поради (1) и (2), комплексният коефициент на отражение не зависи от (4) и честота и фазовото за бавяне е 0. За вътрешни отражения поради (3), комплексният коефициент на отражение е обратно пропорционален на честотата и силно зависим от (4), т.е. доминират комплексните компоненти. Тези зависимости позволяват разделено изследване на всяко влияние (1-5), като температурата и честотата за ключовите параметри. В резултат се проявяват климатично обусловени преносни процеси с период  $\sim 100$  г. [68 – 70]. За палеоклиматични изследвания, освен данни от ледови кернове, е важно комбинирането им с радарни вътрешно-слоини изображения, които са поради резки промени в  $\epsilon_r$ . Общоприето е, че разположените в дълбочина на ледника слоеве са изохронни. От базалната зона (свободна от ехо) няма отражение. Причините за резките  $\epsilon_r$ -промени са споменатите изменения в плътност (повлияна от топене, дълбочинен скреж, валежен хиатус), кристалографска ориентация (повлияна от промени в химическия състав на валежи), киселинност (повлияна от вулканични изригвания, сезонни и климатични промени в йонния баланс на валежи) [71 - 82].

Друга специфика на околополярните райони е осъществяването на основната като енергетика електродинамична свързаност на Земята през околоземното космическо и

междупланетно пространства с процесите на слънчева активност. Слънцето е основен екзо- енергиен източник за климатичните процеси на Земята [83]. Хелиосферата е като гигантски асиметричен балон. За него Слънцето е основният фактор, който през 22 годишния цикъл на СА модулира галактичните космически лъчи (ГКЛ), наклона на хелиосферния токов слой, скорост и плътност на слънчевия вятър (СВ), интензитета и турбулентността на междупланетното магнитно поле (ММП). Магнитно присъединяване генерира коронални изригвания на плазма (СМЕs). Те траят от минути до няколко часа. Според скоростта си СВ от СМЕ достига земята за 2-3 дни, но понякога и за по-малко от денонощие. Вариации на СВ-параметрите (скорост, плътност, ориентация и интензитет на полето), чието взаимодействие със земната магнитосфера (присъединяване при противоположни ориентации на Z-компонентата на съответните магнитни полета) променя плазмата, електро-магнитните полета и токовете в нея. Това е геомагнитна буря (ГМБ). Резултат от ГМБ са промени в радиационните пояси, в магнитосферните токови системи, свързаността им на високи геомагнитни ширини с йоносферата чрез надлъжни по магнитните силови линии токове (FAC's), плазмени нееднородности поради нагряване на йоносферата и термосферата [89, 90].

Измененията на токовете структури на магнитосферно-йоносферните взаимодействия са класифицирани в различни индекси, които са информативни за пораздащи промените процеси. **Кр** е глобален интегрален индекс за общото изменение на ГМП. Той е квази-логаритмичен, съответстващ на амплитудата на измененията за последните 24 часа на хоризонталната компонента на ГМП за всяка измерваща го ежеминутно обсерватория за 3-часов (UT) период (Табл. 3).

**Табл. 3. Стойности и съответствия на Кр и Ар индексите**

<b>Кр =</b>	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
<b>Ар =</b>	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
<b>Кр =</b>	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
<b>Ар =</b>	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Освен посоченото разделение, е нужно за различни явления да се знае специфичния дял на телуричните токове, който преобладава с отдалечаване от „външния“ източник. Последният е силно зависим от нееднородности в проводимостта поради различни геологични породи и наличието на водни площи. Изкуствени инсталации, които създават електро-магнитни смущения също променят относителното влияние на различните компоненти на измерваното поле.

Два вида (*c* за продължителни, квази-синусоидални, *i* за нерегулярни) геомагнитни пулсации (ГМП) са ULF-вълни, по-ниски от естествените плазмнени честоти. ГМП са с различни хармонични структури, поляризации, пространствено разпределение на генериране и регистрация, корелации с ММП, СВ, ГМА, и оптичните 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.

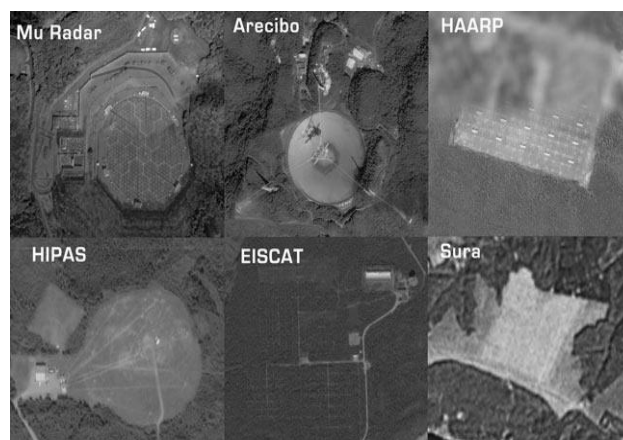
Спътниковите комуникации използват UHF (300 MHz – 3 GHz) и SHF (3 – 30 GHz) диапазони. Преминаващите през йоносферната плазма сигнали се променят поради поглъщане и сцинтилации [142 – 148]. Смущение на спътникови комуникации

от ГМБ в HF – диапазона (1 – 30 MHz) може даже да ги блокира. Първото смущение е дневно, на височина ~ 80 km е от навлизането на X-лъчите в йоносферата, което усилва йонизацията в D-слоя и съответно сигналът се поглъща, или отразява според различните честоти. Подобни ефекти в околуполюсните райони има от навлизащи по FACs протони и нощем в по-голям височинен интервал от електрони в авроралния овал [141]. При несмутена от СА йоносфера промените в сигнала от различните GPS-системи поради преминаването му през йоносферата се коригират чрез обработка от съответни числени модели. Пертурбациите (рязко увеличаване на Total Electron Count (ТЕС)) от силна ГМБ влошават на порядък точността на позициониране предимно на високи ширини. Разположена около геомагнитния екватор йоносферна токова система ежедневно след залеза на Слънцето генерира йоносферни нееднородности с размери  $\approx 10$  km, чиито сцинтилации също смущават GPS-сигнала [149].

Друг комплекс от въздействия върху радарния сигнал е от целенасоченото влияние върху околоземното космическо пространство, което променя електромагнитните характеристики на средата на разпространение и изследваната повърхност [156, 157]. С инсталациите за изкуствено въздействие върху йоносферата (ИИВЙ) чрез въздействия с електромагнитни вълни с различни параметри се изследват максимален набор от явления в околоземната космическа плазма. Някои от приложенията на изкуствено променените в нея структури и процеси са за подобряване на радио-комуникациите, вкл. подводни, за усъвършенстване на различни елементи на радио-електронната борба, противоракетната защита. Техен прототип са (OTHR), които са се използвали за увеличаване на обхвата на радарите от противоракетната защита. „Енергизирането“ на йоносферата създава слой, който отразява радиовълните, така че радарите могат да „виждат“ отвъд хоризонта.

Показани са (Фиг. 42) разположението и спътникови снимки на няколко ИИВЙ:

1. Му Радар– 1 MW мощност, Япония ( $34^{\circ}51'14.80''N$   $136^{\circ}6'19.45''E$ );
2. Arecibo обсерватория– 2 MW мощност, Пуерто Рико ( $18^{\circ}20'38.97''N$   $66^{\circ}45'9.77''W$ ) е работила през 1980-те и 1990-те, разрушена е от ураган през 1999 г.;
3. HIPAS– 70 MW мощност, Аляска ( $64^{\circ}52'21.18''N$   $146^{\circ}50'18.78''W$ );
4. Сура–190 MW мощност, Русия ( $56^{\circ}7'10.32''N$   $46^{\circ}2'4.41''E$ );
5. EISCAT– 1 GW мощност Tromsø, Норвегия ( $69^{\circ}35'1.06''N$   $19^{\circ}12'57.11''E$ );
6. HAARP-3.9 MW мощност, Аляска ( $64^{\circ}52'21.18''N$   $146^{\circ}50'18.78''W$ ).



Фиг. 42. Спътникови снимки на няколко ИИВЙ

Друго изследователско направление в настоящата работа е проучване на възможността за използването на радарни изображения на такива инсталации, с цел установяване на тяхната активност и търсене на корелации с различни геофизични явления. ИИВЙ използват апертури, чиито антени са с индивидуално регулирани параметри на излъчване, което позволява създаването на различни вълнови полета. Взаимодействието на фазите на съставлящите ги сигнали преразпределя енергията им с възможности за създаване на не-класически, безсилови потенциални полета, които се разпространяват чрез надлъжни, скаларни, гравитационни вълни, т.е. разширяват метриката на пространството, в което действат [208]. Проектираната и построена на три етапа от BAE Advanced Technologies (BAEAT) ИИВЙ High Frequency Active Auroral Research Program (HAARP) [178] от 1993 г. се управлява от U.S. Air Force, University of Alaska, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) и US Navy. Разположена е в Elias National Park до Gakona, Alaska (62°23'30"N 145°09'03"W). След крайния етап „завършен инструмент за изследване на йоносферата” (FIRI) (2007 г.) 180 антени са разположени на площ от 13 хектара в матрица от 12 реда по 15 колони с мощност на излъчване от 3.6 MW и теоретично  $G=31$  dB [180]. Всяка антена е кръстосан дипол, който може да бъде различно поляризиран за да излъчва и приема сигнал с линейна, O-мод (за над подбрана плазмена честота), X-мод (между плазмената и хибридна честота) [181]. ИИВЙ-EISCAT е създаден през 1975 г. от Финландия, Швеция, Норвегия за изследване на атмосферата и йоносферата с радарни, разположени в авроралния овал в Kiruna, Sodankylä, Tromsø, Norway и в полярната шапка в Longyearbyen. Инсталацията е собственост на University of Tromsø и се използва за изследване на динамиката на страто- и мезосферите, на йоносферни нееднородности и на резултатите от изкуственото нагряване на йоносферата [214]. ИИВЙ-Сура (1981 г.), разположен близо до град Васильсурск (56°07'39" N. 46°00'26" E), Русия, е един от първите в света изследователски център с йоносферен нагрявател. Управлява го Институт за радиофизични изследвания (ИРФИ) [225].

В същината на споменатите процеси в околополярните райони са вариациите в ежегодните фазови превръщания на големи масови обеми вода. Те са значими за взаимодействието океан-атмосфера, елементи от които са общата атмосферна циркулация и промените в ледовия баланс.

Океанските течения интензифицират топлообмена и CO<sub>2</sub>-освобождаването от дълбочинни води в океана, а ледниците на сушата са топлинен буфер, поради което времевите градиенти са по-бавни в северното полукълбо, което също усилва температурната асиметрия между двете [231]. При взаимодействието между общата атмосферна циркулация (ОАЦ) и океанската е възможно възникването от дребно-мощабни хаотични промени на крупно-мощабни структури [232]. Тектонични промени, океански течения, гравитационни и ротационни аномалии причиняват локални флуктуации ( $\sigma < \sim 1\%$  значимост) в нивото на океана, което предполага, че основните са от промени в МБЛП [233]. Установени са 30 ледникови цикъла, през които ледниковите потоци са моделирали фиордите [234]. Доказателства за свързани с последния ледников период катастрофични разтапяния на материкови ледници има за двата американски континента [236, 237]. Подобен пренос на многогодишен лед между Канада и Гренландия ясно в детайли е регистриран през 2016-2017 г. от Sentinel-1.

За прогнозиране на резултатите от климатични промени за около-полюсното ледово покритие се използва пресмятане на МБЛП. Използването на комбинирани измервания от подводници и подводни буйове (1958-2000г.), радарна и лазерна алтиметрия от самолети (напр. проект Ice Bridge) и спътници (напр. ICESat) показват  $\sim 38\%$  изтъняване и намаляване по площ на арктическото ледено покритие [239 - 244]. Понякога има изглеждащи незначителни разминавания между данните от различните

международни програми, като напр. измерените вариации са в рамките на грешката за някои алтиметрични измервания, особено по наклони около ледниковите граници. Обаче има съществени различия в оценките за МБЛП и приноса му към повишаване нивото на океана [249 - 252]. Независимо от обработката на 3-D-сигналите, на грешки влияят и локалните условия, (напр. наличието на разтопен подповърхностен фирн) [253 – 256]. Неточности на моделния геоид за гранични лед-суша/океан зони също влияе на алтиметричните оценки [257].

