



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Ödsmål. Kville sn, Bohuslän

Hällristning
Fiskare från
bronsåldern

Rock carving
Bronze age
fishermen



MEDDELANDE från
HAVSFISKELABORATORIET • LYSEKIL

nr

78

Hydrografiska avdelningen, Göteborg

Om Östersjön och svavelvätet

av

Stig H. Fonselius

(Föredrag för Sällskapet Riksdagsmän och
Forskare den 25.2.1970)

Februari 1970

Om Östersjön och svavelvätet.

Stig. H. Fonselius

Östersjön räknas till de små intrakontinentala medelhaven. Dess vattenbalans är positiv, d.v.s. den årliga tillförseln av sötvatten från älvar och nederbörden är större än avdunstningen under året. I Östersjön är den årliga nederbörds mängden nästan lika stor som avdunstningen och man kan säga att de upphäver varandra och räkna med att sötvattentillförseln motsvarar flodvattenavrinningen. Enligt moderna beräkningar är flodvattenavrinningen $471 \text{ km}^3/\text{år}$. Östersjön bildar världens största bräckvattenområde. Det söta älvvattnet blandas där med saltvatten från oceanen. Då Östersjöns vatten således, som vi av erfarenhet vet är salt, måste saltvatten rinna in genom de danska sunden. Överskottet av vatten måste naturligtvis rinna ut ur Östersjön, om dennas nivå skall hålla sig någorlunda konstant.

Sötvatten är lättare än saltvatten och därför bildas det två olika vattenlager i Östersjön, ett lättare ytlager med mycket låg salthalt och ett tyngre djuplager med högre salthalt. De två lagren åtskiljs av ett s.k. salthalts- eller täthetssträngskikt (haloklinen) där salthalten plötsligt inom ett tiotal m. drastiskt ändras. Överskottet av ytvatten kommer att rinna ut ur Östersjön och bildar den "Baltiska Strömmen" som i Kattegatt vanligen återfinns längs den svenska kusten. Strömmen fortsätter ut i Skagerack och följer den norska kusten norrut i Atlanten. Den Baltiska Strömmen känns igen på sin låga salthalt. I Öresund och Bälten märks den som en netto uttransport av vatten under året. Tillfälligt kan strömmen växla riktning och gå in eller ut beroende på meteorologiska förhållanden. I själva Östersjön cirkulerar ytvattnet motsols, om man ritar en medelströmkarta för hela året. Lokalt bestäms strömriktningen av vindförhållandena. Att vattnet cirkulerar motsols visas också av att det sötaste vattnet finns i Finska Viken längs den norra kusten, i Bottniska Viken och själva Östersjön längs den svenska kusten.

Det saltvatten som upprätthåller salthalten i Östersjöns djupvatten, tränger in genom Bälten som en bottenström. Denna bottenström är oregelbunden och kommer in i stötar, också beroende på klimatologiska faktorer. Den inströmmande mängden saltvatten har beräknats vara $471 \text{ km}^3/\text{år}$, således lika stor som flodvattentillförseln. Utströmmen genom sunden måste då vara summan av flodvattentillförseln och inströmmen av saltvatten, således $942 \text{ km}^3/\text{år}$.

Då ytvattnet och djupvattnet således har olika och avsevärt lägre salthalt än oceanvattnet, måste ett vattenutbyte mellan yt- och djupvattnet ske i vardera riktningen genom strängskiktet. Detta utbyte kan

beräknas om man känner medelsalthalterna i yt- och djupvattnet samt salthalten i det inströmande vattnet. Fig. 1 visar en s.k. "boxmodell" av Östersjön där denna indelas i ett ytlager och ett djuplager åtskiljda av ett språngskikt. Vi kallar sötvattentillförseln V_0 (vi bortser här från nederbörd och avdunstning som ju uppväger varandra), utströmmen av ytvattnet genom sunden V_1 och inströmmen av saltvatten i botten V_2 . Medelsalthalten i ytvattenlagret kallar vi a , medelsalthalten i bottenvattnet b och medelsalthalten i det inströmande vattnet c . Slutligen betecknar vi uppblandningen och nedblandningen genom språngskiktet med respektive X och Y . Då kan vi uppställa följande ekvationer:

$$1) \quad V_0 + X = V_1 + Y$$

$$2) \quad aY + cV_2 = bX$$

Vi har två ekvationer med två obekanta. $V_0 = 471 \text{ km}^3$, $V_1 = 942 \text{ km}^3$ och $V_2 = 471 \text{ km}^3$. Grovt räknat är $a = 7 \text{ ‰}$, $b = 11 \text{ ‰}$ och $c = 17.5 \text{ ‰}$. X och Y sökes. Lösning av ekvationen ger:

$$X = 1236 \text{ km}^3$$

$$Y = 765 \text{ km}^3$$

Vi måste här lägga på minnet att salthalterna endast är grova uppskattningar och att utbytesmängderna därför är ungefärliga. Att kunna bättre bestämma dessa tal, är en av de viktigaste uppgifterna i försöken att bättre kunna förstå de mekanismer som reglerar syreförhållandena i Östersjön.

Salthaltssprångskiktet ligger i Arkonabäckenet på 25-30 m. djup, i Bornholmsbäckenet på 40-45 m. djup och i centrala Östersjön på omkring 60 m. djup. Språngskiktet är ett spärrskikt som försvårar vattenutbytet mellan de två vattenmassorna. På så sätt försvårar det också tillförseln av syre till djupvattnet. Östersjöns ytvatten står i ständigt gasutbyte med luftlagren ovanför ytan och normalt är ytvattnet mättat med syrgas. Ytvattnets förmåga att uppta eller lösa syrgas, beror av temperatur och salthalt hos vattnet. Ytvattnets salthalt är relativt konstant och därför regleras syrelösligheten i huvudsak av temperaturen som är utsatt för stora årstidsvariationer. Störst är lösligheten under vintern då vattnet är kallast (8-10 ml/l) och lägst under sensommaren då vattnet är varmest (6-7 ml/l). Vid hastig avkylning kan en tillfällig liten undermättnad uppstå och vid hastig uppvärmning kan övermättnad förekomma.

Gröna växter producerar ju vid sin kolsyreassimilation syre och vid massförekomst av fytoplankton kan övermättnad av syre i ytvattnet också förekomma. Vid organiska ämnens sönderfall (oxidation) med hjälp av bakterier förbrukas syre och vid en verklig överproduktion av plankton

i ytvattnet, ökas mängden död organisk materia så mycket att denna vid sin nedbrytning förbrukar allt syre i vattnet och förorsakar total syrebrist i hela området. Detta fenomen kan förekomma i instängda vikar och även i vissa fall på våren under isen. I öppna havet spelar sådana processer ingen större roll och vi kan i allmänhet utgå ifrån att ytvattnet där är praktiskt taget mättat med syre.

Vid vinteravkylningen ökas ytvattnets täthet och det sjunker nedåt. Varmare vatten från underliggande lager måste då i sin tur stiga uppåt mot ytan, för att sedan i sin tur avkylas genom kontakt med luften. Denna rörelse kallas "vertikal konvektion". Den förnyar djupvattnet och transporterar syremättat vatten nedåt. Samtidigt förs närsalter från djupare lager uppåt. Täthetsskillnaden mellan vattnet ovanför och under språngskiktet är dock i egentliga Östersjön för stort, för att denna s.k. vinterkonvektion skall kunna tränga ned i djupvattenlagret. Vattnet syrsätts således ned till språngskiktet under vintermånaderna. Detta sker i Östersjön i januari - mars.

Då ytvattnet börjar uppvärmas på våren, blir de översta vattenskiikten lättare och det bildas ett tunnt varmt ytlager som under sommarens lopp tilltar i tjocklek. Ju längre och intensivare uppvärmningen pågår, destu djupare ned utbreder sig varmvattenskiikten. Det åtskiljes från det underliggande kalla vattnet av ett temperatursprångskikt, som kan vara ytterst skarpt. Det kan nå ned till över 30 m. under sommaren. Mellan detta temperatursprångskikt och salthaltssprångskiktet, ligger resterna av föregående vinters kalla ytvatten. Detta lager framträder på temperaturdiagrammet som ett minimum. Vattnet under det permanenta salthaltssprångskiktet håller ständigt en temperatur av 4-6°. Det händer tidvis att ovanligt salt och således tungt vatten rinner in genom Bälten över Darssertröskeln. Detta vatten lägger sig som ett extra tungt och salt lager i botten av de djupaste bäcken. Mellan detta vatten och det vanliga djupvattnet bildas då ett sekundärt salthaltssprångskikt, som ligger kvar mer eller mindre markerat under längre eller kortare tid. De olika vattenlagren och språngskikten framgår bäst av fig. 2.

