

Die bepaling van seevlak in die Suidelike Oseaan; 'n oorsig

J.R.E. Lutjeharms

Nasionale Navorsingsinstituut vir Oseanologie, WNNR, Posbus 320, Stellenbosch 7600

UITTREKSEL

Die belangrikheid van seevlakmetings vir die oseanologie in die algemeen en ook vir 'n beter begrip van klimaat word al hoe meer in die literatuur benadruk. Uit hierdie oorsig van bestaande kennis oor die seevlak in die Suidelike Oseaan, blyk dit dat daar sekere duidelike leemtes bestaan en dat doelgerigte navorsing nodig is om hierdie leemtes aan te vul vir hierdie bepaalde deel van die wêreldoseaan.

ABSTRACT

The importance of sea-level measurements for an understanding both of oceanology and of climate is increasingly stressed in the literature. This review of existing knowledge on the sea-level of the Southern Ocean reveals certain well-defined gaps and it points to a need for specific research projects to fill these gaps.

1. INLEIDING

Die seevlak is een van die weinige oseanografiese veranderlikes wat deurlopend gemeet is van voor die begin van hierdie eeu af. Afgesien van die klaarblyklike praktiese waarde van 'n kennis van die seevlak by die bou en gebruik van hawens en dergelike strukture, is getymergings ook gemaak bloot om die intrinsieke wetenskaplike waarde daarvan. Wetenskaplike

publikasies oor getye is dus reeds sedert 1665¹ beskikbaar.

Die natuurwetenskaplike waarde van 'n kennis van die gemiddelde seevlak, afgesien van gety-inligting, is eers redelik onlangs aangetoon.² Daar is naamlik aangetoon dat langtermynveranderings in die gemiddelde seevlak kan dui op klimaatsveranderings.³ Waardevolle navorsingswerk oor langtermynver-

anderlikheid in die seevlak, asook oor veranderlikheid van jaar tot jaar, is reeds vir verskillende dele van die wêrldoseaan uitgevoer. So het Roden⁴ die laefrekvensie-seevlakkossillasies langs die weskus van Noord-Amerika bestudeer, terwyl 'n ontleding van jaarlike seevlakveranderings vir Europese see deur Rossiter⁵ uitgevoer is. Soortgelyke werk is ook al gedoen vir die Suid-Sjinese See,⁶ die Bering- en Chukchi-see,⁷ alle kuste van die Verenigde State,⁸ asook die ooskus van Australië.⁹

Met die ingebriukneming van betroubaarder, en veral akkurater, seevlakregistreerders het dit ook moontlik geword om die langtermyngedrag van oseaanstromes te moniteer, en wel deur die seevlak en die seevlakhelling oor die dwarste van 'n oseaanstroombuurlopend te registreer. 'n Groot aantal navorsingsprojekte van hierdie aard is reeds met welslae aangepak, onder ander 'n opname van die verandering van dag tot dag in die seevlak langs die Finse kus, wat die spoeltempo in die Baltiese See en die Golf van Botnië aandui.¹⁰ Die tussenjaarlike veranderlikheid van die Kaliforniëstroom is ook al vasgestel aan die hand van seevlakmetings.¹¹ Soortgelyke werk is gedoen oor wisselings in die Floridastroom,¹² die vloeい van die Koerosjostroom in die westelike deel van die noordelike Stille Oseaan¹³ en veranderings in die groot kronkel in die Koerosjostroom ten suide van Japan.¹⁴ By studies oor die aanvang, tydsduur en aard van die Suidelike Ossillasie of El Niño-verskynsel is daar gebruik gemaak van 'n groot aantal seevlakmeters by etlike eilande en kusstasies in die ekwatoriale Stille Oseaan.¹⁵

Dit is dus heel duidelik waarom die waarde van langtermyn-getymetings so hoog aangeslaan word in enige grootskaalse oseaan-eksperiment waar daar sprake is van monitering,¹⁶ en veral wanneer die rol van die oseaan by klimaatsvoorspelling ter sprake kom.¹⁷ Baker¹⁸ het, byvoorbeeld, sterk klem gelê op die feit dat die insluiting van 'n netwerk akkurate getymeters noodsaaklik is by die beplanning van 'n wêrldwyre monteringstelsel vir klimaatnavorsing. Dit is daarom vreemd dat die verslag wat deur 'n groep vakkundiges vir die Wetenskapkomitee vir Antarktiese Navorsing (SCAR) opgestel is,¹⁹ hoegenaamd geen melding van seevlaklesings maak nie.

