

## **КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ И ПРИНОСА НА ГЕОДЕЗИЯТА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕТО ИМ В БЪЛГАРСКАТА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА**

**ХРИСТО ПИМПИРЕВ  
БОРИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВ**

### **РЕЗЮМЕ**

Статията има за цел да представи информативно извършваните геодезически дейности през няколко от националните антарктически експедиции в периода 1998 – 2020 година. В голямата си част те са както рутинен инженерен процес, така и част от комплексните научни и научно-практически изследвания, отнасящи се до климатичните промени и процесите, свързани с тях. Извършено е геодезическо заснемане на открити от лед участъци и ледникови масиви, чрез използване на класически методи и най-съвременни технологии. Изследвана е вертикалната рефракция над ледници, скални участъци и акваторията. Особено внимание е отделено за океанската среда – монтирана е мареографна станция, направени са първоначални изследвания на физико-химичните параметри на хидросредата в крайбрежната зона. Беше пусната в действие и целогодишна перманентна ГНСС станция в района на Българската антарктическа база „Св. Климент Охридски“, разположена на о-в Ливингстън от Архипелага на Южните Шетлъндски острови.

**КЛЮЧОВИ ДУМИ: АНТАРКТИКА, ГЕОДЕЗИЯ, ХИДРОГРАФНИ ИЗМЕРВАНИЯ,  
МАРЕОГРАФ**

### **SUMMARY**

The article aims to present informatively the geodetic activities carried out during several of the national Antarctic expeditions in the period 1998-2020. For the most part, they are both a routine engineering process and part of the complex scientific and practical research related to climate change and the processes associated with it. Geodetic surveying of ice-exposed areas and glacial massifs was carried out using classical methods and modern technologies.

The vertical refraction over glaciers, rocky areas and the water area was studied. Special attention has been paid to the ocean environment - a tidal gauge station has been installed, initial studies of the physico-chemical parameters of the hydro-environment in the coastal zone have been carried out. A year-round permanent GNSS station in the area of the Bulgarian Antarctic base "St. Kliment Ohridski" was launched.

KEY WORDS: ANTARCTIC, GEODESY, HYDROGRAPHIC MEASUREMENTS, MAREOGRAPH

## 1. УВОД

България заема вече едно утвърдено място в антарктическото семейство, заедно с най-развитите индустриално страни. Макар и за много кратко време, от тридесет години, страната ни е равноправен участник в “правителството” на ледения континент. С изградената антарктическа база „Св. Климент Охридски“ (фиг. 1) нашата страна придоби статута на равноправен член в полярната общност [1].



Фигура 1. Българската антарктическа база „Св. Кл. Охридски“

Основните приоритети на българските антарктически експедиции са насочени към изследвания в областта на геологията, биологията, геодезията, геофизиката, глациологията, ботаниката, метеорологията, зообиологията, картографията, екологията и медицината [2]. Геоложките проекти са фокусирани в изучаване на стратиграфията, петрологията, рудоносната перспективност, тектониката и магматизма в района на Южно Шетландските острови. Изготвена е едромасщабна топографска карта в М 1: 2 000 за района на Българската антарктическа база, както и няколко геодезически снимки на района на БАБ, на скалните разкрития Пико Мурес, Серо Мирадор и Пико Напие в едри мащаби, за нуждите на различните специалисти в експедициите [5]. Голямо внимание се отделя на актуалния проблем с глобалните климатични промени, като се постави началото на проследяване на динамиката на морското ниво и състава на хидросредата, като количествено изражение на глобалното затопляне на климата. През 2017 година беше монтирана мареографна станция, която записва данни от първото си зимуване в Южния залив.

## 2. МОРСКО НИВО И ВРЪЗКАТА МУ С ГЛОБАЛНИТЕ КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ НА ЗЕМЯТА

Морското ниво в глобален аспект е качествен показател за състоянието на климатичната система на Земята, обхващаща както океана, така и криосферата. То може да се разглежда като важен индикатор за това, което се случва с климата в днешни дни, а и какво би могло да се случи в бъдеще. В днешно време е доказано недвусмислено, че нивата на Световния океан и на сушата се намират в постоянна динамика. Докато при сушата като основна причина се определят главно тектонични процеси и промяна на ледниковото покритие, то за останалата, повече от 2/3 повърхност на планетата, това се обяснява с изменение на общия обем на водата и промяната в океанските течения. От научна гледна точка

приливните изменения и общата динамика на водното ниво оказват голямо влияние на редица биологически и геоложки процеси. Най-осезаеми са посочените процеси в крайбрежните зони, където по начало е концентрирана голямата част от населението.