Djupvattnet i Östersjön rör sig motsols runt Gotland. Det saltvatten som rinner in över Darssertröskeln kommer först till det 55 m. djupa Arkonabäckenet. Detta fylls upp till tröskeldjupet till nästa bäcken, med tungt saltvatten. Tröskeldjupet mellan Sandhammaren och Hammeren på Bornholm är 45 m. När Arkonabäckenet fyllts till tröskeldjupet, börjar vatten med hög salthalt rinna ned i Bornholmsbäckenet öster om Bornholm. Detta relativt stora bäcken har ett maximumdjup av 105 m. Tröskeln till det stora östra Gotlandsbäckenet ligger vid Stolpe Ränna. Tröskeldjupet är 60 m. När således Bornholmsbäckenet fyllts med salt-

vatten upp till 60 m. nivån, börjar saltvatten rinna ned i Gotlandsbäckenet. Därifrån kan vattnet över en troligen 115 m. djup tröskel fortsätta ned i norra Centralbäckenet som sträcker sig från Finska Viken till Landsort och innefattar Östersjöns största djup, det 459 m. djupa Landsortsdjupet. Från detta bäcken kan det tunga saltvattnet ännu fortsätta söderut till västra Gotlandsbäckenet över en 100 m. tröskel. Från detta område kan djupvattnet ej fortsätta söderut på grund av det avtagande vattendjupet. Det blandas därför upp i ytvattnet. Bottniska Viken skyddas av en 45 m. tröskel som hindrar djupvattnet att tränga in.

Hur långt in i Östersjön denna inströmningsprocess når, beror på mängden saltvatten som rinner in. Det inrinnande saltvattnet tränger undan det lättare vatten som tidigare fanns i bäckenet. Om nästa saltvatteninbrott utgörs av lättare vatten, glider det över det tyngre vattnet, som sålunda kan ligga kvar under flera år. Genom diffusion och turbulens i gränslagret till det lättare vattnet, sker småningom en utspädning av det tunga vattnet, så att det slutligen kan trängas undan vid ett nytt saltvatteninbrott.

Det undanträngda vattnet sprids från östra Gotlandsbäckenet norrut och delar sig i Centralbäckenet i två armar. Den ena går mot Finska Viken och blandas småningom upp i ytvattnet som huvudsakligen består av sötvatten från Nevan, Narva och Kymmene älv. Den andra armens vatten förs västerut ned i Landsortsdjupet och sedan söderut mellan Öland och Gotland. Därefter blandas det återstående vattnet upp i ytvattnet. Detta vatten har en hög närsalthalt och "gödselar" därigenom det näringsfattiga ytvattnet.

Det vatten som rinner in i Östersjön och bildar djup- och bottenvatten, kan ej mera effektivt förnya sitt förråd av syre. Detta förhindras av språngskiktet som utgör ett spärrskikt för gasutbytet. På grund av den nyss beskrivna cirkulationen kommer därför djupvattnets syre att avta ju längre in i Östersjön man kommer och även motsols runt Gotland. Syreförbrukningen beror på att organiska föreningar vid sin bakteriella nedbrytning oxideras, d.v.s. bildar nedbrytningsprodukter med syre. Slutprodukterna vid denna process består av organiska föreningar som koldioxid (CO_2), vatten (H_2O), nitratjoner (NO_3^-), fosfatjoner (PO_4^{3-}) o.s.v. Djupvattnet tillförs organiska föreningar uppifrån, genom att planktonorganismer i ytvattnet dör och sjunker nedåt. Ju större planktonproduktionen i ytan är, destu större blir syreförbrukningen i djupvattnet. Som nämnts, kan tyngre vatten bli liggande i de stora bäcknen under längre tid. Syret i detta vatten kan då helt förbrukas. Som vi vet, finns det bakterier överallt i naturen och således också i havsvatten. När det fria syret i vattnet nästan helt förbrukats,

börjar vissa denitrifikationsbakterier sin verksamhet. Dessa kan med hjälp av det syre som finns i nitratjoner oxidera organiska föreningar. Därvid förvandlas nitratjonerna (NO_3^-) först till nitritjoner (NO_2^-) och dessa sedan vidare till fritt kväve (N_2) eller kanske till ammoniumjoner (NH_4^+). Det finns relativt litet nitratjoner i havsvatten och när dessa tagit slut, börjar en annan bakteriell process som är betydligt mera märkbar. Sulfatjoner (SO_4^{2-}) börjar förvandlas till sulfidjoner (HS^-). Syret åtgår även här till oxidationen av organiskt kol till koldioxid. Vad vi i dagligt tal kallar svavelväte, bildas i vattnet. Man känner igen det på dess obehagliga lukt, redan i mycket små koncentrationer. Svavelvätet är en giftig gas som löser sig i vatten och dödar allt högre liv i vattnet. Därför är svavelvätebildningen en katastrof för områdets bottenfauna. Svavelvätebildningen sker mycket snabbt när den väl har kommit igång och stora områden kan förgiftas.