Dit is te meer merkwaardig omdat dit al lank aanvaar word dat die Suidelike Oseaan 'n beduidende rol speel in die wisselwerking tussen oseaan en atmosfeer wat klimaatstendense bepaal.²⁰ Langtermynoceanografiese gegewens is skaars in die Suidelike Oseaan. In hulle ondersoek na die seisoenswisselings in die seevlak wêrldwyd kon Patullo et al.²¹ in 1955 byvoorbeeld maar net 16 meetpunte suid van 40°S (dus in die Suidelike Oseaan) vind wat van nut was vir hulle ontleding. Nie een hiervan was op die vasteland Antarktika nie. Hierdie gebrek aan gegewens in die Suidelike Oseaan is nie alleen geldig vir seevlakdata nie, maar ook vir ander hidrografiese gegewens. In sy navorsing oor wisselings in die dinamiese topografie in die Stille Oseaan het Wyrtki²² aangetoon dat daar te min stasies suid van 40°S beskikbaar was om 'n ontleding van hierdie aard so ver suid enigsins nuttig

te maak. Soortgelyke gevolgtrekkings is ook deur Lutjeharms en Baker gemaak.²³

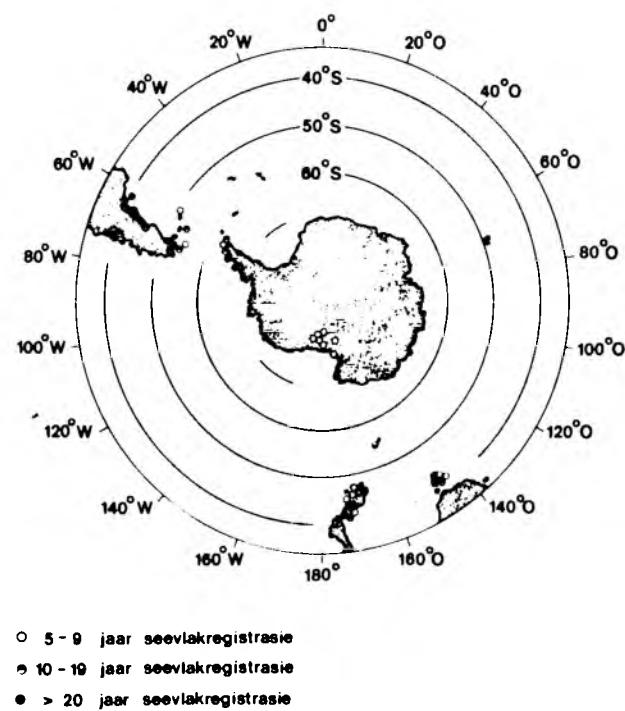
Omdat dit so 'n groot deel van die wêrldoseaan beslaan, is die Suidelike Oseaan ook belangrik bloot ter wille van beter kennis van die oseaangelyk, afgesien van die klimatologiese implikasies van seevlaklessings wat hierbo vermeld is. Aangesien die Suidelike Oseaan slegs by die Drakepassaat breedtegraadsgewys nouer is, vorm dit andersins in hoe mate 'n bree, onbelemmerde kanaal vir die getygolf. Numeriese modelle en teorië oor wêrldwyre getybeweging, soos dié van Schwiderski,²⁴ verg dus goeie gety-inligting uit die Suidelike Oseaan.

Uit die voorafgaande blyk dit dus dat langtermynlesings van die seevlak oor die hele wêrld van klimatologiese belang is, veral in die Suidelike Oseaan waar die atmosfeer-oseaanwisselwerking prominent is. Lesings van seevlak bloot ter wille van gety-inligting sou ook van algemeen natuurwetenskaplike belang in die Suidelike Oseaan wees. Dit behoort dus insiggewend te wees as 'n opname uit die bestaande vakliteratuur oor hierdie onderwerp gemaak kan word om vas te stel wat reeds hieroor bekend is.

2. HUIDIGE KENNIS OOR GETYE IN DIE SUIDELIKE OSEAAN

Dataverspreiding

Figuur 1 duis die geografiese verspreiding aan van alle bekende punte waar die seevlak suid van 40°S gemeet is, volgens die ondersoek uitgevoer deur Lutjeharms.²⁵ Die skaarste aan getylesings in die Suidelike Oseaan is onmiddellik duidelik. Slegs langs die kuste van Suid-Amerika, Nieu-Seeland, Tasmanië en, in 'n mindere mate, langs die kus van die



FIGUUR 1: Die geografiese verspreiding van alle bekende seevlakmetings in die Suidelike Oseaan (volgens Lutjeharms).²⁵

Antarktiese Skiereiland is die digtheid van getystasies enigsins vergelykbaar met die digtheid van getystasies in ander wêrelddele.²⁶ 'n Nuttige verspreiding is ook te vinde in die algemene omgewing van die Ross-see.

Hierdie verspreiding sluit egter alle historiese lesings in. As ons sou kyk na die getystasies wat op die oomblik in werking is, stel ons vas dat, met die uitsondering van 6 stasies in Tasmanië, 7 in Nieu-Seeland en 6 stasies langs die kus van Suid-Amerika, daar maar 2 getystasies bestaan wat op die oomblik suid van 40°S in werking is,²⁷ en wel op die Antarktiese Skiereiland. So ver ons kennis strek, is daar op die oomblik geen ander seevlakinstrumente op die kus van Antarktika geïnstalleer wat deurlopend lesings neem nie.