Изследванията на климата на Земята придобиват все по-значителна тежест и вниманието на хората се ангажира с тази актуална проблематика. Въпросите, свързани с изменението на средното морско ниво, заемат водещо място в научните изследвания като основен фактор и индикатор за глобалните климатични промени и съпътстващите ги природни процеси [7]. Такива са например топенето на ледниците, топлинното разширение на океана, мощните океански течения с техния пренос на водни маси от тропиците към полярните области.

Дългосрочните промени в глобалното средно морско ниво (GMSL) се дължат предимно на три процеса:

- ледниково топене – от затоплящата се атмосфера и океана, планинската ледникова покривка се топи и така добавя сладка вода в океана;
- термично разширение – океанската вода се разширява от поглъщане на приетата топлина, а това води до повишаване на морското ниво;
- съхранение на континентална вода – водата, която се отстранява от сушата или се задържа на нея може да доведе до нетна промяна на общото количество вода в океана.

Промените в глобалното средно морско ниво са измерват от сателитни системи през последните 28 години. С пускането на сателита Sentinel-6 / Michael Freilich през 2020 г. този запис скоро ще надмине три десетилетия. Скоростта на повишаване на нивото от 1993 г. до момента се определя на 3.3 милиметра годишно и има индикации, че тя се е повишила. Сателитите GRACE и GRACE-FO измерват промени в глобалното морско ниво, свързани с топене на лед и промени в съхранението на водата в сушата. Елементите на системата от поплаватели Argo измерват хода в температурата и солеността в Световния океан и предоставят оценка на термостеричната промяна на нивото. Комбинирането на оценките на GMSL от GRACE / GRACE-FO и Argo и след това сравняване с GMSL от сателитни системи ни позволява да проверим нашата интерпретация за факторите за глобалното средно морско ниво.

Научният анализ относно измененията на морското ниво следва да се обосновава с дългопериодични наблюдения на колебанията на нивото, но всяко отделно измерване като част от редицата, може да се разглежда като сума на три компонента. По този начин средното морско ниво, заедно с приливите, и добавено метеорологичното въздействие, ни дават моментното средно морско ниво. Това означава, че за правилното определяне на нивото трябва да се определят посочените съставлящи.

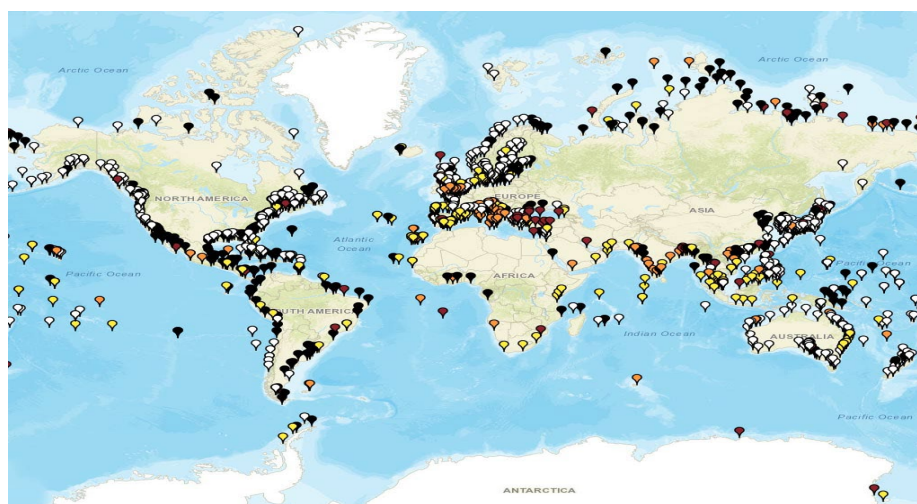
Средното морско ниво представлява ред от измерени стойности на морското ниво за период, не по-малък от една година. Когато се предполага използването му за геодезически цели, т.е. извеждане на височинна система, този период трябва да бъде значително по-дълъг.