Detta är vad som under de senaste åren har skett i Östersjön. I slutet på 1967 började svavelväte igen bildas i Gotlandsdjupet och under 1968 fanns det svavelväte i Bornholmsbäckenet, Östra Gotlandsbäckenet, Norra Centralbäckenet, och Västra Gotlandsbäckenet. En sådan svavelväteförgiftning har aldrig tidigare iakttagits i Östersjöns djupbäcken. Orsaken till denna svavelvätebildning är den allt mer ökande syrenedgången i Östersjöns djupvatten som observerats sedan sekelskiftet. Det finns flera teorier som försöker förklara detta fenomen. Man vet att salthalten i Östersjön ökat under detta sekel och proportionellt mera i djupvattnet än i ytvattnet. Detta har ökat stabiliteten i vattenskiktningen, så att syretransporten genom sprängskiktet minskats. Samtidigt har djupvattnets temperatur ökat mer än 1°C , troligtvis på grund av att världshavets temperatur ökat under seklet. Detta ökar oxidationshastigheten, d.v.s. nedbrytningshastigheten för organiskt material i vattnet. En kemisk reaktion, som t.ex. en oxidationsprocess ökar sin hastighet med stigande temperatur enligt Van't Hoff's princip. I sötvatten har man funnit att en 10° ökning av temperaturen ökar oxidationshastigheten till den dubbla och i vissa fall t.o.m. till den tredubbla. En temperaturförhöjning på 1° kan då förmodas öka reaktionshastigheten med omkring 10%. Detta vore ju ej så farligt om tillförseln av organiskt material var den begränsande faktorn för oxidation. De kommunala och industriella utsläppen av avloppsvatten har mer och mer "gödslat" ytvattnet och ökat primärproduktionen där. Detta medför en större transport av dött organiskt material till djupvattnet. Det ser ut som om syretillgången nu blivit den begränsande faktorn för nedbrytningen.

Vid stagnanta förhållanden observerar man en väldig ökning av när-

saltskoncentrationen i det stagnanta vattnet. Detta beror på att mer och mer närsalter frigörs vid nedbrytningen och då vattnet ligger kvar på samma plats, ackumuleras nedbrytningsprodukterna i bottenvattnet. Då syret i vattnet tagit slut och svavelväte bildas, uppkommer reducerande förhållanden i vattnet. Därvid utlöses närsalter från sedimenten och på detta sätt ökar närsaltskoncentrationen ännu mera i det stagnanta vattnet.

Då vattnet i djupbäckena sedan förnyas genom ett nytt inflöde av saltvatten med större täthet, pressas det gamla vattnet ut ur bäcken och sprids i djupvattnet norrom och västerom Gotland. Småningom blandas detta vatten med sina närsalter upp i ytvattnet och "gödslar" detta. Bäckena närmast det bäcken som spolats rent, får svavelvätehaltigt eller nästan syrefritt bottenvatten och syreförhållandena förvärras där. När vatten med svavelväte blandas med syrehaltigt vatten, reagerar svavelvätet med syret och bildar sulfatjoner. Detta minskar naturligtvis syrehalten i det vatten som blandas med det undanträngda stagnanta vattnet. Vid "gödslingen" av ytvattnet ökar primärproduktionen och detta i sin tur medför att syreförbrukningen i djupvattnet ökas genom större tillförsel av organiskt material. Vi råkar in i en ond cirkel där förhållandena blir sämre och sämre tills ett jämviktsläge uppkommer. Det verkar som om det vore mycket svårt för naturen att återställa normala förhållanden när svavelvätebildningen väl har kommit igång.