Ook is daar tot op hede slegs drie diepsee-, of pelagiese, getylesings in die Suidelike Oseaan geneem²⁸ en wel tussen Australië en Antarktika.²⁹

Die dataverspreiding oor die Suidelike Oseaan is dus oor die algemeen swak en erg heterogeen.

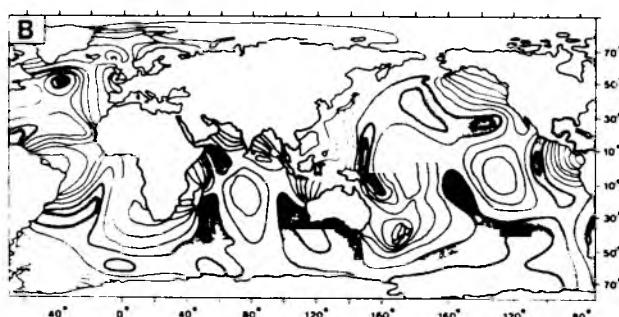
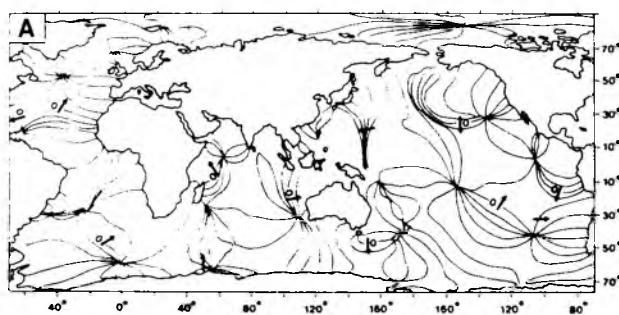
Datagehalte

Daar is egter nog 'n noemenswaardige probleem in hierdie verband, naamlik die gehalte van die historiese gegewens.

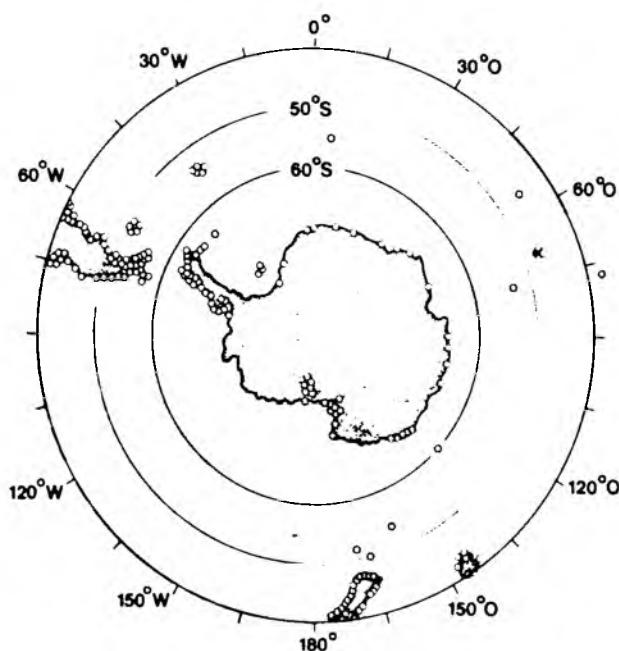
Die omgewingstoestande waaronder baie van veral die vroeëre gegewens versamel is, laat heelwat twyfel oor hulle geloofwaardigheid en gehalte. Die meetinstrumente was deurgaans primitief en nie spesifiek ontwerp om by baie lae temperature te werk nie. Bishop en Walton³⁰ bespreek uitvoerig al die probleme wat ondervind word wanneer getye by baie lae temperature gemeet word. Hierin word hulle gevold deur Thiel et al.³¹ en Macdonald en Burrows.³²

Lutjeharms et al.³³ het onlangs ondersoek ingestel na die aard van die bestaande getyreksels langs die kus van Koningin Maudland, dit wil sê, die gedeelte van die Antarktiese kus naaste aan Suid-Afrika, ongeveer tussen 30°W en 30°O. Hulle kon in totaal net 6 seevlakmetings in die vakkultuur en elders vind. Vir hierdie 6 metings is maar net 3 stelle getykonsante gepubliseer³⁴⁻³⁶ wat as 'n redelike toets van die kwaliteit van die gegewens beskou kan word. Die konstantes wat deur Shesterikov en Dubrovin³⁶ gepubliseer is, is egter van so 'n aard dat hulle skerp bevraagteken is deur Hisdal,³⁵ hoofsaaklik weens die uiters primitiewe apparaat wat vir die lesings aangewend is.³⁷ Van die oorblywende twee is die lesings deur Van Grondella³⁴ met 'n meganiese stelsel oor slegs 7 dae geneem, terwyl Hisdal³⁵ die vertikale beweging van die ys by Norwaystasie oor slegs 3 dae gemeet het. Hierdie metings kan dus as uiters karig beskou word omdat hul rekordlengtes hul nie leen tot die berekening van 'n volledige stel getykonsantes nie.