Приливите представляват периодични промени в морското ниво с кохерентна амплитуда и фазова зависимост на определящата сила, а именно гравитационното поле на повърхността на Земята, обусловено от взаимодействието на трите небесни тела – Слънце, Земя и Луна. Те пораждат основно гравитационните приливи, а малките метеорологични добавки са свързани с колебанията в атмосферното налягане и ветровото влияние.

Метеорологичните поправки са компоненти, които са остатъчни след премахване на приливните съставки при анализите. Не са постоянни, търпят изменения в различните периоди на годината и някъде могат да бъдат срещнати и като термин сгонно-нагонни колебания,

т.е. като моментни непреливни съставящи с голяма стойност.

Мареографните станции изпълняват изключително важна роля в научен и в научно-приложен аспект. Единствено от съвместните изследвания на спътниковата алтиметрия в глобален аспект и мареографните измервания на регионално ниво, може да се говори за познания относно нивото на световния океан. То се формира от различни сили, въздействащи на водните маси, и никога не изпада в покой, самите те не са еднородни по своя физико-химичен състав, а освен това и наличието на геодинамични и геотермални явления в подкоровата част на планетата, правят изучаването на цялостния облик на океана една сложна, мултидисциплинарна природна наука с особена значимост за хората. С нарастване на местата с непосредствено изследване на океанското ниво се детайлизира все повече комплексната картина на нивото в глобален мащаб, както и следствията от това, в актуалните насоки на изучаване на глобалните климатични промени (фиг.2).



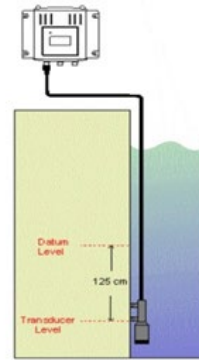
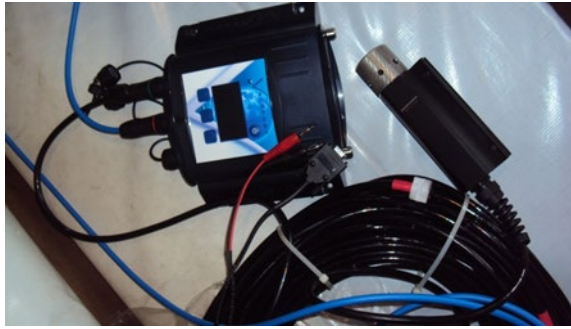
**Фигура 2. Мареографни станции към Ноември 2021 (от PSMSL)**

Глобалната служба за следене на морското ниво (Global Sea Level Observing System – GLOSS) използва мрежа от 290 наблюдателни станции за измерване в реално време на океанското ниво в глобален мащаб, разположени из целия световен океан. Това допринася в голяма степен за опознаване на причините за климатичните промени, като се има предвид, че GLOSS е част от Глобалната система за наблюдение на океана (Global Ocean Observing System - GOOS). (<http://www.gloss-sealevel.org>)

С изграждането на българската мареографна станция в Антарктика, нашата страна ще допринесе за все по-детайлното опознаване на океанската динамика, и то в суровите южни географски ширини, където получаването на такава информация е значително по-трудно и с висока степен на техническа сложност.

### **3. БЪЛГАРСКАТА МАРЕОГРАФНА СТАНЦИЯ В АНТАРКТИКА**

Голямо постижение в българските геодезическите дейности в океана е пробното поставяне на мареографната станция през 2017, а през 2019 тя издържа първата си зима. (фиг. 3). След прехвърляне на записаните данни се оказа, че имаме малко над 9 месеца записи, от 9 януари до 16 октомври 2019 с две прекъсвания от няколко часа, което прави реално непрекъснатия запис почти седем месеца (фиг. 4). Вероятно прекъсването се дължи на метеорологични причини, но записът показва прекъсване за малко, и после продължава без никакви проблеми. При рязко влошаване на времето и тежък ледоход в залива на о-в Ливингстън, на 16 октомври 2019 се прекъсва захранващия кабел и датчикът спира да записва.