Според разсекретени след 2009 г. изображения (с 1 m-разделителна способност) на Арктика, от значение са: разтопената езерна ледникова площ, частта открита вода, височината на склона, топографските особености на ледниковия поток, топенето по страничните му граници, радарното разсейване [258]. Създаването на адекватни DEM е с неточности заради ниско-контрастни, силно текстурирани изображения при различна слънчева осветеност, или ширина на радарния лъч, на покрити с навят сняг, със смесена структура от лед с различна възраст, напукани ледници, особено около динамично променящата се аблационна зона и за айсберги [259 – 264]. За създаването на DEM комбинирано се използват архивни фотоснимки и интер-калибрирани гравиметрични, радарни и лидарни (от облитане с дрон, самолет, или спътник), вкл. и подобно получени батиметрични измервания. Обикновено, линейно разпространяващите се в моделите грешки нарастват с интерполирането на данните заради увеличаване на отдалечеността на измерване (напр. за нивата са от 10 до 300 m), т.е. оценките МБЛП са нереални [314]. Полезни са и модели с използване на палеоданни [265]. Понякога аероснимки показват локалната значимост на явления, която е различна от обобщената [266].

Има предположения, че на площ около 25% от Гренландия е активно влиянието на останала от тектоничната реконфигурация на суперконтинентите, от запад на изток ориентирана ~ 800 km дълга субдукционна зона, по която GIS се топи неравномерно от базален термичен поток от мантията към тънката под него литосферата. Базалната структура е формирана и от предледникови флувиални мрежи [267]. Използването само на алтиметрични оценки е неточно поради неизвестната еластичност на литосферата, която е фактор при намаляване на натоварването ѝ поради отток на разтапящия се лед. Съвременни измервания показват понижения и за някои височинни (>1200 m) части от GIS [268]. За измерване на термичния поток се правят сондажи за измерване на температурата и добиване на кернови проби. Грешки в оценките на термо-потока влияят от 5% до 15 % на преценката за плътността на леда, но до 1% за оценката на МБЛП. За пресмятане на отока от бързи ледникови потоци съществени са грешките за дебелината на ледника [269 - 273]. Дълбочинните процеси в ледниците са недостатъчно познати и за тях се съди по косвени признаци от повърхностни промени [274].

Изпарението от Арктика е съществен фактор за облакообразуването, което затруднява оптичните наблюдения на ледовото покритие. То създава каскада от обратни връзки като валежи и промени в слънчевото греене и топене на леда, което влияе на океанските течения, т.е. и на атмосферната циркулация, което има различни синергетични ефекти (напр. локално увеличено зимно ледообразуване при преобладаваща антициклонална активност) [284 – 286].

През последните две десетилетия в GIS се регистрират увеличаване на повърхностна разтопена вода. Разпределението ѝ и резултантната перколация нарастват по височина. Същото важи и за дела на отново замръзващ лед от нея във фирна. Това уплътняване на вътрешни слоеве намалява капацитета на фирна да складира разтопена вода, също понижава нивото на повърхността на GIS с няколко десетки сантиметра за година на височини 1800 – 2800 m, което обръква

алтиметричните оценки за дебелината и неколкостранно за масовия баланс на GIS [292]. Подобни грешки са и от подледниковите езера. Те имат два вида проявление на радарно изображение: като плоскодънни депресии (напр. диаметър ~2 km и дълбочина ~70 m), които са ясно 'изразени' като вода области, или в бързо движещи се ледови потоци, или притоците, им като 'активни' области с изменящи се разположение и радарни сигнатури по дълбочина в леда, т.е. и с вариации по височина на повърхността му. Използването на *spesular*-анализ дискриминира разположението им – първият вид са в горните части на ледниковия поток, вторите са в по-долните, бързи части [293, 294]. Влиянието на разтопена вода върху еволюцията на GIS се определя от морфологията на дренажната му система. С началото на топене през пролетта започва преразпределение на затворената през зимата вода от вътрешността на ледника, като ефективността на дренажната система нараства, което в зависимост от геоморфологията на ледника може да забави скоростта му [307].

Моделите за движението на ледник често използват опростени апроксимации за плитък лед (SIA), или шелф (SSA), които са невалидни за крайната зона на заземяване на ледниковия поток, където заради бързото нарастване на механичните напрежения в него, структурата му необратимо се разрушава [311]. За по-точни доверителни интервали за оценките на МБЛП е важно минимизирането на грешки в моделите. Не са тривиално измерването, или косвеното чрез обратни задачи пресмятане на стойности на параметрите за граничните (повърхностна температура, геотермален поток, коефициент на базално триене) и начални (дебелина и височина на ЛП) условия [312]. Бързо движещите се, често ускорени от стръмнината и денивелацията на улеите и каньона, материкови ледници са по-чувствителни към температурни промени [313]. Земната ерозия може да бъде косвен показател за напредването и отдръпването на ледник [275 – 277].

Основен дял в оценката на МБЛП е на освободения лед от достигащи океана ледници, т.е. важно е ранното определяне на материковата динамика на ледниковите потоци. Също от значение са сезонните и междугодишни изменения на въздушната и морска температури около края на ледника, формата на терминалуса му във фиорда. За разрушаването на ледника са съществени хидроложките особености на фиорда, които определят взаимодействието на океана с дренажната система на ледника [315 – 317]. В неустойчиви съотношения са влиянията на топенето на фирн, сублимационното уплътняване, нарушеният баланс между разрушаващ се край на ледник и разтапянето около него на океански лед, които понякога ускоряват ледниковите потоци вливащите се в основния [318]. Множеството комплексни, дългопериодични измервания на ледниковите параметри еднозначно показват, че поради множеството нелинейни процеси и обратните връзки между тях, еволюцията на всеки ледник често е уникална в детайлите, което радикално променя оценките за МБЛП [319, 320]. Разчупванията в аблационната зона зависят от базаланото ѝ налягане, дълбочинните ѝ пукнатини близо до вода, подводното топене, което подрязва терминалуса, също и от напрежения в ледения меланж (киша), като поради термичното влияние на океана най-значими са първите две причини [343, 344]. По-голямото специфично време за действие на третата причина забавя оттеглянето на ледника [345].

Има приемливо съответствие между исторически климатологични и съвременни оценки за снежната покривка на Арктика [398]. Поради неравномерното натрупване на снежна покривка върху океански лед, равномерното ѝ разтапяне разпределя топлинното и светлинно влияние на слънчевия поток. Образуванията върху леда повърхностни езера и оголен лед имат различна скорост на топене, което спомага образуването на фирнов слой [399].

Обсъжданите фактори за промени на МБЛП са важни са оценка на промените в нивото на океана (ПНО). Въпреки почти вековното наблюдение на GIS, все още е дискуссионен приносът му за ПНО, които зависят от повърхностния МБЛП (~ 60%), като и от индуцираното динамично отделяне на лед в океана, чиято оценка е неточна поради грешки в дискриминирането на пукнатини от надводна височина на блокове от ледения шелф.

Промените на МБЛП влияят на усвояването на природни ресурси. С дългосрочна перспектива са резултатни екологични направления като анализ на опасностите за крайбрежната инфраструктура поради промените на нивото на океана, необратимото нарушаване на саморегулиращите се процеси на поддържане на хомеостаз на морската биоценоза.

### **Изводи към Глава 1**

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. Някои фундаментални проучвания за измененията му през времето биха могли да са ориентир за възможни бъдещи сценарии за човешката цивилизация. Времето динамична 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. Понякога има изглеждащи незначителни разминавания между данните от различните международни програми, като напр. измерените вариации са в рамките на грешката за някои алтиметрични измервания, особено по наклони около ледниковите граници. Обаче 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.

Отражението на електро-магнитна вълна (ЕМВ) от повърхност зависи от ДП. С нарастване на честотата на ЕМВ ДП има аномално поведение. Тя зависи от температурата и честотата на приложена ЕМВ 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  $\varepsilon''(\omega)$ . С Kramers-Kronig интегрално уравнение се определя зависимостта между  $\varepsilon''$  и  $\varepsilon'$ , за което е нужно да се знае ДП за „всички“ честоти и граничните за „всички“ поддиапазони, което е нереално, поради което има различни апроксимации. За определяне на  $L_f$  в конкретни случаи се използват  $d\varepsilon'/d\omega$  и/или  $d\varepsilon'/dT^\circ$ .

Честотно и температурно определяните промените на ДП на водни разтвори зависят от комплексното взаимодействие на ориентационни, междумолекулни, кинетични, от водородна свързаност, дифузионни, миграционни моди. Променят се дисперсионните амплитуди и времена за релаксация на процеса на разтваряне, поява на нова област на релаксация в ДП-честотната диаграма, промени в електролитната проводимост. Аномалиите за ДП на водата са поради различните особености на молекулите на водата, които определят и различните ѝ твърди фази (лед). При замръзване само кислородните атоми се фиксират, а водородните остават неподредени поради високата степен на кооперативност на водородно свързаните водни молекули, които не може да се подреждат независимо една от друга. Наличието на примеси (напр. HCl) ускорява подреждането на водородните връзки околотемпература на замръзване. Образуваният лед е в различни фази на подреденост. (напр. неподреден за фаза VI, подреден за фаза XV). При високо налягане, или преохладена вода, водните молекули се раздалечават и е възможно взаимно проникване подобно на това за плътен лед,

където процесът зависи от различията му от кубичен лед. Този ефект е интересен за процесите в базалната дренажна система на ледник. В морския лед има големи части замръзнала солена вода, което променя  $\epsilon_r$ . За чист лед  $L_f$  е малко за  $\omega > 10$  MHz, за вода голямо, а за океански лед зависи от йонната проводимост и диполната ротация на водните молекули. В лед разтворимостта на газове и соли е много ниска.

На  $\epsilon''$  на лед влияят:

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

За сух сняг  $\epsilon_r$  зависи от плътността, за мокър  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  зависят от водния обемен дял, като  $\epsilon''$  е като на водата.

ГМП са с различни хармонични структури, поляризации, пространствено разпределение на генериране и регистрация, корелации с ММП, СВ, ГМА, и оптичните 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 недвоязни. Съществуват и други явления, които евентуално влияят на разпространението на радарния сигнал.

Друг комплекс от въздействия върху радарния сигнал е от целенасоченото влияние чрез ИИВЙ върху околземното космическо пространство, което променя електромагнитните характеристики на средата на разпространение и изследваната повърхност.

## **ГЛАВА 2. ОБЕКТ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

Основните етапи на методиката са следните:

- За изследването на обектите е избрано да бъдат използвани данни от спътниците Sentinel-1 A и B по програмата Copernicus на ESA. Тези данни, както е описано в глава 1, са особено подходящи, за изследване на околополярни акватории.
- Данните са георерефирани и класифицирани според разпознаваемост на изследваните обекти, според статистическите характеристики на изображенията, ГМА, и др.
- Събрани са метеорологични и геомагнитни наземни данни за изследваните райони.
- Извършена е съпоставка между наземните и сателитни данни с цел обрисване на цялостна картина на характеристиките на обектите.
- На тази основа е създадена база данни.

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 (ЕМХ) на изследваната повърхност и на средата върху разпространение на радарния сигнал. От споменатите в глава 1 възможни 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. Комплексното им влияние върху достоверността на радарното изображение е възможно чрез различни механизми:

- нерегулярните суб-херцови пулсации индуцират квазипостоянни токове, които променят реактивността на ДК спрямо радарен сигнал;
- Алфвенови вълни, генерирани в областта на надлъжните токове в авроралния овал преминават през фрагментарно смущаваната по време на суббурия йоносфера към земната повърхност;
- енергийни компоненти на СВ генерират ЕМВ при вторична радиация в атмосферата и йонизация в приземния слой, което променя отразяването на радарния сигнал;
- разпространението на радарния сигнал в йоносферата по време на суббурия е смущаван от генерираните в авроралния овал ЕМВ;
- промените в натрупването на заряди по повърхността на спътника генерират ЕМВ, които също смущават радарния сигнал.

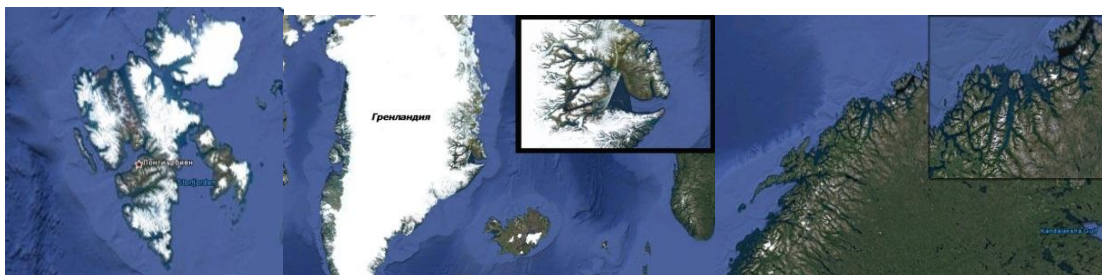
Една от задачите на изследването е определяне на диапазон от  $Q$ , когато са възможни фазови преходи, т.е. замръзване или топене. Част от нея е прецизиране на продължителността на тенденциите, появата на опасни явления- пукнатини, отчупване от крайбрежен глетчер, което често винаги е потенциално опасно поради голямата денivelация и движението на глетчера. За киша съставлящите на меланжа са преохладена океанска вода, вода от разтопен лед и замръзваща (снегоподобна) 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  $T^{\circ}C < \sim 0^{\circ}C$  покритието на повърхността е с постоянно изменяща се оводненост.