Som tidigare nämnts, fanns det svavelväte i alla bäcken i centrala Östersjön under 1968. Fig. 3 visar ett longitudinellt vertikalsnitt genom Östersjöns olika djupbäcken från Arkonabäcken till Finska Vikens mynning. Isolinjerna för lika syrehalt är utritade och svavelväteområdena är skuggade. Snittet avser förhållandena i september 1968 och man ser att det finns svavelväte i Bornholmsbäcken, Gotlandsbäcken, Fårödjupet och i Norra Centralbäckens djupområden. Fig. 4 visar samma snitt i november 1968. Man kan här se att nytt vatten med högre syrgashalt börjat rinna in över Darsserträskeln längst till vänster i figuren. Det är dock ej ännu av sådan täthet att det förmår tränga undan och förnya bottenvattnet i Bornholmsbäcken. Det flyter övanpå det stagnanta vattnet och man kan se hur det liksom skalar av det översta svavelvätelagret i Gotlandsbäcken och skjuter det framför sig norrut.

I januari 1969 började det "Baltiska Året". Detta är ett samarbetsprogram med alla stater kring Östersjön som deltagare. Ungefär var tredje vecka går ett forskningsfartyg från någon av deltagarstaterna ut i Östersjön enligt ett tidigare fastställt gemensamt program. Utom vanlig hydrografi, tas prover för bl.a. närsaltsanalys i alla egentliga Östersjöns djupbäcken. Central för programmet är Fiskeristyrelsens

hydrografiska avdelning i Göteborg. "Skagerak" inledde det "Baltiska Året" och fig. 5 visar resultatet från Januariexpeditionen 1969 som ett liknande vertikalsnitt som de föregående figurerna. Här kan man se att det syrerika vattnet nu trängt ned i Bornholmsdjupet och fördrivit svavelvätet därifrån. Det tunga syrerika vattnet rinner mot Gotlandsdjupet och isolinjerna för syrehalten ställer sig nästan lodrätt framför det framträngande vattnet. Fig. 6 visar samma snitt i april. Det syrerika vattnet har nu nått fram till kanten av Gotlandsdjupet och börjar tränga ned där. Syrehalten i Bornholmsbäckens bottenvatten var vid detta tillfälle uppe i 6 ml/l.

Tyvärr är resultaten från de övriga deltagande fartygen ej ännu tillgängliga, men från expeditionsrapporterna framgår dock viktiga informationer. I juni 1969 observerade det finska undersökningsfartyget "Aranda" att det sporadiskt fanns svavelväte i Finska Vikens bottenvatten vid några hydrografiska stationer. Det danska forskningsfartyget "Dana" rapporterade att det i augusti funnit svavelväte i bottenvattnet vid alla stationer i Finska Viken fram till Hogland. Även väster om Gotland fanns det nu mycket svavelväte bl.a. började svavelvätelagret redan vid 100 m. i Landsortsdjupet. Det Öst-Tyska fartyget "Professor A. Penck" meddelade att i oktober syrgashalten nu minskat i Bornholmsbäckens till omkring 3 ml/l, vilket indikerar att inflödet av vatten nu upphört. Svavelväte fanns på alla stationer väster om Gotland och lagret började på vissa stationer redan vid 70 m. I Gotlandsdjupet förekom det sporadiskt syre i bottenvattnet. Enligt planen låg fartyget förankrat i fem dygn och utförde mätningar var tredje timme. Det förekom omväxlande syre och svavelväte i djupvattnet, som om vattnet "skvalpat" fram och tillbaka. Det syrerika vattnet hade således nu nått fram till Gotlandsdjupet och vattnet höll på att förnyas. I Finska Viken hade svavelvätet försvunnit.

"Skagerak" gick igen till Östersjön i november och fig. 7 visar resultatet från denna expedition. Svavelvätet var nu helt borta från Gotlandsbäckens och endast små mängder fanns i vissa djupområden i Norra Centralbäckens. I Gotlandsbäckens var syrehalten i bottenvattnet 1,9 ml/l och ovanför detta vatten fanns ett lager med nästan syrefritt vatten. Väster om Gotland fanns ännu stora mängder svavelväte. Slutligen visar fig. 8 resultatet från "Skagerak"s expedition i januari 1970. Nu har svavelvätet helt försvunnit i de bäcken som syns på snittet. Syrgashalten har igen börjat minska nära botten i Gotlandsbäckens, men ännu finns det ett minimum i vattnet kring 175 m. djup. Norr om Gotland fanns det ännu svavelväte i Landsortsdjupet, men endast från 300 m. nedåt och väster om Gotland fanns det små mängder svavelväte endast på två stationer.