Uit altesaam 6 metings langs hierdie kusgedeelte is daar dus net twee stelle met enige waarde, en boonop is hierdie waarde erg beperk. Daar kan met redelike vrymoedigheid aangeneem word dat 'n ondersoek na die aard en gehalte van die historiese metings wat vir die res van Antarktika (Figuur 1) bekend is, soortgelyke resultate gaan oplewer, naamlik dat slegs 'n



FIGUUR 2: Resultate van 'n gesofistikeerde, moderne numeriese model vir die wereldgety vir die M_2 getykomponent volgens Schwiderski.²⁴ Paneel A toon die Greenwich-getyfase-ewelyne in 30° inkremente met die rigting van die getygolf om elke amfidromiese punt wat met 'n pyletjie aangedui word, beginnende met 0° relatief tot Greenwich. In die onderste paneel, B, word die gety-amplitude se ewelyne in 10 cm inkremente aangedui. Gebiede waar die M_2 gety-amplitude minder as 20 cm is, is ingekleur.



FIGUUR 3: Die geografiese verspreiding van alle bekende seevlakmetings in die Suidelike Oseaan waarvan die tydsduur 5 jaar oorskry (volgens Lutjeharms en Alheit).⁴⁶

breukdeel daarvan werklik bestaan uit akkurate lesings oor 'n periode wat lank genoeg is om die resultate vir getystudies bruikbaar te maak.

Die verspreiding van historiese getystasies, soos weergegee in Figuur 1, is dus misleidend, aangesien die verspreiding van bruikbare rekords baie swakker is.

Kennis van die getye

Getye kan net deurtastend bestudeer en getymodelle net saamgestel word as voldoende getylesings beskikbaar is. Titov en Shesterikov³⁸ wys daarop dat die gebrek aan publikasies oor die fundamentele beginsels van getybewegings en -gedrag in die Suidelike Oseaan regstreeks te wyte is aan die beperkte aantal getylesings.

Ook die heterogene verspreiding van historiese datapunte maak dit uiter moeilik om getymodelle in hierdie gebied behoorlik te kalibreer. Titov en Shesterikov³⁸ het aangetoon dat die verskil tussen hulle globale getymodel, wat nie 'n amfidromiese punt of getynode suidoos van Madagaskar toon nie, en 'n vorige model deur Dietrich,³⁹ wat wel so 'n punt vertoon, slegs deur middel van kritiese lesings by die Crozet-eilande opgelos kan word. Sulke lesings was destyds nie beskikbaar nie. Selfs enkele datapunte kan dus, in sekere gevalle, van kardinale belang wees vir 'n behoorlike begrip van die gety. Die gebreklike verspreiding van historiese getylesings is hier 'n wesenlike probleem.

Daar was wel 'n paar pogings om die beskikbare data op te neem in kartografiese voorstellings soos dié van Dietrich³⁹ en Villain.⁴⁰ Die getykaarte in getyatlasse soos dié van die *US Navy Hydrographic Office*,⁴¹ asook dié so pas genoem, kan dus maar as baie hipoteties beskou word. Dit is veral die komponente van die getye met lang tydkonstante waарoor daar maar weinig inligting in die Suidelike Oseaan⁴² bestaan.

Schwiderski²⁴ het onlangs die resultate gepubliseer van die gesofistikeerdeste numeriese getymodel, tans bedryf deur die *US Naval Surface Weapons Center*. Die voorstelling wat dié model maak van die eienskappe van die M_2 -gety in die wêrldoseaan, word in Figuur 2 weergegee. Hy maak daarop aanspraak dat die harmoniese konstante, soos weergegee in sy atlas, korrek is tot binne 5 cm vir enige tyd en plek in die wêrldoseaan, met uitsondering van sommige kusgebiede waar sekondêre effekte 'n rol speel. Volgens onlangse waarnemings deur Lutjeharms et al.³³ langs die kus van Koningin Maudland hou hierdie aanspraak wel steek, ten minste vir hierdie geografiese gebied. Dit is nietemin duidelik dat daar nog baie lesings met akkurate, moderne instrumentasies geneem sal moet word om hierdie numeriese modelle se akkuraatheid te bepaal en om hulle te kalibreer.