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).

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. На фиг. 67 са представени конкретните 3 района на изследване.



Фиг. 67. Райони на изследване

От сензора SAR на спътниковите платформи Sentinel-1 A и B по програмата Copernicus на ESA използваме радарни изображения за периода 01.01.2015г.-01.04.2017г. на три инсталации за изкуствено въздействие на йоносферата (ИИВЙ). Две от тях (ИИВЙ-EISCAT край Tromsø и ИИВЙ-НААРР край Gakona) са в северния аврорален овал, а ИИВЙ-Сура (край Нижни Новгород) е на висока умерена ширина. Описанието и на трите ИИВЙ е дадено в глава 1. За всяка ИИВЙ са известни възможната генерирана максимална мощност и пространственото разпределение на излъчвателите. За лаконично обявената научна задача за всяка ИИВЙ е нужно импулсно излъчване на нелинейно модулирани електромагнитни сигнали с различна диаграма на насоченост. Във връзка с изследването на работата на RF-нагревателите им са напомнянията за някои техни особености:

- има прилики между антенните полета на ИИВЙ-Сура и ИИВЙ-EISCAT;
- теренните особености са идентични (равни, без растителност), т.е. вероятностите да причиняват смущения в отразения сигнал са минимални;
- данните за активността на ИИВЙ-НААРР са минимални, повърхностни, противоречиви;
- за ИИВЙ-Сура липсват;
- за всяка от тях, до антенното поле има идентично празно поле, което използвахме за калибровка;
- за всяка от ИИВЙ работата на съответните UHF и VHF антени не бе изследвана поради съмнителната възможност да бъде наблюдавана (различни диапазони, кратки времена на работа, малка площ).

За всяка ИИВЙ данните са разпределени в 3 под-групи според различимостта на границите на обекта от съответното изображение (ясна-я, размита-р, с- слято с околния терен). За различните поляризации съотношенията между статистическите характеристики за всяка подгрупа (я,с,р) изображения и на трите ИИВЙ са с малки различия според инсталацията и квазипостоянни за всяка, освен в амплитудите. Това означава, че SAR-изображенията са информативни за поляризацията на отделните излъчватели по време на работата на ИИВЙ. Антенното поле на ИИВЙ-EISCAT има северна и южна части, южната (1-ва зона) на всички изображения се слива с околната среда. Много малко вероятно е винаги да е активна, т.е. допускаме, че тя не е активна, поради което се използва за контролен район. Чрез сравняване с ясни изображения за всяка ИИВЙ, изображенията на контролните й полета бяха определени като слети с околния терен. Това означава, че я-изображение има за работеща ИИВЙ. За всяко изображение и за съответните контролни райони има запис в базата данни с информация за:

- 2-D графика на Q- разпределението в него;
- статистически характеристики: хистограма, коефициент на вариация, средна стойност, средно отклонение;
- 2-D графика на dBc- разпределението в него;
- Dfr- разпределението в него;
- особеностите на конкретната ГМА.

Както бе споменато, глобалните данни за ГМА са предимно ориентировъчни за локалната обстановка. За различните случаи на кратки (3 часови), внезапни (при ниска ГМА), силни ( $K_p > 4$ ) смущения допълнително бяха анализирани данни за СВ и ММП, вид на СА. Поради спецификата на провежданите с ИИВЙ съвместни експерименти, в над 50% от тези случаи (особено за ИИВЙ-EISCAT и ИИВЙ-НААРР) ИИВЙ работеха, или след ден се включваха. За изследвана на всяка ИИВЙ бяха направени различни предположения. Причините са неизвестните им режими на работа (циклограми,

модуляции, честотен диапазон обхващащ този на SAR), нелинейни ефекти от индуцирано излъчване поради ГМА, също и след изключване на активна работа, йонизация на приземния атмосферен слой над антенното поле. За ИИВЙ-НААРР има единични случаи на с-изображения, за които 2-D Q-разпределението и хистограмата са подобни на тези за ясни изображения. За ИИВЙ-EISCAT и ИИВЙ-Сура повечето я-изображения са със слабо размити граници и намален контраст. Възможно е съответните интерференчни картини да са поради особеностите на работните режими в моментите на прелитане на спътника. За р-изображения изследваните стойности на Q са между тези за я- и с-изображения. Възможни обяснения са от:

- вторични ефекти от превключване на режими на работа;
- траещите до няколко часа преходни режими след изключване на ИИВЙ;
- споменатите по-горе нелинейни ефекти.

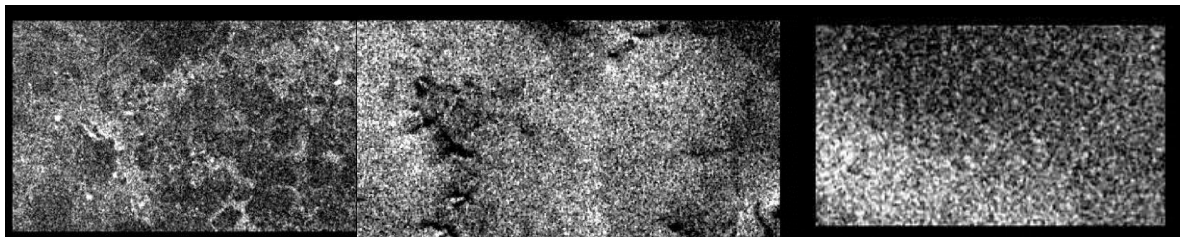
### ГЛАВА 3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

#### 3.1. Гренландия и Норвегия

Причина за различното според ГМА поведение на отношението  $R=HH/HV$  и на  $Q$  е различната диелектрична проницаемост  $\epsilon_r$  на средата, което е коментирано в глава 1.

Поради по-добрата информативност за използване на изображения с HH и HV поляризация на достъпните за различни случаи данни, за Гренландия изследвахме влиянието на ГМА върху R. Получените резултати за R са полезни в случаи на повишена ГМА за подбор на изображение със съответна поляризация. Ако е нужна проверка при липсващи данни със съответната поляризация за зимни и летни периоди, коментираният по-горе резултат за R би могло да се ползват за предимно ориентир. За есен и пролет за преценка и прогноз те не са еднозначни.

Устойчиво еднозначни са случаите за Q (в условни единици за пиксел, съответстващ на площ=100m<sup>2</sup>) на радарните изображения на районите покрити с глетчеров лед и паков лед през зимата и за вода през лятото (фиг. 68 – 70).



Фиг. 68. Участък с океански лед

Фиг. 69. Участък с глетчеров лед през лятото

Фиг. 70. Участък с глетчеров лед през зимата

В случайно избрани райони от акваторията между тях бяха проверявани и потвърдени за паков лед.

Q за вода е ~ 40 през лятото и ~80 през зимата (за свободна от лед област), което съответства на зависимостта на диелектричната проницаемост на морска вода от температурата. И за двата сезона особено извън фиорди, за периоди на силни геомагнитни смущения ( $K_p > 4$ ) Q нараства с ~ 10%, но поради нормалното разположение на преобладаващи стойности (~ 40) в средата на диапазона (30-70), това не влияе на надеждността на данните. Тези резултати са устойчиви, независимо, че районът е в областта на конвергенция и дивергенция на топли и студени течения.

Възможно е наблюдаваните вариации да са причинени и от влиянието на промени в границите на споменатата област, съответно влияние на вода с различна температура, чиято разлика е  $\sim 10^{\circ}\text{C}$  градуса.

За лед  $Q > 800$ , но според състоянието му  $Q$  се мени от  $1200 < Q < 2200$  (плътен, с  $T < -10^{\circ}\text{C}$ ) за глетчеров лед, като за паков  $Q = \sim 1200$ . За висока ГМА  $Q$ -лед се увеличава с до 50% за глетчер и с  $\sim 25\%$  за паков.  $Q$  е с по-високи стойности за глетчеров лед. Това е нормално поради забавено топене от топлемостта на дебелия  $\sim \text{km}$  леден слой. Друг забавящ топенето фактор, т.е. поддържащ ниска оводнеността и съответното високи стойности на  $Q$ , е отдалечеността от околни скали, т.е. изолирано влияние на нагриването им, което би причинило топене на околния лед. С очевидното изключение за зимните месеци тези фактори са значими. Потвърждение на този анализ е изменението на  $Q$  за лед във фиорди- по скални улеи и във водата. В преходните сезони (пролет, есен) за променящата с ледена и хидро-обстановка и съответно причинените наводнения, мини-цунами, свлачища, са важни големите и бързи вариации на  $Q$ .

За киша (смес от фазови преходи с различни посоки) при повишена ГМА ( $K_p > 5$ )  $Q$  на изображенията не дават еднозначно достоверна представа за състоянието на средата. Това нарушава точността на преценката за образуване/топене на паков лед и характеристиките му, също и за прогноза на отделяне на айсберги. Ако няма *in situ* метеорологични измервания, е нужно комбиниране със спътникови IR и оптични данни (вкл. за температурата), което често е невъзможно поради локалните метеоусловия (облаци, мъгла), т.е. – липса на видимост. От значение за изследване на зависимостта на  $Q$  от ГМА са границите на интервалите за ниска и висока ГМА. За  $Q > 400$  резултатите са устойчиво еднозначни (висока ГМА повишава с до 20%  $Q$ ) за  $\sim 70\%$  от случаите. През лятото, за разтопен на повърхността лед, поради повишената температура на въздуха, споменатите вариации на стойности на  $Q$  заради повишена ГМА, също могат да са ненадеждни за състоянието на фазовите преходи. Ако липсват оптични данни, резултатът може да е невярна оценка за параметрите на водния отток, също и на образуването на кратко живуща растителност [435].

Предполагаме, че споменатите особености и частичното им преодоляване ще помагат за намаляване на неточности в анализ на други резултати и изследвания.

И за двата района от Норвегия има непрекъснати, общодостъпни данни от измервания на параметри на геомагнитната обстановка:

1/ геомагнитният индекс  $A$  е часови стойности на максималното средно отклонение в (nT) от дневната средна стойност на  $H$ - компонентата на ГМП [436];

2/ 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 [437].

Винаги има съвпадение на смущенията регистрирани от 1/ и 2/.

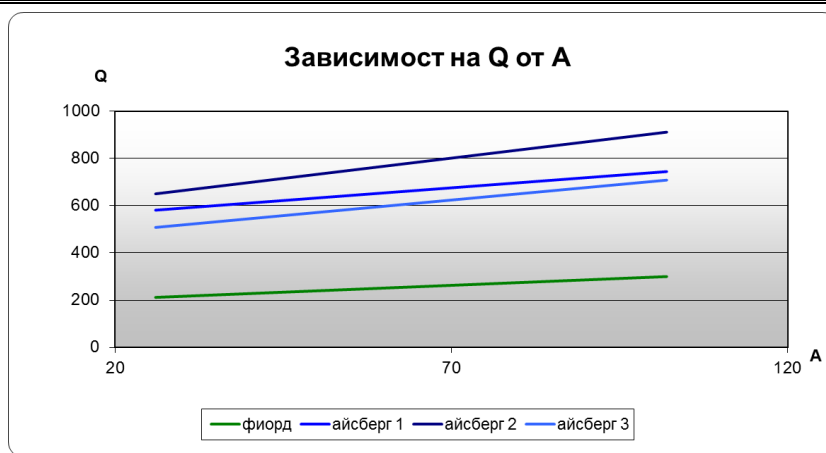
Данните за метеорологичните условия (средна и екстремни стойности за температура, вятър, валеж и т.н.) са за всеки район [438].

За Longyearbyen (фиг. 71) от 6 групи последователни (2-3-4) дни с ниска ( $A = \sim 20$ ) и висока ( $A > \sim 100$  nT) са получени следните резултати, примери за които са представени на фиг. 72 – 75 и табл. 10 – 13. За тригодишния период и за двата преходни сезона за глетчеров лед  $\sim 400 < Q < \sim 900$ . За повишена ГМА  $Q$  са  $\pm \sim 20\%$ . В един случай на  $Q$  расте с намаляване на ГМА (2015 /11/10,11) причината бе, че в терена имаше денивелация  $\sim 1$  km, поради което различните във височина метео-явления изместваха процесите на замръзване. Други случаи на инверсия са, когато след проверка на ГМА с допълнителни данни за слънчевия вятър подозираме, че  $Q$  е възможно да реагира на

забавяне с около час на големи флуктуации 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, анализирахме 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) (фиг. 72-75 и табл. 10-13). Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици, на  $A$  в nT.