Resultaten från det "Baltiska Året" tyder på att det syrefattiga vattnet i södra och mellersta Östersjön har förskjutits norrut och in i Finska Viken samt motsols runt Gotland till området mellan Visby och Västervik. Svavelvätekoncentrationerna har först ökat i dessa områden, för att sedan minska. I Finska Viken har allt svavelväte försvunnit och samma process håller på att ske väster om Gotland. Alla närsalter som på så sätt sköljts ut från djupbäckens bottenlager, kommer småningom att blandas upp i ytvattnet. En väldig "gödsling" av Östersjöns ytvatten kommer då att ske. Detta kan kanske ske redan vintern 1970 eller möjligen om ett år. Den nya "gödslingen" kommer i varje fall att medföra en väldig planktonblommning med åtföljande ökning av mängden död organisk materia i djupvattnet. Följden blir en ny svavelvätebildning och överhuvudtaget ännu sämre förhållanden än under 1968.

Man kan ej undgå intrycket av att den ständigt ökande belastningen av Östersjön med avfallsvatten, är den sekundära orsaken till syrebristen i djupvattnet. Östersjön har överansträngts, så att den ej mera orkar rena sig själv på naturlig väg. Syret i det inströmmande vattnet förbrukas nästan helt innan vattnet når de nordliga delarna av Centralbäckenet. Vi har med andra ord själva "påskyndat" stagnationen så att naturen ej orkar återställa de normala förhållandena. Det är därför allt skäl att försöka förhindra och begränsa utsläppen av kommunalt och industriellt orenat avloppsvatten, för att ge Östersjön en chans att tillfriskna.

Box model of the Baltic.