Klimatologiese inligting

Die dringende behoefte aan navorsing oor die langtermyn-wisselwerking tussen atmosfeer en oseaan wat die klimaat kan bepaal in die Suidelike Halfrond in die algemeen en in die Suidelike Oseaan in die

besonder, word in die literatuur benadruk.²⁰ Sekere voorlopige ondersoek is reeds uitgevoer na die tussenjaarlikse stroomveranderlikheid langs die 20°O meridionale oseanalogiese snit tussen Afrika en Antarktika⁴³ en oor die veranderings in die hidrologiese eienskappe langs hierdie snit.⁴⁴ Die tydperk waарoor hierdie lesings geneem is, strek van 1935 tot 1970. Akkurate, langtermyn-seevlaklesings sou baie meer hanteerbaar en heelwat goedkoper wees om sulke langtermyn klimatologiese tendense te bestudeer.

Kudryavtsev⁴⁵ het byvoorbeeld reeds aangetoon dat nie-periodiese, tussenjaarlikse wisselings in die seevlak van tot 20 cm langs die Antarctiese kus voorkom.

Langtermynrekords word uiteraard benodig om die langtermyn-seevlaktendense vir klimatologiese doelendes te bestudeer. Die verspreiding van historiese seevlakrekords langer as vyf jaar in die Suidelike Oseaan is deur Lutjeharms en Alheit bepaal⁴⁶ en word in Figuur 3 weergegee. Daar is maar net 40 sulke stasies suid van 40°S bekend en hiervan het net een (dié by Port Nelson, Nieu-Seeland) rekords van meer as 20 jaar, terwyl daar 23 rekords van tussen 10 en 19 jaar is. Van die laasgenoemde is daar maar vier op die Antarctiese vasteland, en wel op die Antarctiese Skiereiland, terwyl daar een op Macquarieeiland te vind is.

Bowendien is dit belangrik om daarop te let, soos Groves⁴⁷ aangedui het, hoe belangrik die effek van lugdruk op seevlak is wanneer daar gekyk word na die oorblywende sein nadat die getykomponent uit die rekord verwyder is. Baie min van die langer seevlaklesings in die Suidelike Oseaan is gesteun deur lugdrukmetings wat terselfdertyd geneem is. Weinig van die bestaande lesings is dus hoegenaamd van nut by die bestudering van die seevlak oor die lang termyn.

Seestroomveranderlikheid

Soos hierbo aangedui, kan wisselings in die barotropiese komponent van stroomtransport bepaal word deur langtermyn-seevlaklesings oor die breedte van die stroom. Daar is reeds aangetoon dat die strome in die Suidelike Oseaan se wisselings hoofsaaklik barotropies van aard is, sodat dié gebied by uitstek geskik is vir hierdie soort klimatologiese en oseanalogiese ondersoek. In sy navorsing om te bepaal watter faktore die belangrikste is by die langtermynveranderings in die seevlak rondom Nieu-Seeland, het Heath⁴⁸ tot die slotsom geraak dat die intensiteit van die seestrome en die digtheid van die plaaslike watermassas die grootste bydraes tot sulke veranderings lewer.

Sulke lesings was dan ook 'n integrerende deel van die Internasionale Suidelike Oseaan-Studie van die jare sewentig se program.⁴⁹ Drukmeters is byvoorbeeld vir 'n tydperk van drie jaar op 500 m diepte dwarsoor die Drakepassaat geplaas, en elke jaar herwin en vervang. Lesings is vertolk aan die hand van wisselings in die massatransport van die Antarctiese Sirkumpolêre Stroom.⁵⁰ Wearn en Baker^{50,51} se gevolgtrekking was dat wisselings met 'n periode van

langer as 30 dae 'n hoë korrelasie toon met wisselings in die sonaal geïntegreerde windspanning. Wearn en Baker⁵⁰ se groot bydrae bestaan ook daarin dat hulle bewys gelewer het dat akkurate drukgetymeters in Antarktiese toestande vir baie lang periodes ontplooi kan word. Hierdie tegnologiese deurbraak skep opwindende nuwe moontlikhede.

Vertikale ysbewegings

Min navorsing is gedoen oor die verband tussen die vertikale beweging van die ys en getybeweging. Die meeste navorsers het maar aangeneem dat die beweging van die ys 'n duidelike weergawe van die gety is, soos Hisdal,³⁵ om maar een te noem. Thiel et al.³¹ het egter aangetoon dat die ys onderhewig is aan hoëfrekwensiabewegings en aanvaar dat dit te wyte is aan veranderlike seestrome. Daar is ook al aangetoon dat ys 'n dempende invloed op die getygolf kan hê en so sy fase merkbaar vertraag (K.P. Kolterman, persoonlike mededeling). Getystrome self is by etlike punte gemeet, soos by Norwaystasie deur Sverdrup.⁵² Die omvattendste kennis van die verband tussen oseaangetye, getystrome en golwe onder die permanente ysbekkering bestaan oor die Ross-see, waar heelwat eksperimentele werk deur Williams en Robinson⁵³ uitgevoer is. Baie min inligting van hierdie aard is egter beskikbaar vir ander dele van die Suidelike Oseaan.