**Табл. 10. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170301**

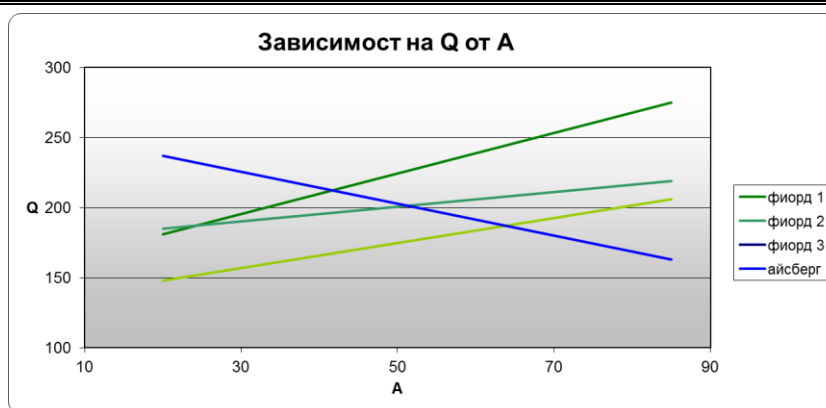
А	ФИОРД	АЙСБЕРГ1	АЙСБЕРГ2	АЙСБЕРГ 3	ДАТА-УТ
26	212	581	650	508	17/03/01-06
102	300	744	911	708	17/03/02-06



**Фиг. 72. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170301**

**Табл. 11. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150318**

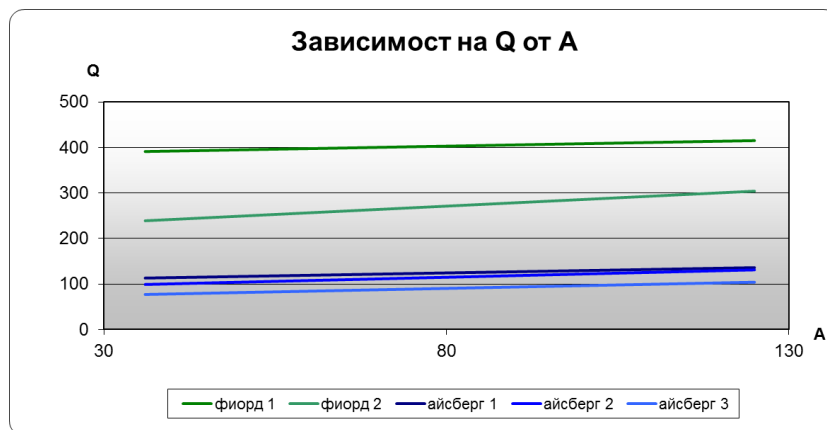
А	ФИОРД 1	ФИОРД 2	ФИОРД 3	АЙСБЕРГ	ДАТА-УТ
20	181	185	148	237	15/03/16-16
85	275	219	206	163	15/03/18-16



**Фиг. 73. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150318**

Табл. 12. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20160506 и 20160508

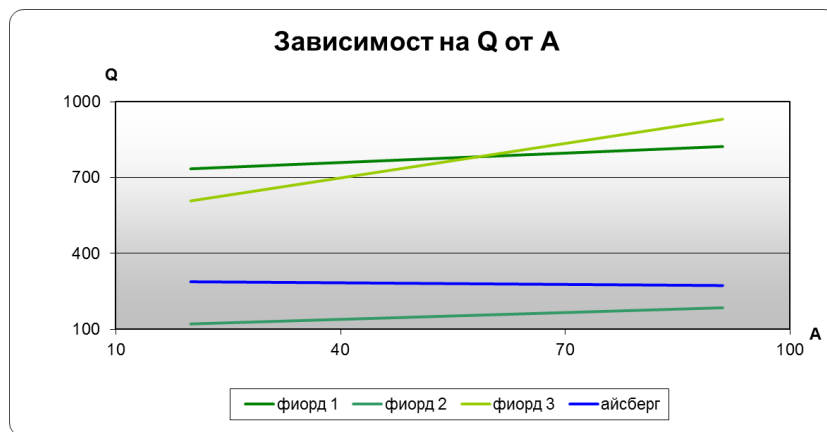
А	ФИОРД 1	ФИОРД 2	АЙСБЕРГ 1	АЙСБЕРГ 2	АЙСБЕРГ 3	ДАТА-УТ
36	391	239	113	99	77	16/05/06-15
125	415	304	136	131	104	16/05/08-15



Фиг. 74. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20160506 и 20160508

Табл. 13. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20150316 и 20150319

А	ФИОРД 1	ФИОРД 2	ФИОРД 3	АЙСБЕРГ G	ДАТА-УТ
20	735	121	608	288	15/03/16-06
91	823	185	931	273	15/03/19-06



Фиг. 75. 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 помагаше сравняването на данни от видимия и радарния диапазони за айсберги и изменяща се киша във фиорди.

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

За вода  $Q \sim 40$  и замръзваща ( $T^{\circ}C \sim 0^{\circ}C$ ) киша  $Q < 100$  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.77-79 и табл. 14-16). Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици, на  $A$  в nT.

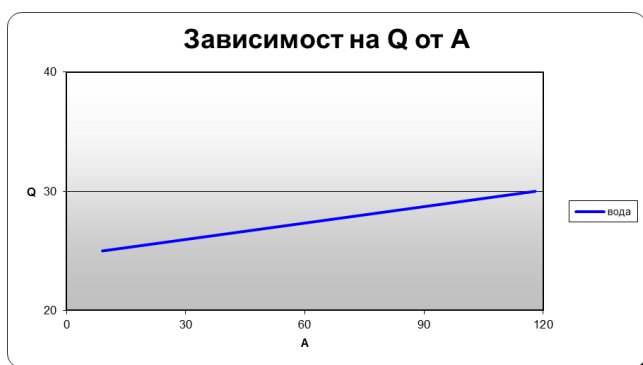


Табл. 14. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170326 и 20170329

A	ВОДА	ДАТА-УТ
9	25	17/03/26-16
118	30	17/03/29-05

Фиг. 77. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20170326 и 20170329

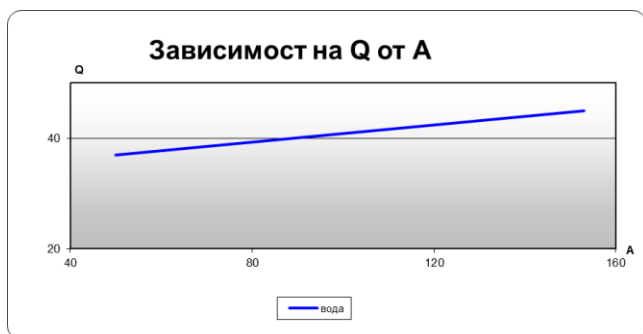


Табл. 15. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20151110 и 20151112

A	ВОДА	ДАТА-УТ
50	37	15/11/12-05
153	45	15/11/10-05

Фиг. 78. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20151110 и 20151112

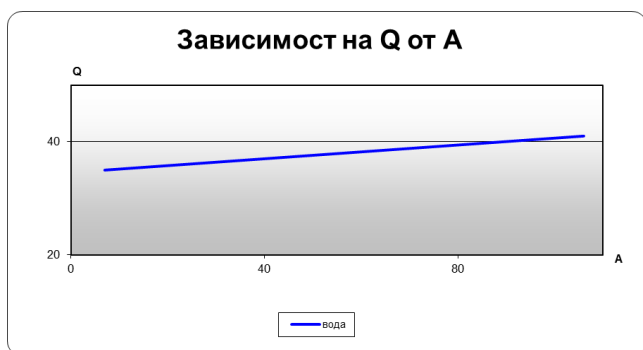


Табл. 16. Зависимост на степента на отражение от ГМА за 20161104 и 20161105

A	ВОДА	ДАТА-УТ
7	35	16/11/05-05
106	41	16/11/04-05

Фиг. 79. 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. 17). Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици, на  $A$  в  $nT$ .

**Табл. 17** 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
<b>A</b>	98	27	

За  $\sim 150 < Q < \sim 400$  промените в  $Q(A)$  са чувствителни от условията на конкретния случай, чиито дребни флукуации причиняват инверсия. Активността на EISCAT-ИИВЙ също влияе (Табл. 18). За случаите на неизяснена инверсия на зависимостта на  $Q$  от ГМА в близост до районите са работили EISCAT-ИИВЙ. Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици, на  $A$  в  $nT$ .

**Табл. 18** за 20170415, 20170416 и 20170422, 20170423

дата-УТ	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
<b>A</b>	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 флукуиращи изменения на голямата чувствителност на  $Q(A)$ . Допълнително за изместване на извадката са и малкия брой достъпни радарни изображения.

### 3.1.2. Изводи

Една от задачите е определяне на диапазон от  $Q$ , когато са възможни фазови преходи, т.е. замръзване или топене. Решаването ѝ дава възможност за 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. И за двата района резултатите са подобни в своята надеждност и нестабилности.



Категорично установихме няколко извода. Устойчиво еднозначни са случаите за  $Q$  (в условни единици пиксел съответстващ на площ от  $100\text{m}^2$ ) на радарните изображения на районите покрити с глетчеров лед и паков лед през зимата и за вода през лятото. За лед  $Q > 800$ , но според състоянието му  $Q$  се мени от  $1200 < Q < 2200$  (плътен, с  $T < -10^\circ\text{C}$ ) за глетчеров лед, като за паков  $Q \approx 1200$ . За висока ГМА  $Q$ -лед се увеличава с до 50% за глетчер и с  $\sim 25\%$  за паков.  $Q$  е с по-високи стойности за глетчеров лед. Това е нормално поради забавено топене от топлемостта на дебелия  $\sim \text{km}$  леден слой. Друг забавящ топенето фактор, т.е. поддържащ ниска оводнеността и съответното високи стойности на  $Q$ , е отдалечеността от околни скали, т.е. изолирано влияние на нагряването им, което би причинило топене на околния лед. Определянето на температурен диапазон от  $Q$  за лед е възможно за зимата при  $T < -10^\circ\text{C}$ . Но от споменатото по-горе е ясно, че в крайбрежен район за  $Q < \sim 1000$  не може да се определи вида на леда. В случайно избрани райони от акваторията между тях бяха проверявани и потвърдени за паков лед. С очевидното изключение на зимните месеци тези фактори са значими. Потвърждение на този анализ е изменението на  $Q$  за лед във фиорди- по скални улеи и във водата. В преходните сезони (пролет, есен) за променящата с ледена и хидро-обстановка и съответно причинените наводнения, мини-цунами, свлачища, е важно да се знаят с максимална точност и достоверност големите и бързи вариации на  $Q$ .

$Q$  за вода е  $\sim 40$  през лятото и  $\sim 80$  през зимата (за свободна от лед област), което съответства на зависимостта на диелектричната проницаемост на морска вода от температурата). И за двата сезона особено извън фиорди, за периоди на силни (за Гренландия  $K_r > 4$ , за норвежкия район  $A > 100 \text{ nT}$ ) геомагнитни смущения нараства с  $\sim 10\%$ , но поради нормалното разположение на преобладаващи стойности ( $Q \sim 40$ ) в средата на диапазона (30-70), това не влияе на надеждността на данните. Тези резултати са устойчиви, независимо, че районът е в областта на конвергенция и дивергенция на топли и студени течения. Възможно е наблюдаваните вариации да са причинени и от влиянието на промени в границите на споменатата област, съответно влияние на вода с различна температура, чиято разлика е  $\sim 10^\circ\text{C}$  градуса.

За киша съставящите сместа 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 подрайона, което съчетано с неизбежното поради изменящите се орбитални параметри разминаване на отделните привързвания на радарното изображение към терена;
- продължителността на периода когато температурите  $T^\circ\text{C}$  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  $T^\circ\text{C} < -0^\circ\text{C}$  покритието на повърхността е с постоянно изменяща се оводненост.

В кратък период на бързи и качествено важни промени (фазов преход и ГМА), прогнозата може да бъде невярна. Поради нелинейностите в тези комплексни явления, понякога това е необратим каскаден процес към устойчива фаза (лед, или вода), понякога за няколко дни до седмици е възможно хаотично редуване на замръзване-топене-замръзване в променящи размерите си части от района. Коментираните нееднозначности са валидни в различна степен и вид за райони с размери  $> n.10 \text{ km}$ , в чиято „мозаечна“ структура състоянието на водата в отделните области се мени в рамките на час. Многопараметричността на физическите процеси- геофизични и на

регистрация е причина задачата да е аналитично нерешима [441]. Поради това в периодите (начало на май-начало до ~15 юни) и (края на октомври-началото на ноември), особено за полу-затворени акватории (фиорди), прогнозът за фазовите преходи на водата трябва да се прецизира със спътникови, самолетни и евентуални *in situ* (от плаващи буйове и/или глациоложки екипи) измервания и наблюдения. За прецизиране на прогноз за топене или замръзване, ако има силни геомагнитни смущения, поради коментираната чувствителност на фазовите преходи на вода, резултатното разположение на изменящите се стойности за **Q** в припокриващи се, поради влиянието на метеорологични и физико-географски фактори, интервали, дава възможност само за откриване и ориентиране в тенденциите на процесите на замръзване и топене. Опитът на преценяващия е решаващ в коментираните преходни комплексни процеси.