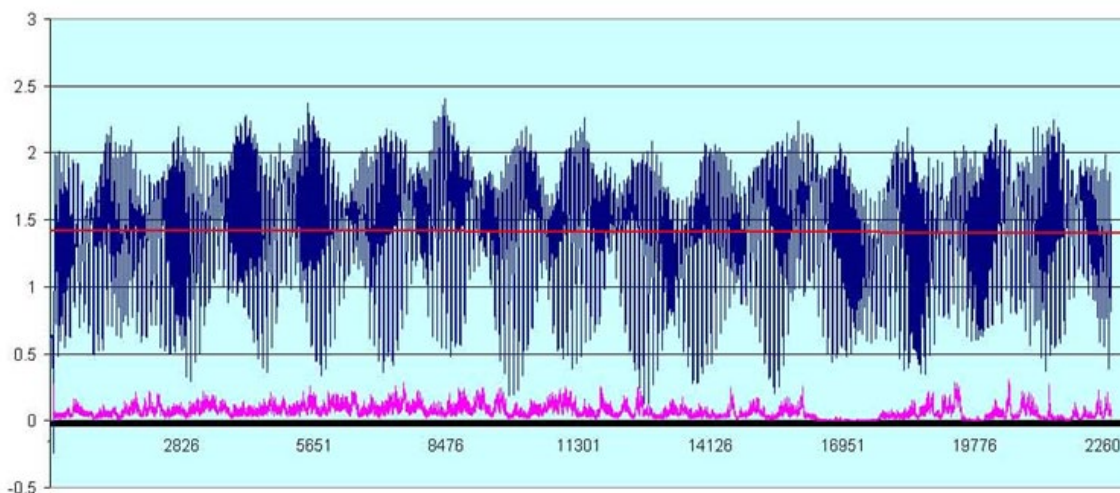
**Фигура 3. Мареографът и принцип на действие на хидростатичен сензор**

От данните за 2019 година на мареографната станция на БАБ са определени среднодневни нива, а чрез тях са изведени средномесечни според стандартите на Международната хидрографска организация (ИНО). Там е указано, че за средномесечно морско ниво се обработват всички записи, които трябва да бъдат през не по-малко от 1 час. Необходимо е да няма прекъсвания на записите за повече от 3 часа, а ако има такова събитие, то трябва тези данни да се допълнят интерполационно. В случай на по-голяма пауза се взимат данни от съседни мареографни станции. При изчисляване на средномесечните нива не трябва да се допускат прекъсвания, по-големи от 3 последователни дни. Записите от о-в Ливингстън са през 15 минути, като интервалът е съобразен както с възможностите за енергийно захранване, така и с наличната памет в логера. Премахнати са неинформативните стойности и такива, чийто стандарт надхвърля три пъти средната грешка. Изчислени са средни нива за всички възможни цели месеци, от април до септември.

След прехвърляне на всички данни е установено, че след първият зимен период на работа, мареографната станция съдържа около 26 000 записа на колебанията на морското ниво. Направен е оглед за неинформативни стойности и след установяване на известен брой такива, те са премахнати от анализа.

Океанското ниво е в непрекъснато динамично състояние тъй като освен периодичните колебания вследствие приливообразуващите сили, породени от взаимодействието на трите астрономични тела – Слънце, Луна и Земя, съществуват и други събития с непериодичен характер, които не могат да бъдат точно прогнозирани. Към тях могат да се отнесат геодинамичните и геотермални явления в земната кора, например вулкани, земетресения, колебателни движения на земната кора, въздействието на вятъра в близост до бреговата ивица, барометричните колебания, както и такива, свързани с изменение плътността на водата и нейният обем вследствие на изпарения, валежи и вливане на реки.