3. GEVOLGTREKKINGS

Uit die voorafgaande blyk dit duidelik dat daar 'n hele paar beduidende en ernstige leemtes in ons kennis oor die getye in die Suidelike Oseaan bestaan, en dat dit waarskynlik ten beste op die volgende wyse aangevul sal kan word:

A. 'n Veel groter aantal akkurate bepalings van getykonstantes moet met moderne apparaat oor die oorgrote deel van die Suidelike Oseaan gedoen word.

Die verspreiding van die stasies behoort geografies baie egaliger as voorheen te wees en die hele Antarktiese kuslyn, die Antarktiese en Sub-Antarktiese eilande en die diepsee insluit. In elke geval behoort die lesings langer as 30 dae te duur, sodat 'n redelik volledige stel getykonstante bereken kan word.

B. 'n Groter aantal getystasies behoort deurlopend oor 'n lang termyn te meet, en dié stasies moet verkieslik geografies so gespasieer wees dat die wisselings in die oseansirkulasie doeltreffend geïmoneer kan word.

Dit is egter belangrik dat lugdruklesings gelykydig geneem word⁴⁷ en, ideaal gesproke, dat see-strome gemeet word⁵⁴ en dat instrumente, nadat hulle herwin is, noukeurig gekalibreer word om die langtermyndrif te bepaal.⁵⁵

C. Seevlakregistrasie-apparaat wat geskik is vir Antarktiese toestande, moet gebruik word. Daar word in die vakkultuur by herhaling gewys op die probleme wat in hierdie verband ondervind is.³⁰⁻³² Akkurate getymeters wat op die drukbeginsel werk is egter al by verskeie geleenthede op

verskillende dieptes in die Suidelik Oseaan geplaas vir korter^{56,33} of vir veel langer tydperke.⁵⁰

- D. Daar is reeds duidelik aangetoon dat die hoogtemeters wat aan boord van die SEASAT-satelliet gebruik is, akkuraat genoeg was om die oseaangety te bepaal.⁵⁷⁻⁵⁹ Dit is dus belangrik dat die wentelbane van satelliete wat nou beplan word en wat hoogtemeters aan boord sal hê, so ontwerp word dat hulle geskik is vir getylesings en 'n goeie dekking oor die Suidelike Oseaan sal gee. As sulke satellietgegewens eers geredelik beskikbaar is, sal die geografiese dekking van die getygolf, veral in die diepsee, aansienlik verbeter. Akkurate seevlakstasies sal egter nog nodig wees om die satellietgegewens te kalibreer. Die behoeftes aan langtermynseevlaklesings vir klimatologiese ondersoek sal ook nie afneem nie.

DANKBETUIGINGS

Hierdie literatuuroorsig het voortgevloeи uit 'n projek wat vir die *Committee for Climatic Change and the Ocean* (CCCO) van die Wêreldweerprogram onderneem is met geldelike steun van die Koöperatiewe Wetenskaplike Programme (tans die Stigting vir Navorsingsontwikkeling). Dit het gedien as die skrywer se bydrae tot die werksaamhede van Werkgroep 74 van die Wetenskapkomitee vir Oseanografiese Navorsing (SCOR) van ICSU, waarvan hy lid is en wie se opdrag dit is om langtermynnavorsingsdoelwitte vir die Suidelike Oseaan te bepaal.

VERWYSINGS

1. Association D'Oceanographie Physique (1955). *Bibliography on Tides, 1665-1939*, Association D'Oceanographie Physique, Union Géodésique et Géophysique Internationale, Bergen, 220 pp.
2. Lisitzin, E. (1963). Mean sea level, *Oceanogr. mar. Biol. Ann. Rev.*, 1, 27-45.
3. Etkins, R. & Epstein, E.S. (1982). The rise of global mean sea level as an indication of climatic change, *Science*, 215, 287-289.
4. Roden, G.I. (1966). Low-frequency sea level oscillations along the Pacific coast of North America, *J. geophys. Res.*, 71, 4755-4776.
5. Rossiter, J.R. (1967). An analysis of annual sea level variations in European waters, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 12, 259-299.
6. Tvi, N.N. (1970). Seasonal sea-level variations of the South China Sea and their causes, *Oceanology*, 10, 465-471.
7. Borisov, L.A. (1976). Variations in the mean level of the East Siberian, Chukchi, and Bering Seas, *Oceanology*, 15, 702-705.
8. Hicks, S.D. (1981). Long-period sea level variations for the United States through 1978, *Shore and Beach*, 49, 26-29.
9. Hamon, B.V. (1962). The spectrum of mean sea level at Sydney, Coff's Harbour, and Lord Howe Island, *J. geophys. Res.*, 67, 5147-5155.
10. Lisitzin, E. (1967). Day-to-day variations in sea level along the Finnish coast, *Geophysica*, 9, 259-275.
11. Chelton, D.B. (1981). Interannual variability of the California Current - physical factors, *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report*, 22, 34-48.
12. Wunsch, C., Hansen, D.V. & Zetler, B.D. (1969). Fluctuations of the Florida Current inferred from sea level records, *Deep-Sea Res.*, Supplement to Vol. 16, 447-470.
13. Blaha, J. & Reed, R. (1982). Fluctuations of sea level in the western North Pacific and inferred flow of the Kuroshio, *J. phys. Oceanogr.*, 12, 669-678.
14. Kawabe, M. (1980). Sea level variations around the Nansei Islands and the large meander in the Kuroshio south of central Japan, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 36, 227-235.