Друго направление за проучване е връзката между промените в ГМА процесите на кристализация/топене на леда.

Коментираните наблюдения са за тенденции и не трябва да се ползват за търсене на представителни коефициенти за аналитични зависимости за процеси, които са нелинейни и валидни в тесни интервали от стойности на температура, ГМА, метео-условия.

### **3.2. Изследване на ИИВЙ активност чрез SAR-изображения**

Една от особеностите на радарните изображения е влиянието на електромагнитните характеристики на изследваната повърхност и на средата върху разпространение на сигнала. Това може да се използва за изследване на активността на антени полета, включително и от вторичното влияние на геомагнитната активност. Направени са различни предположения при изследване на всяка ИИВЙ заради неизвестните им режими на работа (циклограми, модулации, честотен диапазон обхващащ този на SAR) и нелинейни ефекти на индуцирано излъчване в антенното поле поради ГМА. Глобалните данни за ГМА са предимно ориентировъчни за локалната обстановка. За различните случаи на кратки (3 часови), внезапни (при ниска ГМА), силни ( $K_p > 4$ ) смущения допълнително бяха анализирани данни за СВ и ММП, СА. В над 50% от тези случаи (особено за ИИВЙ-НААРР и ИИВЙ-EISCAT) ИИВЙ работеха, или след ден се включваха. Стойностите на статистическите характеристики за всяка ИИВЙ са различни, заради различията в антенните полета и режимите на работа. И за 3-те ИИВЙ има странности за някои случаи на с-изображения. Особено за ИИВЙ-НААРР е възможно те да са резултат на активна работа в режим на работа (условно обозначен Н), който интерферирайки със SAR скрива на изображението образа на ИИВЙ.

За всяко изображение от фигурите има запис в базата данни с информация за:

- активност на ИИВЙ (yes-работи, no-не работи);
- за ИИВЙ-EISCAT (experiment) име на провеждан експеримент;
- UT на момента на сваляне на SAR-изображението;
- използвана поляризация на SAR-лъча;
- 2-D графика на **Q**- разпределението в него;
- статистически характеристики:
  - хистограма;
  - коефициент на вариация ( $C_v\%$ );
  - средна стойност (mean);
  - стандартно отклонение ( $S$ );
  - минимална стойност на **Q** (min);
  - максимална стойност на **Q** (max).

- особеностите на конкретната ГМА (за деня по осем 3-часови стойности на  $K_p$  за средни ( $m1$ ) и високи ( $h1$ ) ширини);
- $D_{fr}$ ;
- $D_{bc}$ ;
- 2-D графика на  $D_{bc}$ - разпределението.

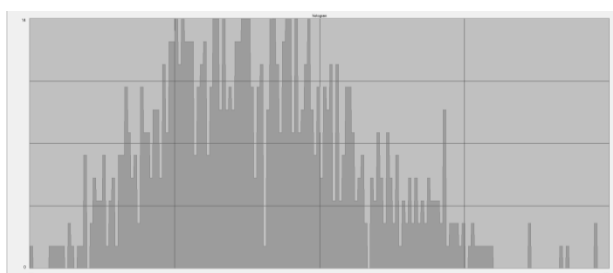
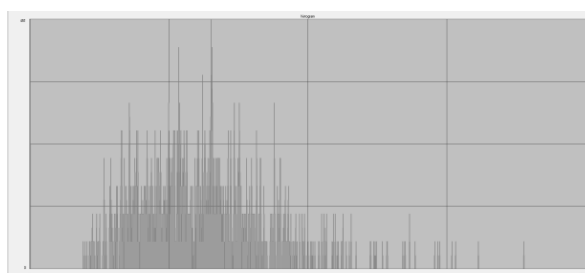
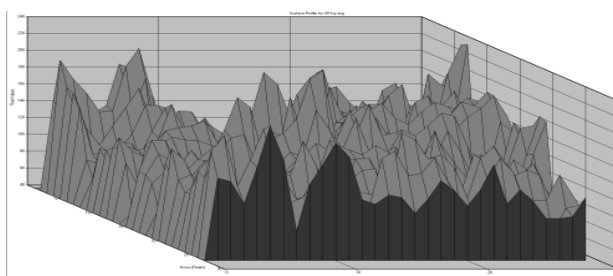
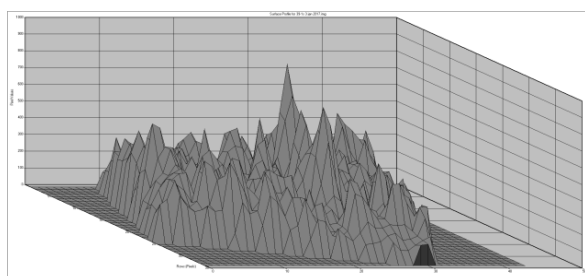
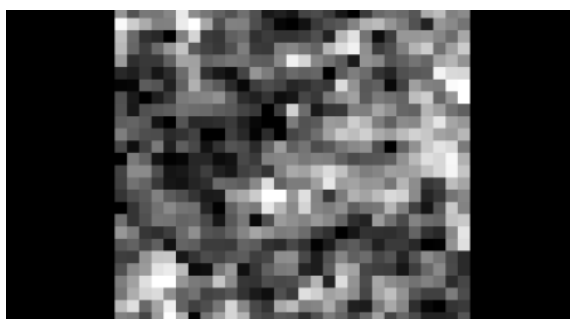
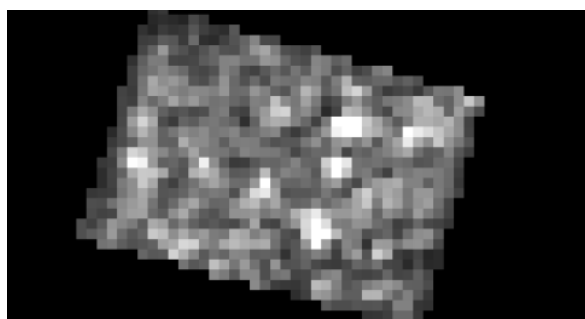
В Табл. 22 както за всяка една ИИВЙ и за съответните контролни райони (cntrl) за различни дати, за ниска и висока ГМА ( $K_p$ ) и VН-поляризация са представени сателитно изображение, 2-D графика на  $Q$ - разпределението в него, хистограмата му и споменатите по-горе характеристики, съответно при работеща (yes) и „не“ работеща (no) инсталация. Споменато е и близката по време работа на друга/и ИИВЙ.

**Табл. 22.**

20170103/ $K_p$  1 1 2 6 5 4 3 2/VH/yes

HAARP

cntrl

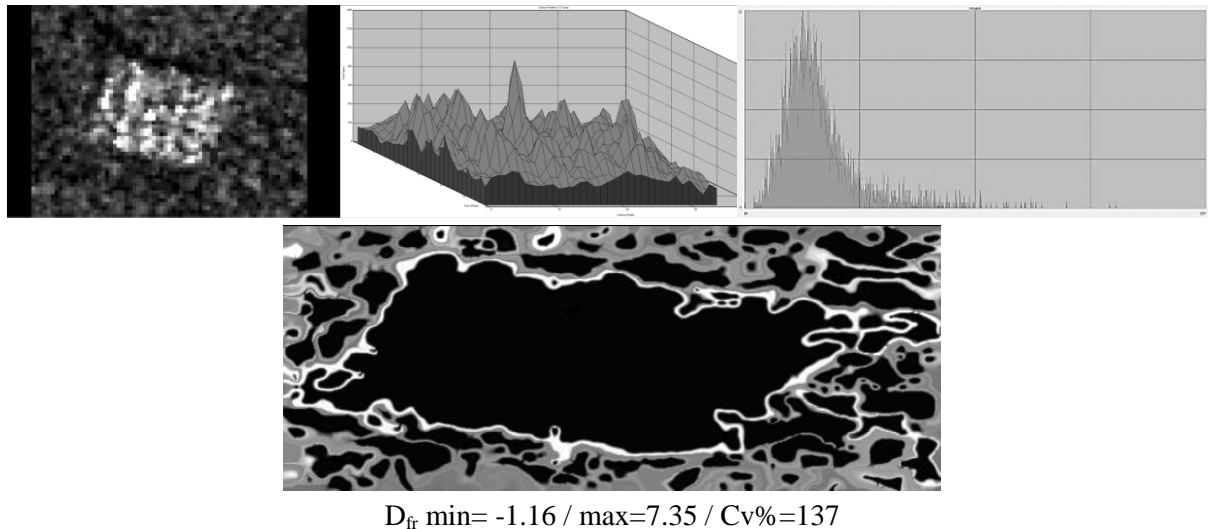


Q min	Q max	Q mean	S	Cv%	Q min	Q max	Q mean	S	Cv%
0	904	184	162	192	54	237	126	31	25

### 3.2.1. ИИВЙ-НААРР

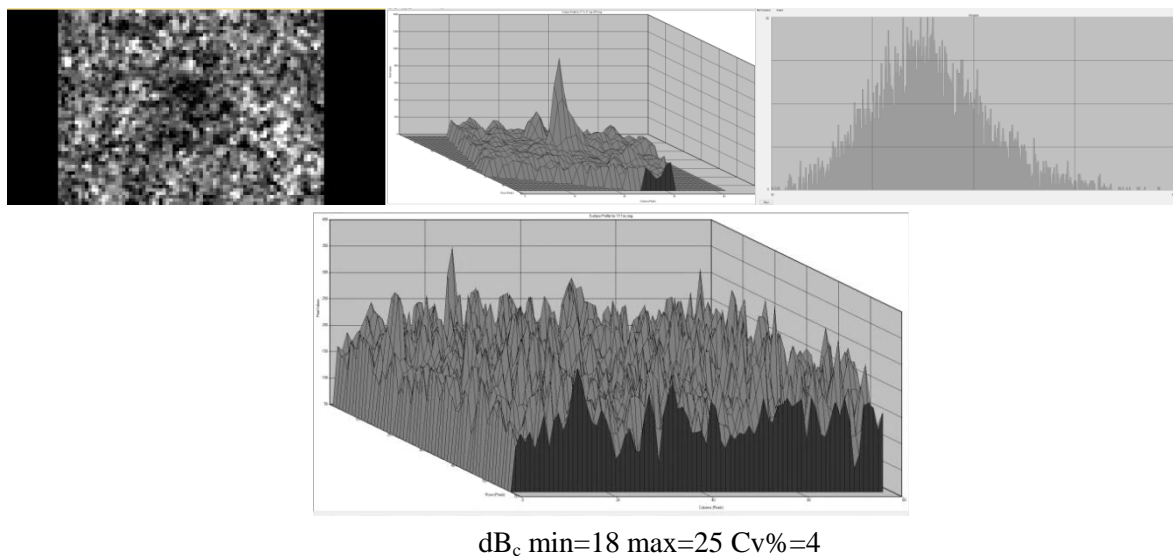
За работеща (yes) ИИВЙ-НААРР (табл. 29) освен изображението на антенното поле, информативни са  $D_{fr}$ , 2-D графика на  $Q$ - разпределението и хистограмата за него, както и за изображението за  $d_{bc}$ . Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици. Статистическият критерий за неднородност  $Cv\% > 30$  е изпълнен за всички случаи.

Максималните амплитуди са по-големи за висока ГМА. За някои случаи са възможни предположения за връзка между изкуствено генерирани смущения и промени в ГМА (1.6.2015, 03.06.2016). Примери са изображенията на Фиг.82:



**Фиг. 82. 03.01.2017 /  $C_v\% = 51$  /  $K_p = 1\ 1\ 2\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2$  / VH**

Има случаи на ИИВЙ-активност (големи  $\text{max}$  и  $C_v\%$ ) при ниска ГМА, т.е. различаване на изкуствено генерирани йоносферни ефекти при спокоен естествен фон. Различията на  $Q$  разпределенията за различните поляризации (VV, VH) илюстрират нуждата да се използват и двете поляризации. За ИИВЙ-НААРП има единични случаи на с-изображения, за които 2-D  $Q$ -разпределенията и хистограмите са подобни на тези за ясни изображения. За „не“работеща (no) ИИВЙ-НААРП информативни са 2-D графика на  $Q$ - разпределението в антенното поле (табл. 30). Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици. Пример за скрита активност (Н-режим на работа), или индуцирано вторично поле от висока ГМА, е изображението от 27.7.2015, UT=16. По същото време работи ИИВЙ-EISCAT, т.е. възможно е да са резултат от индуцирани от експеримента ефекти (Фиг. 86).



**Фиг. 86. 27.7.2015 /  $C_v\% = 26$  /  $K_p = 5\ 6\ 5\ 5\ 6\ 5$  / VH**

Има особености в изображенията за висока ГМА. За с/р изображения максималните амплитуди ( $\max$ ) са по-големи,  $D_{fr}$  и  $Cv\%$  са по-малки.