**Фигура 4. Записи на мареографа за първия успешен зимен сезон-2019 г**

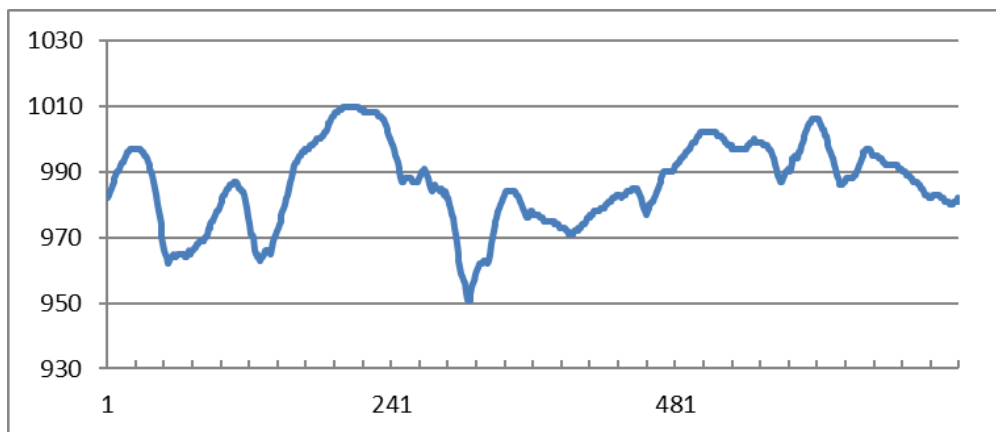
От практически изследвания са установени стойности на въздействие на основните параметри на атмосферата върху състоянието на океанската повърхност. Най-съществено влияние оказват атмосферното налягане, ветровото въздействие със своята посока и сила, а до известна степен и температурата на приземния въздушен слой. Например покачване на налягането с 1 hPa води до понижаване на морското ниво с 1 cm [4] и обратно – по-ниското налягане води до по-високо ниво. Ветровете са сериозен фактор за неперидичните колебания на нивото и насочени от морето към брега могат да пренасят големи количества водни маси, което води до покачване на нивото, или т.нар. нагонни вълни. При обратна посока на вятъра, от брега към сушата, се получава сгон, или понижаване на нивото. Тези явления могат да променят нивото в порядъка на метри ако ветровото въздействие е в една посока и много дълго време. За България сгонно-нагонните колебания при продължителни източни ветрове се оценяват на 0.8 – 1.2 m [6].

За времето на работа на мареографната станция в БАБ през 2019 година е създаден архив на метеорологичните данни с информация за температурата, атмосферното налягане и посоката и силата на вятъра с оценка на поривите му. Тези данни спомагат за по-прецизния прочит на колебанията на морското ниво и филтриране на измервания, за които може да се твърди, че са в силно неустойчива атмосфера и вълнение, и които биха нарушили плавния ритъм на приливните стойности. В публикацията е разгледан само месец април (2019 г) като принцип на комбиниране на мареографни с метеорологични данни, с цел да не се увеличава прекомерно обема на текста. Анализирани са евентуални корелационни зависимости между значителни резки промени на атмосферното налягане и височината на нивото, както и оценка на ветровото въздействие с цел установяване на сгонно-нагонни вълни. Метеорологичните данни са записани през 1 час, като от 1 до 30 април 2019 техният брой е 719. Средните (в скобите минимални и максимални) стойности за периода са както следва:

- атмосферно налягане средно за април – 991.4 hPa (951 hPa до 1010 hPa);
- средна температура - - 0.60C (-1.60C до 0.80C)
- средна влажност на въздуха – 91.1% (67.4% до 93.9%).

Атмосферното налягане през месец април 2019 година се променя от 951 hPa до 1010 hPa, като най-чувствителен траен спад се забелязва в периода 9-13 април, а именно почти 60 hPa за 4 денонощия, а най-кратковременен спад има между 1 и 2 април, когато за едно денонощие налягането се понижава с 35 hPa (фиг. 5). По абсцисата на графиката са нанесени дните, като числата показват броя часове от началото на месеца, а по ординатата са показанията на атмосферното налягане. Ако тези стойности се разгледат вече като последвало

издигане на морската повърхност вследствие само на спад на налягането, се вижда, че в рамките на един ден нивото се издига с 35 cm, независимо от приливните сили. Това предполага да се коригират отчетените стойности на хидростатичния сензор със средночасова корекция от 1.5 cm за влияние на налягането. Като се има предвид, че в акваторията на БАБ максималната разлика между високи и ниски води за април 2019 е малко под 2 m за един полудневен период, следва, че за един час нивото може да се промени с около 12-14 cm. При записаното максимално спадане на налягането това би означавало, че мареографните данни се отчитат с грешка около 10% вследствие само на екстремни колебания на атмосферното налягане.