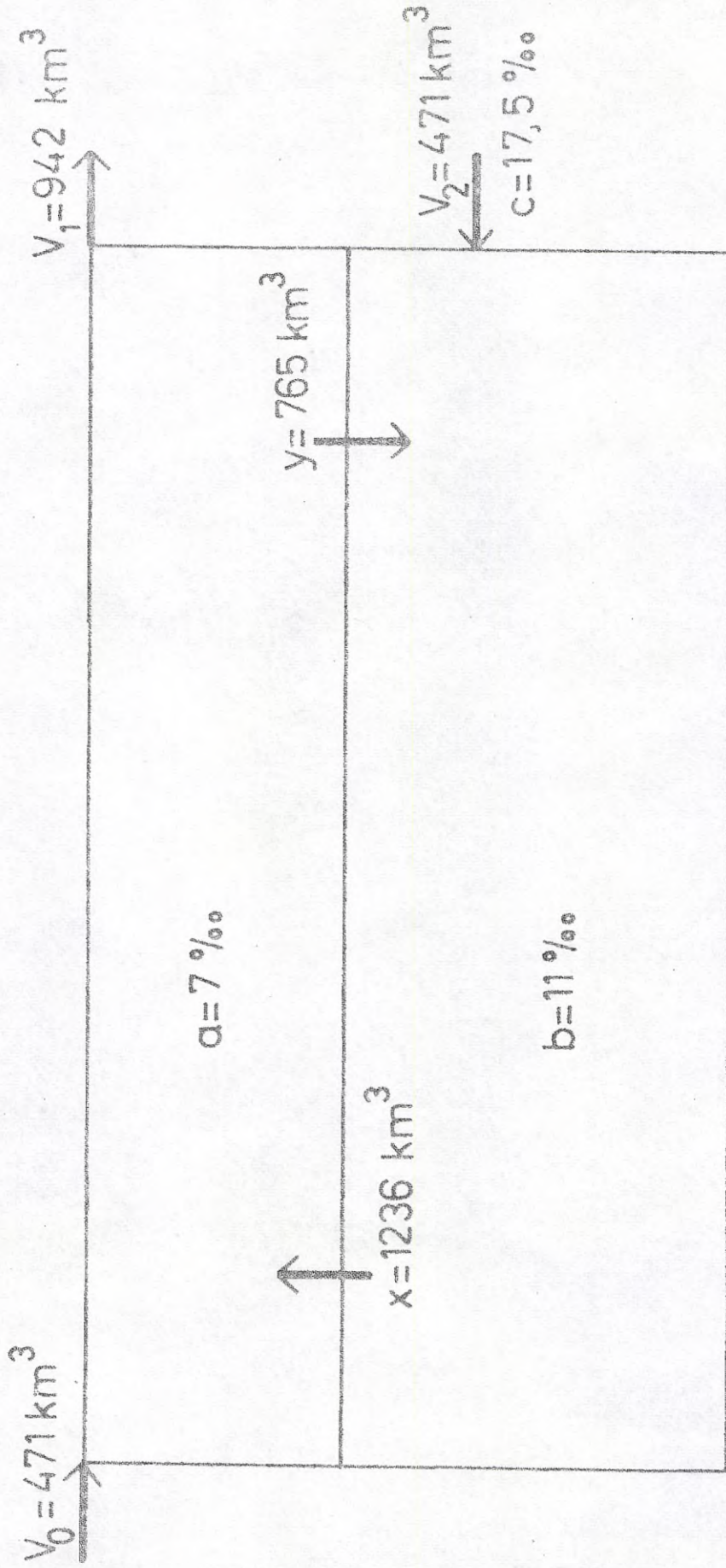
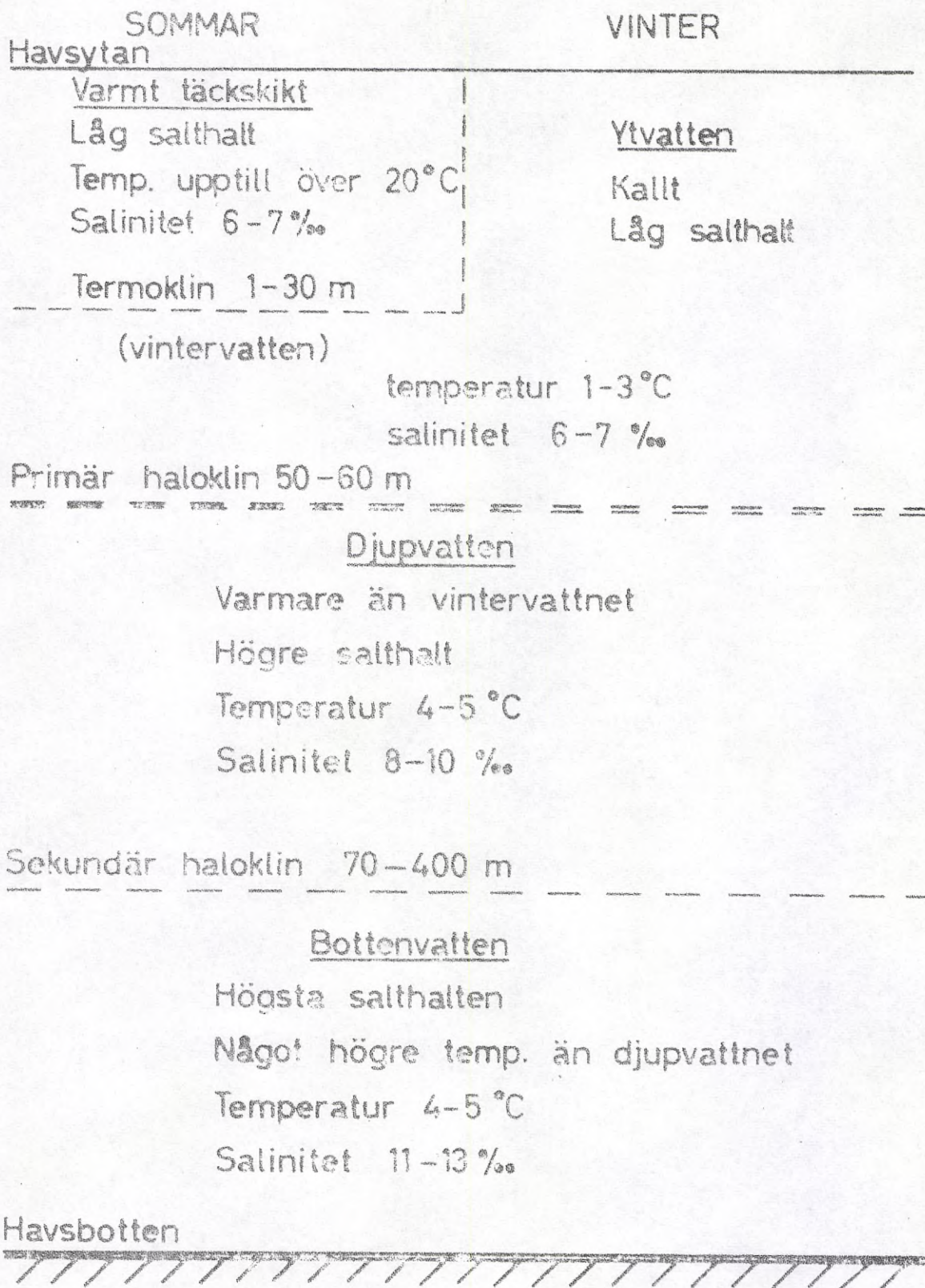


Fig. 1.