Възможно обяснение за генерирана пикова кратка ГМА е неизвестна активност като режим на работа, ако  $\max$  е само в единични антени. Освен стойностите им, за  $D_{fr}$  асиметричността им по модул и  $Cv\%$  са информативни за активност.

За работеща ИИВЙ-Сура особеностите са подобни като тези на ИИВЙ-EISCAT. За показаните случаи степента на нееднородност е с  $<20\%$  по-малка. Възможна причина е приликата в антенните полета заради частично сходни концепции за ИИВЙ.

Поради вероятно провеждани експерименти на 25.5.2015, 17.8.2015 и 28.9.2016 активността на станцията променя стойността на отразения сигнал. Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици. Това се разбира от различните  $Cv\%$  и  $\max$  за изображението в двете поляризации. Подобни ефекти са наблюдавани за ИИВЙ-НААРР и ИИВЙ-EISCAT.

#### 3.2.4. Изводи

Независимо от вида (я,с,р) на изображението, максималните и минимални стойност на пикселите ( $Q$ ) са слабо чувствителни към промени в ГМА и може слабо да нарастват/намалават с увеличаването ѝ. Всички стойности на  $Q$  са в безразмерни единици.

Хистограмите на изображенията за всяка ИИВЙ имат подобни характерни особености според вида му (я,с,р) и ГМА. Детайлното анализиране на  $Q$  във всяко изображение понякога показва двумерно разпределение, което е подобно на интерференция на кратни хармоники, която е различна за всяка ИИВЙ.

В случаите на съвместна работа, ИИВЙ-Сура преобладаващо закъснява с максимум два дни спрямо ИИВЙ-EISCAT. В  $\sim 30\%$  от случаите на я-изображенията за ИИВЙ-НААРР и ИИВЙ-EISCAT има съвпадение по време.

За ИИВЙ-Сура в  $\sim 30\%$  случаите на я-изображенията с ниска ( $Kp=1$ ) глобална ГМА има внезапни локални за средни ширини 3-6 часови пикове  $Kp>5$ , за които възможно обяснение е активността на ИИВЙ-Сура. В периоди (3-7 дни) със слаби нестабилности в параметри на SA, за ИИВЙ-Сура и ИИВЙ-EISCAT в  $\sim 40\%$  случаите на я-изображения има съответствие и внезапни локални за високи ширини 3-6-9 часови пикове  $Kp>5-6$ .

Резултатите на това пилотно изследване еднозначно показват, че SAR радарни изображения могат да се използват за изследване на:

- необявена активност на ИИВЙ;
- евентуално корелиращи с нея геофизични ефекти, особено за обявени експерименти (от ИИВЙ-EISCAT) и с обратна дата по публикувани резултати [444];
- евентуално корелиращи с ИИВЙ-активност аномални явления [445];
- сравняване на резки промени в сигнатурите с предишни, дълговременни редове от геофизични наблюдения;
- режимите на работа и евентуалните взаимодействия между SAR и ИИВЙ (напр. за EW).

### 3.3. Изводи към Глава 3

Съзнателното въздържане от категоричност в оценките е обусловено от споменатата специфика на проблемите, за която ще е вредно прибързани и пристрастни обяснения.

1. На високи ширини повишена ГМА влияе на яркостта на радарно изображение на лед, вода, водно-леден меланж по различен начин през различните сезони:
  - Устойчиво еднозначни е влиянието на ГМА върху яркостта на радарните изображения на районите покрити с глетчеров и паков лед през зимата и за вода през лятото;
  - За един и същ район, за постоянни метеорологични и геомагнитни условия, в кратък интервал от време влиянието на работеща в район ИИВЙ причинява инверсия на зависимостта  $Q(A)$ .
2. При повишена ГМА, използването на SAR-изображения за изследване на процеси във водно-леден меланж около температури на замръзване/топене, температурата трябва да е за 2-3 дни устойчива или с голям градиент, метеорологичната обстановка трябва да е без валеж и вятър. Резултатите от анализа на SAR-изображенията трябва да се използват само като допълнителен, поясняващ ориентир при наличие на други измервания в конкретна среда.
3. Комплексното влияние на ГМА върху достоверността на радарното изображение е възможно чрез различни механизми:
  - нерегулярните суб-херцови пулсации индуцират квазипостоянни токове, които променят реактивността на ДК спрямо радарен сигнал;
  - Алфвенови вълни, генерирани в областта на надлъжните токове в авроралния овал преминават през фрагментарно смущаваната по време на суббурия йоносфера към земната повърхност;
  - енергийни компоненти на СВ генерират ЕМВ при вторична радиация в атмосферата и йонизация в приземния слой, което променя отразяването на радарния сигнал;
  - разпространението на радарния сигнал в йоносферата по време на суббурия е смущаван от генерираните в авроралния овал ЕМВ;
  - промените в натрупването на заряди по повърхността на спътника генерират ЕМВ, които също смущават радарния сигнал.

За откриване на ИИВЙ-активност трябва да се използват SAR –изображения в две поляризации.

За по-детайлно изследване се използват представени в  $dB_c$  изображения и в двете поляризации и съответните характеристики на 2-D изображението на разпределението на  $D_{fr}$  за съответното SAR- изображение на антенното поле на ИИВЙ. Изображението на всяка ИИВЙ има индивидуален характерен коефициент на вариация ( $Cv\%$ ), определен от разпределението на излъчвателите и хомогеността на района. Той се определя от активността на обекта, независим е от сезона и слабо се влияе от ГМА.

Сравнявайки съответния вид (я,р,с) изображения за всяка ИИВЙ установихме:

1. свързаност между активностите им и СА и ГМА;
2. вторични ефекти от:
  - превключане на режими на работа;
  - преходни режими след изключване на ИИВЙ;
  - йонизация на приземния атмосферен слой над антенното поле;
  - индуцирано излъчване от ГМА в антенното поле.

Резултатите от верификацията и валидацията на предложената методика за определяне на режима на работа на всяка ИИВЙ, извършена и чрез пресмятане на отразения сигнал в dB<sub>c</sub> я потвърждават.

**Табл. 35. Статистика на избраните изображения**

БРОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ	ПЕРИОД	ОБЕКТ
298	1.11.2014 – 1.4.2017	Гренландия
21	1.1.2015 - 25.6.2017	Longyearbyen
20	1.1.2015 - 25.6.2017	Tromsø
43 ясни – 30%, размити – 30%, слети – 40%	1.1.2015 – 1.4.2017	ИИВЙ-НААРР
70 ясни – 30%, размити – 30%, слети – 40%	1.1.2015 – 1.4.2017	ИИВЙ-EISCAT
63 ясни – 30%, размити – 30%, слети – 40%	1.1.2015 – 1.4.2017	ИИВЙ-Сура

За всяко изображение има запис в базата данни с информация за:

- активност на ИИВЙ (yes-работи , по-не работи);
- за ИИВЙ-EISCAT (experiment) име на провеждан експеримент;
- UT на момента на сваляне на SAR-изображението;
- използвана поляризация на SAR-лъча;
- 2-D графика на **Q**- разпределението в него;
- статистическите му характеристики:
  - хистограма;
  - коефициент на вариация (Cv%);
  - средна стойност (mean);
  - стандартно отклонение (S);
  - минимална стойност на **Q** (min);
  - максимална стойност на **Q** (max).
- особеностите на конкретната ГМА (за деня по осем 3-часови стойности на Kp за средни (m l) и високи (h l) ширини);
- 2-D графика на D<sub>fr</sub>- разпределението
- статистическите му характеристики:
  - хистограма;
  - коефициент на вариация (Cv%);
  - средна стойност (mean);
  - стандартно отклонение (S);
  - минимална стойност на **Q** (min);
  - максимална стойност на **Q** (max).
- 2-D графика на D<sub>bc</sub>- разпределението
- статистическите му характеристики:
  - хистограма;
  - коефициент на вариация (Cv%);
  - средна стойност (mean);
  - стандартно отклонение (S);
  - минимална стойност на **Q** (min);
  - максимална стойност на **Q** (max).

Броят избрани и обработени изображения за всеки обект е описан в Табл. 35.

Приложение на изводите може да се развие и прецизира чрез квазиедновременно комбиниране на радарни изображения с локални глациологични и геомагнитни измервания и наблюдения на геофизични явления провеждани в станцията на БАИ в Антарктида.

За България евентуалното влияние на ГМА върху Q в случаи на топене/замръзване ще е много слабо. Интерес представлява бъдещо изследване на споменатите взаимозависимости при променяща се естествена електро-магнитна активност, генерирана от гръмотевични бури, както и от влияние на ПВО и РВД радари върху наблюдение на лавиниопасен район Черни връх на Витоша.

Резултатите, макар и ясни и скромно полезни са на ранен етап. Това, заедно със скептицизмът към опити за аналитично моделиране според ограничени набор данни, което винаги е с крайно ограничена валидност и приложимост, е причина за неутралното изброяване на бъдещите възможности за приложения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В последните години за интердисциплинарни изследвания се формират гносеологични бариери поради концептуалния и времеви разрыв между експерименталната работа и математическото ѝ осмисляне [446]. Пример за това е значението на малките параметри за екстремни явления в хаотичните системи като климата [447].

Полезна парадигма е разглеждането на комплексни природни явления, като елементи от мрежова структура на фазово пространство на състоянията, в което разпространяващите се смущения формират нееднородности (често със скрити взаимозависимости) в преходните области, определени от енергийни бариери [448, 449]. Съществуването на енергийни бариери за преходи между неравновесни процеси открива нова насока за преосмисляне на представите за явления в случаи на смес от процеси с различни мащаби [450]. Ако се допусне, че по-близките във фазовото пространство събития са по-свързани, по-отдалечените се дефинират като външен шум, чието елиминиране е възможно чрез мултифрактален флукуационен анализ [451].

Съзнателното въздържане от категоричност в оценките е обусловено от споменатата специфика на проблемите, за която ще е вредно прибързани и пристрастни обяснения. Резултатите, макар и ясни и скромно полезни са на ранен етап. Това, заедно със скептицизмът към опити за аналитичномоделиране според ограничени набор данни, което винаги е с крайно ограничена валидност и приложимост, е причина за неутралното изброяване на бъдещите възможности за приложения.



## ПРИНОСИ

1. Установена е слаба зависимост (промяна в рамките на 10 до 30%) на отражението на SAR сигнала от различни обекти на високи ширини от геомагнитната обстановка:
  - Устойчиво еднозначно е влиянието на ГМА върху отражението, регистрирано чрез радарните изображения на районите, покрити с глетчеров и паков лед (стойностите на  $Q$  са между 800 и 2500 условни единици) през зимата и за вода през лятото (стойностите на  $Q$  са между 40 и 80 условни единици);
  - За  $Q > 400$  резултатите са устойчиво еднозначни (висока ГМА повишава с до 20%  $Q$ ) за  $\sim 70\%$  от случаите;
  - При повишена ГМА (според използвания индекс -  $K_p > 5$  или  $A > 80 \text{ nT}$ ) използването на SAR-изображения за изследване на процеси във водно-леден меланж около температури на замръзване/топене трябва да е за кратко (2-3 дни) устойчива или с големи градиенти на температура (повече от  $10^0 \text{ C}$  за ден) и на ГМА (промяна в  $A$  по-голяма от 70 nT), валеж и вятър (скорост над 10 m/s).
2. Установено е, че за регистриране на ИИВЙ-активност може да се използват SAR-изображения в две поляризации. За по-детайлно изследване се използват представени в  $\text{dB}_c$  изображения и в двете поляризации и съответните характеристики на 2-D изображението на разпределението на  $D_{fr}$  за съответното SAR-изображение на антенното поле на ИИВЙ.
3. Установено е, че с помощта на радарни на ИИВЙ изображения може да бъде установена липса на работа или ефекти от разлики в режимите на работа като:
  - превключане на режими на работа;
  - преходни процеси след изключване на ИИВЙ;
  - йонизация на приземния атмосферен слой над антенното поле;
  - индуцирано излъчване от ГМА в антенното поле.
4. Установено е, че за един и същ район, за постоянни метеорологични и геомагнитни условия, в кратък интервал от време (няколко часа) влиянието на работеща ИИВЙ в района може да причини инверсия на зависимостта  $Q(A)$ .
5. Създадени са бази данни с информация за параметрите на обектите от съответните две направления на изследването.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Изследването е реализирано с използване на базата, създадена по Проект BG161PO003-1.2.04-0053 “Информационен комплекс за аерокосмически мониторинг на околната среда“ (ИКАМОС), финансиран по Оперативна програма „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика“ 2007-2013, съфинансирана от Европейския фонд за регионално развитие и от националния бюджет на Република България.