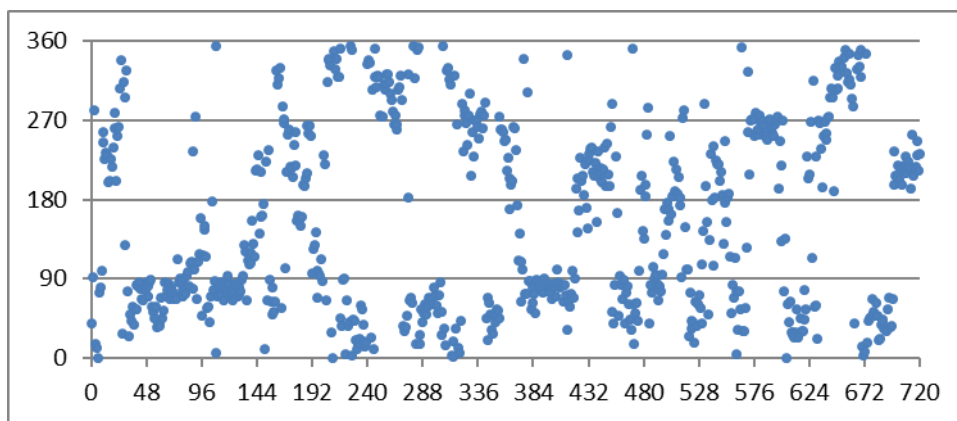
**Фигура 5. Месечен ход на атмосферното налягане (април 2019 г)**

Изчислена е средна стойност за атмосферното налягане в района на БАБ от 7 годишен период, от 2014 до 2021 година, като са осреднени 61 722 записа от метеорологичната станция през един час. Резултатът е 989.5 hPa, която представлява базисна стойност, спрямо която да се наблюдават колебанията на океанското ниво, вследствие налягането.

Друг съществен елемент, влияещ на колебанията на океанското ниво, е вятърът с неговата сила и посока. Това важи с особена тежест за Антарктика, континентът, който се слави с най-силните ветрове, които могат да надхвърлят 200 km/h, и които при дълговременно действие променят приливно-отливните стойности, отчитани от мареографите. Наличието на метеорологични данни за времето на работа на мареографната станция помагат да се внесе яснота върху това въздействие. От направените анализи на ветровата обстановка за месец април 2019 година (фиг. 6) може да се види статистически силата на ветровете, преобладаващата им посока, поривите, както и осреднени стойности на тези параметри.

За разглеждания месец се установяват следните стойности:

- средна скорост на вятъра – 5.9 m/s;
- средна посока на вятъра – 1520;
- максимална скорост на вятъра без пориви 26.5 m/s (95.4 km/h)



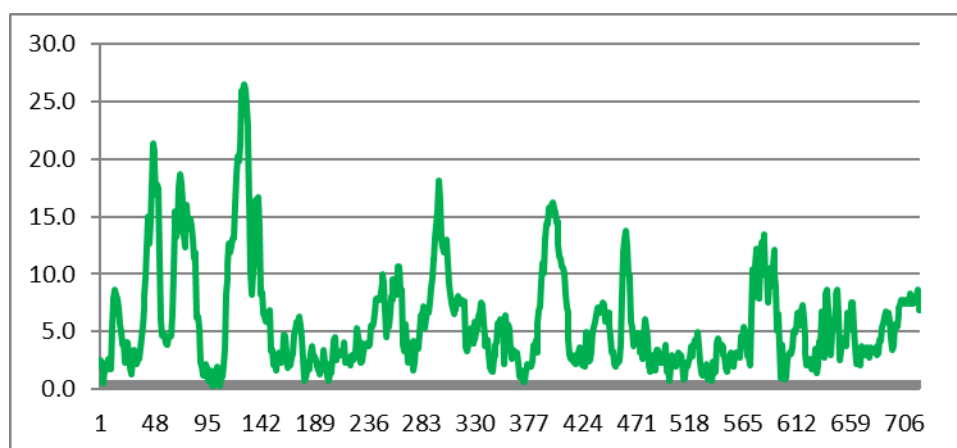
**Фигура 6. Разпределение на посоката на вятъра по часове от началото на месеца**

Посоките на вятъра са групирани в 4 групи, по основните световни посоки – север, изток, юг и запад. За месец април събитията са както следва:

- северен – 168 записа
- източен - 266
- южен – 126
- западен – 160.