15. Wyrtki, K. (1977). Sea level during the 1972 El Niño, *J. phys. Oceanogr.*, 7, 779-787.
16. National Academy of Sciences (1974a). *Southern Ocean Dynamics: A strategy for scientific exploration, 1973-1983*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 52 pp.
17. National Academy of Sciences (1974b). *The Role of the Ocean in Predicting Climate: A report of workshops*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 47 pp.
18. Baker, D.J. (1975). *The Climate and the Ocean: Long-term needs for understanding*. Written testimony for the hearings on H.R. 10013, a bill to establish a National Climate Program, 94th U.S. Congress, 1st Session, 6 pp.
19. Scientific Committee on Antarctic Research. (1983). *Antarctic Climate Research*. Scientific Committee on Antarctic Research, International Council of Scientific Unions, (editor: I. Allison), 65 pp.
20. Gillooly, J.F. & Lutjeharms, J.R.E. (1984). The Ocean and Climate: large-scale ocean-atmosphere interactions in the southern hemisphere, *S. Afr. J. Sci.*, 80, 36-40.
21. Patullo, J., Munk, W., Revelle, R. & Strong, E. (1955). The seasonal oscillation in sea level, *J. mar. Res.*, 14, 88-156.
22. Wyrtki, K. (1975). Fluctuations of the dynamic topography in the Pacific Ocean, *J. phys. Oceanogr.*, 5, 450-459.
23. Lutjeharms, J.R.E. & Baker, D.J. (1979). Intensities and scales of motion in the Southern Ocean, *S. Afr. J. Sci.*, 75, 179-182.
24. Schwiderski, E.W. (1983). *Atlas of Ocean Tidal Charts and Maps, Part 1: The semidiurnal principal lunar tide M_2* , *Mar. Geod.*, 6, 219-265.
25. Lutjeharms, J.R.E. (1980). *Sea Level in the Southern Ocean; a catalogue of measurements*. National Research Institute for Oceanology, CSIR, Stellenbosch, CSIR Research Report 365, 206 pp.
26. Lutjeharms, J.R.E. & Alheit, M.M. (1983). *Sea-level in the World Ocean. Parts I-VII. A catalogue of measurements*. National Research Institute for Oceanology, CSIR, Stellenbosch, CSIR Technical Reports, T/SEA 8303/1 to 8303/7.
27. Intergovernmental Oceanographic Commission (1983). *Operational sea-level stations*. Intergovernmental Oceanographic Commission, Unesco, Technical Series 23, 40 pp.
28. Cartwright, D.E., Zetler, B.D. & Hamon, B.V. (1979). *Pelagic tidal constants*. IAPSO, Publication Scientifique No. 30, 65 pp.
29. Irish, J.D. & Snodgrass, F.E. (1972). Australian-Antarctic tides. In *Antarctic Research Series*, Vol. 19, *Antarctic Oceanology II: The Australian-New Zealand Sector*, Hays, D.E. ed. (American Geophysical Union) pp. 101-116.
30. Bishop, J.F. & Walton, J.L.W. (1977). Problems encountered when monitoring tidal movements in extremely cold conditions, *Polar Rec.*, 18, 502-505.
31. Thiel, E.L., Crary, A.P., Haubrich, R.A. & Behrendt, J.C. (1960). Gravimetric determination of ocean tide, Weddell and Ross Seas, Antarctica, *J. geophys. Res.*, 65, 629-636.
32. MacDonald, W.J.P. & Burrows, A.L. (1959). Sea-level recordings at Scott Base, Antarctica, 1957, *N. Z. J. Geol. Geophys.*, 2, 297-314.
33. Lutjeharms, J.R.E., Stavropoulos, C.C. & Kolterman, K.P. (1985). On recent tidal measurements off Queen Maud Land, Antarctica, *Antarc. Res. Ser.*, submitted.
34. Van Grondelle, A. (1967). New tidal measurements in Antarctica, Queen Maud Land, Breidbay, *Hydrogr. News.*, 1, 295-302.
35. Hisdal, V. (1965). On the tides at Norway Station, *Norsk Polarinstitutt, Skrifter Nr. 133*, Den Norske Antarktisekspedisjonen, 1956-60, Scientific Results No. 9, 21 pp.
36. Shesterikov, N.P. & Dubrovin, L.I. (1965). Tides in the Lazarev Station area, *Sov. Antarc. Exped., Info. Bull.*, 5, 52-54.
37. Dubrovin, L.I. (1964). On the ocean fluctuations in the Lazarev Station area, *Soviet Antarc. Exped. Info. Bull.*, 1, 213-214.