### **ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

1. D. Gotchev, M. Dimitrova, R. Nedkov, A STUDY OF THE GEOMAGNETIC ACTIVITY INFLUENCE ON RADAR IMAGES FROM THE CIRCUMPOLAR REGION, PROCEEDINGS of FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ECOLOGICAL ENGINEERING and ENVIRONMENT PROTECTION (EEEP'2017) June 5-7, 2017, Plovdiv, 214
2. D. Gotchev, M. Dimitrova, R. Nedkov, THE USE OF RADAR IMAGES IN A RESEARCH OF THE WORK OF INSTALLATIONS FOR ARTIFICIAL INFLUENCE ON THE GEOSPHERE PROCEEDINGS of FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ECOLOGICAL ENGINEERING and ENVIRONMENT PROTECTION (EEEP'2017) June 5-7, 2017, Plovdiv, 220
3. M. Dimitrova, D. Gochev, P. Trenchev, SEASONAL CHANGES IN RADAR DATA FOR OBJECTS WITH DIFFERENT FROZEN STAGE, OBTAINED FROM SENTINEL 1 DATA, PROCEEDINGS of FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ECOLOGICAL ENGINEERING and ENVIRONMENT PROTECTION (EEEP'2017), June 5-7, 2017, Plovdiv, 201
4. Gotchev D., Dimitrova M., Nedkov R. (2016). A STUDY OF THE CONNECTION BETWEEN ELECTROMAGNETIC SMOG, AEROSOL POLLUTION AND CLOUD FORMATION. ЕКОЛОГИЯ И ЗДРАВЕ 2016, Дом на науката и техниката - Пловдив, 9-10 юни 2016
5. Димитрова М., Велчева Б., Гочев Д. (2014). ВЛИЯНИЕ НА КОСМИЧЕСКОТО ВРЕМЕ ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА ТЕЛЕКОМИНИКАЦИОННИТЕ УСЛУГИ. SES 2014, Tenth Anniversary Scientific Conference with International Participation, SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 12-14 November 2014, Sofia, Bulgaria, pp. 106, ISSN 1313-3888

## ЛИТЕРАТУРА

6. <http://www.arctic.noaa.gov/Report-Card>
7. <https://www.scientificamerican.com/article/the-arctic-is-getting-crazy/>
8. Feedback loops between record Arctic temperatures and the jet stream may be altering our weather, *Scientific American*, 1, 2017, interview with prof. Jennifer Francis, Rutgers University
11. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/satellite-description>
12. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/revisit-and-coverage>
13. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario>
14. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/naming-conventions>
15. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/data-formats/safe-specification>
17. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel1/observationscenario/acquisition-segments>
18. [https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685154/Sentinel\\_High\\_Level\\_Operations\\_Plan](https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685154/Sentinel_High_Level_Operations_Plan)
19. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario/archive>
20. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/land-monitoring>
21. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/emergency-management>
22. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/maritime-monitoring>
23. <http://www.radartutorial.eu/16.eccm/ja01.en.html>
24. <https://www.britannica.com/science/permittivity>
40. J. Barthel and R. Buchner, High frequency permittivity and its use in the investigation of solution properties *Pure & Appl. Chem.*, Vol. 63, No. 10, pp. 1473-1482, 1991
42. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4967167>
43. Simone Ciarella, Oleg Gang, Francesco Sciortino. Toward the observation of a liquid-liquid phase transition in patchy origami tetrahedra: a numerical study. *The European Physical Journal E*, 2016; 39 (12) DOI: 10.1140/epje/i2016-16131-5
44. M. Tiuri ; A. Sihvola ; E. Nyfors ; M. Hallikaiken, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*
60. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JB076i020p04922/abstract>
61. Pieter Hoekstra, Patrick Cappillino, Dielectric properties of sea and sodium chloride ice at UHF and microwave frequencies, *JGR*, Volume 76, Issue 20, 10 July 1971 Pages 4922–4931
62. <https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/32469/1/P185-212.pdf>
63. Fujita, Shuji; Matsuoka, Takeshi; Ishida, Toshihiro; Matsuoka, Kenichi; Mae, Shinji, A summary of the complex dielectric permittivity of ice in the megahertz range and its applications for radar sounding of polar ice sheets, *Proc. International Symposium on Physics of Ice Core Records*. Shikotsukohan, Hokkaido, Japan, September 14-17, 1998.
68. Bogorodskiy, v. v. , Bentley, e.R. and Gudmandsen, P.E. *Radioglaciology* (D. Reidel, Norwell, Mass, 1985).
69. Bailey, J.T, Evans, S. and Robin, G. de Q. *Nature* 204, 420-421 (1964).
70. Robin, G. de Q., Evans, S. and Bailey, J.T *Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A* 265, 437-505 (1969).
71. Clough, J.W. *J Glaciol.* 18, 3-14 (1977).

72. Ackley, S.F. and Keliher, TE. *J Geophys. Res.* 84,5675-5680 (1979).
73. Millar, DH.M. *Nature* 292, 441-443 (1981).
74. Robin, G. de Q. and Millar, DH.M. *Ann. Glaciol.* 3,290-294 (1982).
75. Moore, J.e. *Ann. Glaciol.* 11, 95-99 (1988).
76. Fujita, S. and Mae, S. *Ann. Glaciol.* 20, 80-86 (1994).
77. Miners, W.D., et al. *J Phys. Chem. B* 101,6201-6204 (1997).
78. Fujita, S., et al. *J Geophys. Res.*, 104(B6), 13013-13024 (1999).
79. Evans, S. *J Glaciol.* 5, 773-792 (1965).
80. Ray, P.S. *Appl. Opt.* 11, 1836-1844 (1972).
81. Glen, J.W. and Paren, J.G. *J Glaciol.* 15, 15-38 (1975).
82. Warren, S.G. *Appl. Optics* 23, 1206-1225 (1984).
83. <http://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-impacts-climate>
89. <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms>
90. Acasofu, S.-I. and Chapman, S. (1972), *Solar-Terrestrial Physics*, University Press, Oxford.
141. <http://www.swpc.noaa.gov/impacts/hf-radio-communications>
142. Basu et al., Specification of the occurrence of equatorial ionospheric scintillations during the main phase of large magnetic storms within solar cycle 23, *RADIO SCIENCE*, VOL. 45, RS5009, doi:10.1029/2009RS004343, 2010.
143. Bruce R. Elbert, *Introduction to Satellite Communications*, 3rd ed. (2008).
144. Virgil S. Labrador and Peter I. Galace, *Heavens Fill with Commerce: A Brief History of the Communications Satellite Industry* (2005).
145. Virgil S. Labrador et al., *The Satellite Technology Guide for the 21st Century* (2008).
146. Joseph N. Pelton, *The Basics of Satellite Communications* 2nd ed. (2006).
147. David J. Whalen, *The Origins of Satellite Communications 1945–1965* (2002).
148. <http://www.swpc.noaa.gov/impacts/satellite-communications>
149. <http://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-and-gps-systems>
156. <https://arxiv.org/pdf/1611.03390.pdf>
157. T. I. Gombosi·D. N. Baker·A.Balogh·P. J. Erickson·J. D. Huba·L. J. Lanzerotti  
Anthropogenic Space Weather, *Space Science Reviews* manuscript No. ???, March 27, 2017
178. <http://www.haarp.alaska.edu/haarp/phases.html>
180. <https://image.gsfc.nasa.gov/poetry/ask/a10023.html>
181. Chen, Francis (1984). *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, Volume 1 (2nd ed.). Plenum Publishing Corporation. p. 116, 127. ISBN 0-306-41332-9.
208. <http://scalarphysics.com/>
214. <http://www.eiscat.uit.no/>
225. <http://sura.nirfi.sci-nnov.ru/indexe.html>
231. Kurt M. Cuffey et al. Deglacial temperature history of West Antarctica, *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2016). DOI: 10.1073/pnas.1609132113
232. Igor Kolokolov and Vladimir Lebedev, Velocity statistics inside coherent vortices generated by the inverse cascade of 2-D turbulence, *Journal of Fluid Mechanics*, Volume 809 December 2016, R2, <http://dx.doi.org/10.1017/jfm.2016.699>
233. P.R. Thompson et al., Are long tide gauge records in the wrong place to measure global mean sea level rise?, *GRL*, Volume 43, Issue 19, 16 October 2016 , Pages 10,403–10,411, DOI: 10.1002/2016GL070552
234. Young, D. A., A. P. Wright, J. L. Roberts, R. C. Warner, N. W. Young, J. S. Greenbaum, D. M. Schroeder, J. W. Holt, D. E. Sugden, D. D. Blankenship, T. D. van Ommen, and M. J. Siegert. 2011. A Dynamic Early East Antarctic Ice Sheet Suggested by Ice-Covered Fjord Landscapes. *Nature* 474 (7349): 72-75. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature10114>.

236. Glacial lake drainage in Patagonia (13-8 kyr) and response of the adjacent Pacific Ocean. *Scientific Reports*, 2016; 6: 21064 DOI: 10.1038/srep21064
237. Lauren J. Gregoire, Antony J. Payne, Paul J. Valdes. Deglacial rapid sea level rises caused by ice-sheet saddle collapses. *Nature*, 2012; 487 (7406): 219 DOI: 10.1038/nature11257
239. Gardner, J., J. Richter-Menge, S. Farrell, and J. Brozena. 2012. Coincident Multiscale Estimates of Arctic Sea Ice Thickness. *Eos Trans. AGU* 93(6). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2012eo060001>
240. Koenig, L., S. Martin, M. Studinger, and J. Sonntag. 2010. Polar Airborne Observations Fill Gap in Satellite Data. *Eos Trans. AGU* 91(38). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2010eo380002>
241. Studinger, M., L. Koenig, S. Martin, and J. Sonntag. 2010. Operation Icebridge: Using Instrumented Aircraft to Bridge the Observational Gap between Icesat and Icesat-2. *IGARSS 2010*: 1918-1919.
242. Prost, Gary L. 2013. *Remote Sensing for Geoscientists: Image Analysis and Integration*. Boca Raton: CRC Press, xxvii
243. Lindsay, R., and A. Scheiger 2015. Arctic sea ice thickness loss determined using subsurface, aircraft, and satellite observations. *The Cryosphere* 9: 269-283. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-9-269-2015>
244. Lewis, Cameron, et al. 2015. Airborne fine-resolution UHF radar: an approach to the study of englacial reflections, firn compaction and ice attenuation rates. *Journal of Glaciology* 61(225): 89-100. doi: <http://dx.doi.org/10.3189/2015JoG14J089>.
249. Liu, Lin, John Wahr, Ian Howat, Shfaqat Abbas Khan, Ian Joughin, and Masato Furuya. 2012. Constraining Ice Mass Loss from Jakobshavn Isbrae (Greenland) Using InSAR-measured Crustal Uplift. *Geophysical Journal International* 188(3): 994-1006. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05317.x>
250. Qi, W. and A. Braun. 2013. Accelerated Elevation Change of Greenland's Jakobshavn Glacier Observed by ICESat and IceBridge. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 99: p 1-5.
251. Brunt, K. M., et al. 2013. Determination of Local Slope on the Greenland Ice Sheet Using a Multibeam Photon-Counting Lidar in Preparation for the ICESat-2 Mission. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11(5): 935-939. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2013.2282217>.
252. Brunt, Kelly M., et al. 2017. Assessment of NASA airborne laser altimetry data using ground-based GPS data near Summit Station, Greenland. *The Cryosphere* 11(2): 681-692. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-11-681-2017>.
253. Farrell, Sinéad L., et al. 2015. Sea-ice freeboard retrieval using digital photon-counting laser altimetry. *Annals of Glaciology* 56(69): 167-174. doi: <http://dx.doi.org/10.3189/2015AoG69A686>.
254. Gray, L., et al. 2015. CryoSat-2 delivers monthly and inter-annual surface elevation change for Arctic ice caps. *The Cryosphere* 9: 1895-1913. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-9-1895-2015>
255. Kerekes, J., A. Goodenough, S. Brown, J. Zhang, B. Csatho, A. Schenk, S. Nagarajan, and R. Wheelwright. 2012. First Principles Modeling for Lidar Sensing of Complex Ice Surfaces. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International*, 22-27 July 2012: 3241-3244. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350733>
256. Kim, Seung-bum, and Duk-Jin Kim. 2015. Assessment of TanDEM-X interferometry over the marginal region of Antarctic ice sheet. *IGARSS 2015*. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2080-2082. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326211>