Видимо е, че източните ветрове преобладават значително спрямо останалите, но според изложението на мареографния датчик, което е северно, по-сериозен интерес за сгонно-нагонните колебания на океанското ниво представляват северните и южните ветрове, 294 записани събития от общо 720. Като се има предвид, че не е имало установен дълговременен период със силен вятър само от една посока, можем да приемем, че промените в океанското ниво вследствие на ветрово влияние през април 2019 година е в границите на точността на отчитане на нивото и не следва да се въвеждат допълнителни корекции.

На фигура 7 по абсцисата са нанесени часовете на запис от 1 до 30 април, а по ординатата – скоростта в m/s.



**Фигура 7. Скорост на вятъра по часове през април 2019 година**

#### **4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ В ОКЕАНА**

През 28-та българска антарктическа експедиция за първи път беше направен опит за изследване на океанската вода за соленост, проводимост и температура. За целта беше използван регистратор на данни, който изследва малки промени в солеността на водата (в



диапазона  $\pm 5000 \mu\text{S/cm}$ ). Чрез оптична USB базова станция BASE-U-4 се извършва четенето на данните от записите във водата. Такива изследвания се правят за първи път в акваторията на Българската база и са от особено значение за опознаването на океанската вода като хидросреда (табл. 1). Идеята на доц. Александров е да се изведе корелация между данните на датчика за соленост и проводимост и данните за колебанията на морското ниво, записвани първоначално през сезона на експедицията, а впоследствие и целогодишно.

**Таблица 1. Изчислени стойности на соленост и температура за бреговата зона**

Местоположение	Соленост ‰	Температура 0C
Salt-1	17.95	0.9
Salt-2	18.65	0.7
Salt-3	22.62	0.4
Salt-4	21.47	0.1
Salt-5	22.64	0.0
Salt-6	22.66	0.1
Salt-7	20.31	-0.3
Salt-8	22.11	0.0
Salt-9	19.37	0.0
Ледниково блато	0.52	2.9
Реката от ледника	0.06	1.1

Солеността и температурата на морската вода са основни физико-химични параметри, които заедно с хидростатичното налягане, създават облика ѝ на хидросреда за конкретно географско местоположение. Сложната зависимост между тях определя плътността на морската вода – комплексна нейна характеристика, оказваща влияние както на различните хидрографски изследвания, скоростта на разпространение на акустичните вълни, така и в голяма степен на глобалните климатични промени на Земята. Плътността на морската вода е сложна функция на температурата и солеността, а с увеличаване на дълбочината, респективно налягането на водните слоеве, тя нараства допълнително. От това зависи и разпределението на плътността на океанските води. Тук следва да се отбележи преобладаващото влияние на температурата като най-динамичен параметър на състоянието на водата. При по-висока температура следва да се очаква нарастване на общия обем вода в Световния океан, от една страна поради намаляване на плътността ѝ, а от друга – от ускоряване на ледниковото топене. Това намалява солеността, респективно намалява плътността, и като краен резултат от общото влияние се покачва морското ниво. От десетилетия този процес е установен по различни способы, както от мареографни измервания, така и чрез спътникови дистанционни методи, което доказва категорично необходимостта от преки изследвания на физико-химичните параметри на морската вода.