38. Titov, V.B. & Shesterikov, N.P. (1965). Propagation and character of the tidal wave in the Antarctic Ocean. *Sov. Antarc. Exped., Info. Bull.*, 5, 170-172.
39. Dietrich, G. (1944). Die Swingungssysteme der halb – und eintägigen Tiden in den Ozeanen, *Veröffentlichungen der Institut für Meereskunde der Universität Berlin*, A(41).
40. Villain, C.M. (1952). Cartes des lignes cotidales dans les océans, *Annal. Hydrogr.*, 4, 3.
41. U.S. Navy Hydrographic Office (1957). *Oceanographic Atlas of the Polar Seas. Part I, Antarctica*. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, D.C.
42. Vorob'yev, V.N. (1973). Contribution to the study of long-period tides in the Antarctic, *Sov. Antarc. Exped., Info. Bull.*, 8, 434-435.
43. Treshnikov, A.F., Grigor'ev, Yu.A. & Belinskaya, L.A. (1970). The multiannual variability of currents along the 20°E section, *Probl. Arc. Antarc.*, 33-35, 21-28.
44. Shamontyev, V.A. (1977). Changes in the hydrological characteristics of the Southern Ocean along the 20°E meridian. In *Polar Ocean*, Dunbar, M.J. ed. (Arctic Institute of North America) pp. 77-85.
45. Kudryavtsev, N.F. (1973). Aperiodic sea-level fluctuations in Ardley Inlet, *Sov. Antarc. Exped., Info. Bull.*, 8, 153-154.
46. Lutjeharms, J.R.E. & Alheit, M.M. (1982). *Long-term sea level measurements; a global catalogue*. National Research Institute for Oceanology, C.S.I.R., Stellenbosch, CSIR Technical Report T/SEA 8210, 99 pp.
47. Groves, G.W. (1957). Day to day variations of sea level. In *Interaction of Sea and Atmosphere, Meteorological Monographs*, 2, 32-45.
48. Heath, R.A. (1976). Estimates of the components of sea surface elevation contributing to the long-term variation of mean sea level around New Zealand, *J. Roy. Soc. N.Z.*, 6, 95-105.
49. National Science Foundation (1980). *Program summary of the International Southern Ocean Studies*. National Science Foundation, 43 pp.
50. Wear, R.B. & Baker, D.J. (1980). Bottom pressure measurements across the Antarctic Circumpolar Current and their relation to the wind, *Deep-Sea Res.*, 27, 875-888.
51. Chelton, D.B. (1982). Statistical reliability and the seasonal cycle: comments on "Bottom pressure measurements across the Antarctic Circumpolar Current and their relation to the wind", *Deep-Sea Res.*, 29A, 1381-1388.
52. Sverdrup, H.U. (1954). Tidal currents off the Antarctic ice barrier, Queen Maud Land, *Archiv Meteor. Geophys. Biokl.*, A, 385-390.
53. Williams, R.T. & Robinson, E.S. (1979). Ocean tide and waves beneath the Ross Ice Shelf, Antarctica, *Science*, 203, 443-445.
54. Provis, D.G. & Radok, R. (1979). Sea-level oscillations along the Australian coast, *Austr. J. mar. freshw. Res.*, 30, 295-301.
55. Wear, R.B. & Larson, N.G. (1980). *The Parascientific pressure transducer, measurement of its sensitivities and drift*. Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, technical report APL/UW 8011.
56. Foldvik, A., Gammelsrød & Tørresen, T. (1981). Measurements of ocean current and bottom pressure near Bøuvetoya, January-March 1979, *Norsk Polarinstitutt Skrifter*, 175, 105-112.
57. Brown, R.D. & Hutchinson, M.K. (1981). Ocean tide determination from satellite altimetry. In *Oceanography from Space*, Gower, J.F.R. ed., Marine Science Vol. 13 (Plenum Press, New York) pp. 897-906.
58. Cartwright, D.E. & Alcock, G.A. (1981). On the precision of sea surface elevations and slopes from SEASAT altimetry of the Northeast Atlantic Ocean. In *Oceanography from Space*, Gower, J.F.R. ed., Marine Science Vol. 13 (Plenum Press, New York) pp. 885-895.
59. Diamante, J.M. & Nee, T.-S. (1981). Application of satellite radar altimeter data to the determination of regional tidal constituents and the mean sea surface. In *Oceanography from Space*, Gower, J.F.R. ed., Marine Science Vol. 13 (Plenum Press, New York) pp. 907-918.