257. Schwabe, Joachim, and Mirko Scheinert. 2014. Regional Geoid of the Weddell Sea, Antarctica, from Heterogeneous Ground-based Gravity Data. *Journal of Geodesy*: 88. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00190-014-0724-x>.
258. Kwok, Ron, et al. 2014. Profiling Sea Ice with a Multiple Altimeter Beam Experimental Lidar (MABEL). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 31(5): 1151-1168. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.11.015>.
259. Noh, Myoung-Jong, and Ian M. Howat 2015. Automated stereo-photogrammetric DEM generation at high latitudes: Surface Extraction with TIN-based Search-space Minimization (SETSM) validation and demonstration over glaciated regions. *GIScience & Remote Sensing* 52(2): 198-217. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2015.1008621>.
260. Kurtz, N. T., N. Galin, and M. Studinger. 2014. An improved CryoSat-2 Sea Ice Freeboard Retrieval Algorithm through the Use of Waveform Fitting. *Cryosphere* 8: 1217-1237. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-8-1217-2014>.
261. Kim, Seung Hee, and Duk-jin Kim. 2017. Combined Usage of TanDEM-X and CryoSat-2 for Generating a High Resolution Digital Elevation Model of Fast Moving Ice Stream and Its Application in Grounding Line Estimation. *Remote Sensing* 9(2). Art. #176. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/rs9020176>
262. Armitage, Thomas W. K., and Andy L. Ridout. 2015. Arctic sea ice freeboard from AltiKa and comparison with CryoSat-2 and Operation IceBridge. *Geophysical Research Letters* 42(16): 6724-6731. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL064823>
263. Wang, Xianwei, et al. 2016. An improved approach of total freeboard retrieval with IceBridge Airborne Topographic Mapper (ATM) elevation and Digital Mapping System (DMS) images. *Remote Sensing of Environment* 184: 582–594. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.002>.
264. Levinson, Joanna F., et al. 2016. The Impact of DEM Resolution on Relocating Radar Altimetry Data Over Ice Sheets. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 9(7): 3158-3163. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2587684>.
265. Gowan, Evan J., et al. 2016. ICESHEET 1.0: a program to produce paleo-ice sheet reconstructions with minimal assumptions. *Geoscientific Model Development* 9(5): 1673–1682. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-9-1673-2016>
266. Kjær, K. H., S. A. Khan, N. J. Korsgaard, J. Wahr, J. L. Bamber, R. Hurkmans, M. van den Broeke, L. H. Timm, K. K. Kjeldsen, A. A. Bjørk, N. K. Larsen, L. T. Jørgensen, A. Færch-Jensen, and E. Willerslev. 2012. Aerial Photographs Reveal Late-20th-Century Dynamic Ice Loss in Northwestern Greenland. *Science* 337(6094): 569-573. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1220614>
267. Frederick, Bruce C., et al. 2016. Distribution of subglacial sediments across the Wilkes Subglacial Basin, East Antarctica. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface* 121(4): 790-813. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/2015JF003760>
268. Kjeldsen, Kristian K., et al. 2013. Improved Ice Loss Estimate of the Northwestern Greenland Ice sheet. *J. of Geophysical Research - Solid Earth* 118(2): 698–708. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2012JB009684>
269. Aitken, A. R., et al. 2016. The Australo-Antarctic Columbia to Gondwana transition. *Gondwana Research* 29(1): 136–152. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2014.10.019>.
270. S. A. Khan, I. Sasgen, M. Bevis, T. van Dam, J. L. Bamber, J. Wahr, M. Willis, K. H. Kjaer, B. Wouters, V. Helm, B. Csatho, K. Fleming, A. A. Bjork, A. Aschwanden, P. Knudsen, P. K. Munneke. Geodetic measurements reveal similarities between post-Last Glacial Maximum and present-day mass loss from the Greenland ice sheet. *Science Advances*, 2016; 2 (9): e1600931 DOI: 10.1126/sciadv.1600931

271. Irina Rogozhina, Alexey G. Petrunin, Alan P. M. Vaughan, Bernhard Steinberger, Jesse V. Johnson, Mikhail K. Kaban, Reinhard Calov, Florian Rickers, Maik Thomas, Ivan Koulakov. Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history. *Nature Geoscience*, 2016; DOI: 10.1038/NGEO2689
272. A. G. Petrunin, I. Rogozhina, A. P. M. Vaughan, I. T. Kukkonen, M. K. Kaban, I. Koulakov, M. Thomas. Heat flux variations beneath central Greenland's ice due to anomalously thin lithosphere. *Nature Geoscience*, 2013; DOI: 10.1038/ngeo1898
273. MacGregor, Joseph A., et al. 2016. A synthesis of the basal thermal state of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface* 121(7): 1328-1350. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/2015JF003803>
274. Patton, Henry, et al. 2015. Automated mapping of glacial overdeepenings beneath contemporary ice sheets: Approaches and potential applications. *Geomorphology* 232: 209-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.003>.
275. Aitken, A. R. A., et al. 2016. Repeated large-scale retreat and advance of Totten Glacier indicated by inland bed erosion. *Nature* 533(7603): 385–389. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature17447>.
276. Alley, Karen E., et al. 2016. Impacts of warm water on Antarctic ice shelf stability through basal channel formation. *Nature Geoscience* 9(4): 290-293. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2675>
277. Larour, E., M. Morlighem, H. Seroussi, J. Schiermeier, and E. Rignot. 2012. Ice Flow Sensitivity to Geothermal Heat Flux of Pine Island Glacier, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 117(F4): F04023. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2012JF002371>
284. Boisvert, L. N., et al. 2015. Verification of air/surface humidity differences from AIRS and ERA-Interim in support of turbulent flux estimation in the Arctic. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 120(3): 945-963. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/2014JD021666>.
285. Stefan Hofer et al., Decreasing cloud cover drives the recent mass loss on the Greenland Ice Sheet. *Science Advances*, June 2017 DOI: 10.1126/sciadv.1700584
286. Liu, Yinghui, and Jeffrey R. Key. 2014. Less Winter Cloud Aids Summer 2013 Arctic Sea Ice Return from 2012 Minimum. *Environmental Research Letters* 9(4). Art. #044002. doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044002>.
292. de la Peña, S. Et al., . Changes in the firn structure of the western Greenland Ice Sheet caused by recent warming. *The Cryosphere*, 2015, 9: 1203-1211.
293. Young, Duncan A., et al. 2016. The distribution of basal water between Antarctic subglacial lakes from radar sounding. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A-Mathematical*, 374. Art. #20140297. doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0297>
294. Howat, I. M., et al. 2015. Brief Communication: Sudden drainage of a subglacial lake beneath the Greenland Ice Sheet. *The Cryosphere*: 03-108. 9(1). doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-9-103-2015>
307. Cowton, Tom, et al. 2013. Evolution of Drainage System Morphology at a Land-terminating Greenlandic Outlet Glacier. *J. of Geophysical Research - Earth Surface* 118(1): 29-41. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2012JF002540>.
311. Larour, E., H. Seroussi, M. Morlighem, and E. Rignot. 2011. Continental Scale, High Order, High Spatial Resolution, Ice Sheet Modeling Using the Ice Sheet System Model (ISSM). *Journal of Geophysical Research-Earth Surface* 117: F01022. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2011jf002140>.
312. Larour, E., J. Schiermeier, E. Rignot, H. Seroussi, M. Morlighem, and J. Paden. 2011. Sensitivity Analysis of Pine Island Glacier Ice flow using ISSM and DAKOTA. *Journal of*

313. Herzfeld, U. C., B. F. Wallin, C. J. Leuschen, and J. Plummer. 2011. An Algorithm for Generalizing Topography to Grids While Preserving Subscale Morphologic Characteristics-Creating a Glacier Bed DEM for Jakobshavn Trough as Low-Resolution Input for Dynamic Ice-Sheet Models. *Comput. Geosci.* 37(11): 1793-1801. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2011.02.021>.
314. Bamber, J. L., et al. 2013. A New Bed Elevation Dataset for Greenland. *The Cryosphere* 7(2): 499-510. Клетките на мрежата на измервания е приемливо да са по-малки от 40 km. Schlegel, N-J., et al. 2013. Decadal-Scale Sensitivity of Northeast Greenland Ice Flow to Errors In Surface Mass Balance Using Issm. *J. of Geophysical Research - Earth Surface* 118(2): 667-680. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jgrf.20062>
315. Carr, J. R., A. Vieli, and C. Stokes. 2013. Influence of Sea Ice Decline, Atmospheric Warming, and Glacier Width on Marine-terminating Outlet Glacier Behavior in Northwest Greenland at Seasonal to Interannual Timescales. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface* 118(3): 1210-1226. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jgrf.20088>
316. Porter, David F., et al. 2014. Bathymetric Control of Tidewater Glacier Mass Loss in Northwest Greenland. *Earth and Planetary Science Letters* 401: 40-46. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.058>
317. Groh, A., et al. 2014. Mass, Volume and Velocity of the Antarctic Ice Sheet: Present-Day Changes and Error Effects. *Surveys in Geophysics*. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10712-014-9286-y>
318. Holland, P. R., et al. 2015. Oceanic and atmospheric forcing of Larsen C Ice-Shelf thinning. *The Cryosphere* 9(3): 1005-1024. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-9-1005-2015>
319. Csatho, B., et al. 2014. Laser altimetry reveals complex pattern of Greenland Ice Sheet dynamics. *PNAS* 111(52): 18478-18483. doi: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1411680112>.
320. Waechter, Alexandra, Luke Copland, and Emilie Herdes. 2015. Modern glacier velocities across the Icefield Ranges, St Elias Mountains, and variability at selected glaciers from 1959 to 2012. *Journal of Glaciology* 61(228): 624-634. doi: <http://dx.doi.org/10.3189/2015JoG14J147>.
343. Cook, S., et al. 2014. Modelling Environmental Influences on Calving at Helheim Glacier in Eastern Greenland. *Cryosphere* 8: 827-841. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/tc-8-827-2014>.
344. Cowtown, Tom, et al. 2016. Variability in ice motion at a land-terminating Greenlandic outlet glacier: the role of channelized and distributed drainage systems. *Journal of Glaciology* 62(233): 451-466. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/jog.2016.36>
345. Joughin, I., B. E. Smith, I. M. Howat, D. Floricioiu, R. B. Alley, M. Truffer, and M. Fahnestock. 2012. Seasonal to Decadal Scale Variations in the Surface Velocity of Jakobshavn Isbrae, Greenland: Observation and Model-Based Analysis. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface* 117(F02030). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2011jf002110>.
398. Kurtz, N. T., S. L. Farrell. 2011. Large-Scale Surveys of Snow Depth on Arctic Sea Ice from Operation Icebridge. *Geophysical Research Letters* 38 (L20): L20505. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL049216>.
399. Abraham, Carsten, et al. 2015. Effects of subgrid-scale snow thickness variability on radiative transfer in sea ice. *Journal of Geophysical Research - Oceans* 120(8): 5597-435.
435. Мария Димитрова, Деян Гочев, Пламен Тренчев, Сезонно изменение в радарните изображения на обекти с различна степен на замръзване, получено по данни от Sentinel 1, Пета международна конференция „Екологично инженерство и опазване на околната среда” (ЕИООС'2017), гр. Пловдив, 5-7 юни 2017 г.



436. <http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/mkstackplot.cgi?nor=Norwegian+line&comp=H&day=00&month=00&year=0000&site=tro2a>
437. <http://flux.phys.uit.no/AscActIx/>
438. <https://www.wunderground.com/history/>.
441. Кляцкин В И "Стохастическое структурообразование в случайных средах" УФН 186 75–104, 2016
444. Фролов В Л, Бахметьева Н В, Беликович В В, Вертоградов Г Г, Вертоградов В Г, Комраков Г П, Котик Д С, Митяков Н А, Поляков С В, Рапопорт В О, Сергеев Е Н, Терещенко Е Д, Толмачева А В, Урядов В П, Худукон Б З "Модификация ионосферы Земли мощным коротковолновым радиоизлучением" УФН 177 330–340 (2007)
445. Deyan Gotchev, Latchezar Filipov, DISINFORMATION AND ANOMALOUS PHENOMENA, 27-28.06, 2013, Национален Военен Университет «Васил Левски», Сборник доклади от годишна университетска конференция, т.4, стр. 77
446. Andrew D Higginson, Tim W Fawcett. Comment on ‘Are physicists afraid of mathematics?’, New Journal of Physics, 2016; 18 (11): 118003 DOI: 10.1088/1367-2630/18/11/118003
447. РuzмаЙкин А "Климат как игра случая" УФН 184 297–311 (2014)
448. Graeme W. Milton, Ornella Mattei. Field patterns: a new mathematical object. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science, 2017; 473 (2198)
449. Austin R. Benson, David F. Gleich, Jure Leskovec, Higher-order organization of complex networks, <http://ow.ly/oMba3021HT7>
450. Daniel Kim, Clark Bowman, Jackson T. Del Bonis-O’Donnell, Anastasios Matzavinos, and Derek Stein, Giant Acceleration of DNA Diffusion in an Array of Entropic Barriers, Phys. Rev. Lett. 118, 048002 – Published 27 January 2017
451. Павлов А Н, Анищенко В С "Мультифрактальный анализ сложных сигналов" УФН 177 859–876 (2007) p.11-#4; p.15 #5; P.17 #6