Още един интересен проект беше стартиран през 2019 година в Българската база с монтиране и пускане в експлоатация на ГНСС приемник Trimble R9s Alloy. Целта е организиране на целогодишна перманентна ГНСС станция, която реално стартира на 24

декември 2019, в необходимия за целта режим на работа. Приемникът е оборудван с антена Trimble Geodetic Zephyr 3, стабилизирана на 15 cm над месинговата плоча на стълб с принудително центриране и вече обозначен като КОН2 с координати:

**S 62 38 24.4                   :           W 60 21 49.4**

Приемат се сигнали от GPS, GLONASS, SBAS, WAAS, EGNOS и разполага с 672 канала. Плановите на проекта са първоначално апаратурата да издържи тежкия зимен период, както като осигуряване срещу физически повреди, така и от гледна точка на захранването. След като се издържи проверката на зимния период, следва да се направи всичко възможно за включване на станцията КОН2 към международната мрежа от перманентни ГНСС станции в района на Западна Антарктида и п-ов Палмър.

## **5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Първите стъпки на човечеството в Антарктика малко или много са били и първи стъпки на геодезията и картографията там. Началният контакт с континента се осъществява от морски капитани и китоловци, чиято първа работа е била картографиране на бреговете, до които достигат. Така постепенно започва да се оформя бреговата линия, макар и не съвсем точна, а впоследствие и вътрешността, като се започва както картографиране на откритите от лед участъци, така и на части от ледения щит по пътя към Южния полюс. Така първите геодезически постижения, рожба повече на екстремен ентузиазъм са били извършвани в крайно трудни условия с адекватни за времето си техника, т.е. тежки и несъвършени инструменти, неточни методи и неспециализирани оператори. Като цяло може да се каже, че първата „геодезическа” продукция е създадена благодарение на вложения изключително тежък труд, самоотверженост и дух, воля за първенство в откритията и приключенски талант.

Геодезическата работа в полярни условия изисква освен известните на всички способности, още ред допълнителни специализирани умения, необходими както за съхраняване живота и здравето, така и за получаване на нужната качествена продукция, включена в един или друг научен проект с участието на геодезисти. Поради много различните условия на живот там се отделя особено внимание на приоритетите на работа, а именно всичко започва с грижата за човешкия живот и безопасност, а след това се следи за изпълнението на многото и разнообразни по характер задачи, предвидени в програмата на една експедиция. Затова именно и всички методични постановки започват от безопасността на работата, независимо в какъв аспект е тя.

През последните тридесет години много български учени работят в Антарктика и доказват потенциала на българската наука. С научните резултати, получени от изпълнението на изследователски проекти в различни научни области се потвърждава полезността от присъствието на българските изследователи в Антарктида. Тук се включват българските геодезисти, допринесли за осигуряване на полярниците с картен материал, специализирани научни изследвания, бази данни и резултати с анализи. Атестат за това как се оценяват постиженията на българските екипи, работещи на о-в Ливингстън, е търсенето им като желан партньор в много и различни международни проекти. Досега учени от над 15 държави са работили в Българската база, като по този начин българската наука и практика се е доближила до най-развитите полярни нации.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Български антарктически институт (БАИ) - <https://bai-bg.weebly.com>
2. Национален център за полярни изследвания (НЦПИ) - [https://www.unisofia.bg/index.php/bul/universitet\\_t/centrove/nacionalen\\_cent\\_r\\_za\\_polyarni\\_izsledvaniya](https://www.unisofia.bg/index.php/bul/universitet_t/centrove/nacionalen_cent_r_za_polyarni_izsledvaniya)
3. А л е к с а н д р о в, Б., Геодезически дейности на остров Ливингстън, Антарктика, Дисертационен труд, София, 2011
4. Г е о р г и е в, Г., Морска хидрометеорология, В., Стено, 2000.
5. Л а п т е в а, Г., Хр. Пимпирев, Л. Иванов, Непознатата южна земя, Университетско издателство, 2017
6. П е й ч е в, В., Океанология, Онгъл, Варна, 2012
7. П и м п и р е в, Хр., История на Земята, С.,2010

**Проф. д-тн Христо Пимпирев**

**СУ „Св. Климент Охридски“**

**Бул. „Цар Освободител“ 15**

**E-mail: [cpimpirrev@yahoo.com](mailto:cpimpirrev@yahoo.com)**

**Доц. д-р инж. Борислав Александров**

**УАСГ**

**Бул. „Хр. Смирненски“ 1**

**E-mail: [alekb\\_fgs@uacg.bg](mailto:alekb_fgs@uacg.bg)**