DE OLIKA SPRÅNGSKIKTEN I
ÖSTERSJÖN

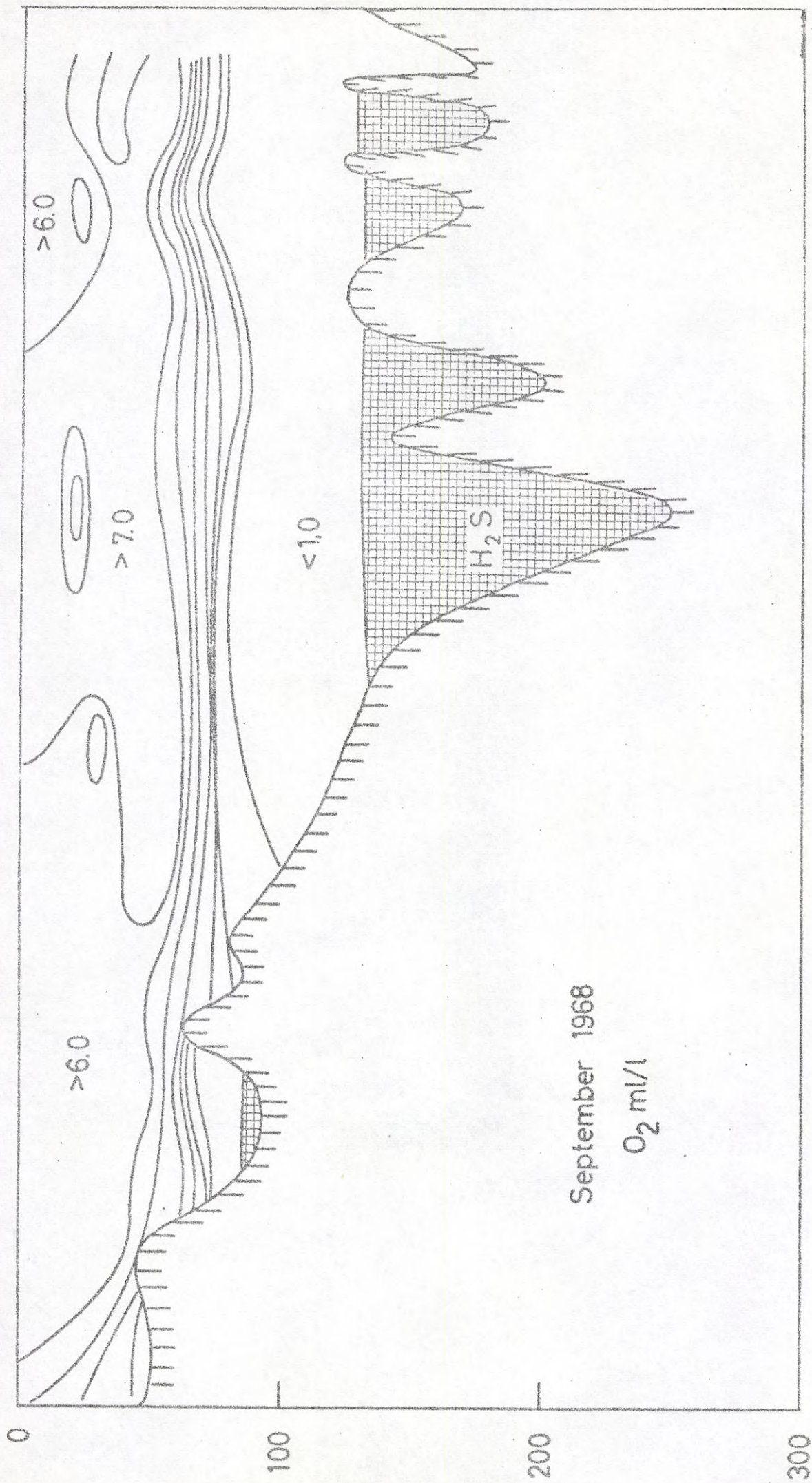


FIG. 3.

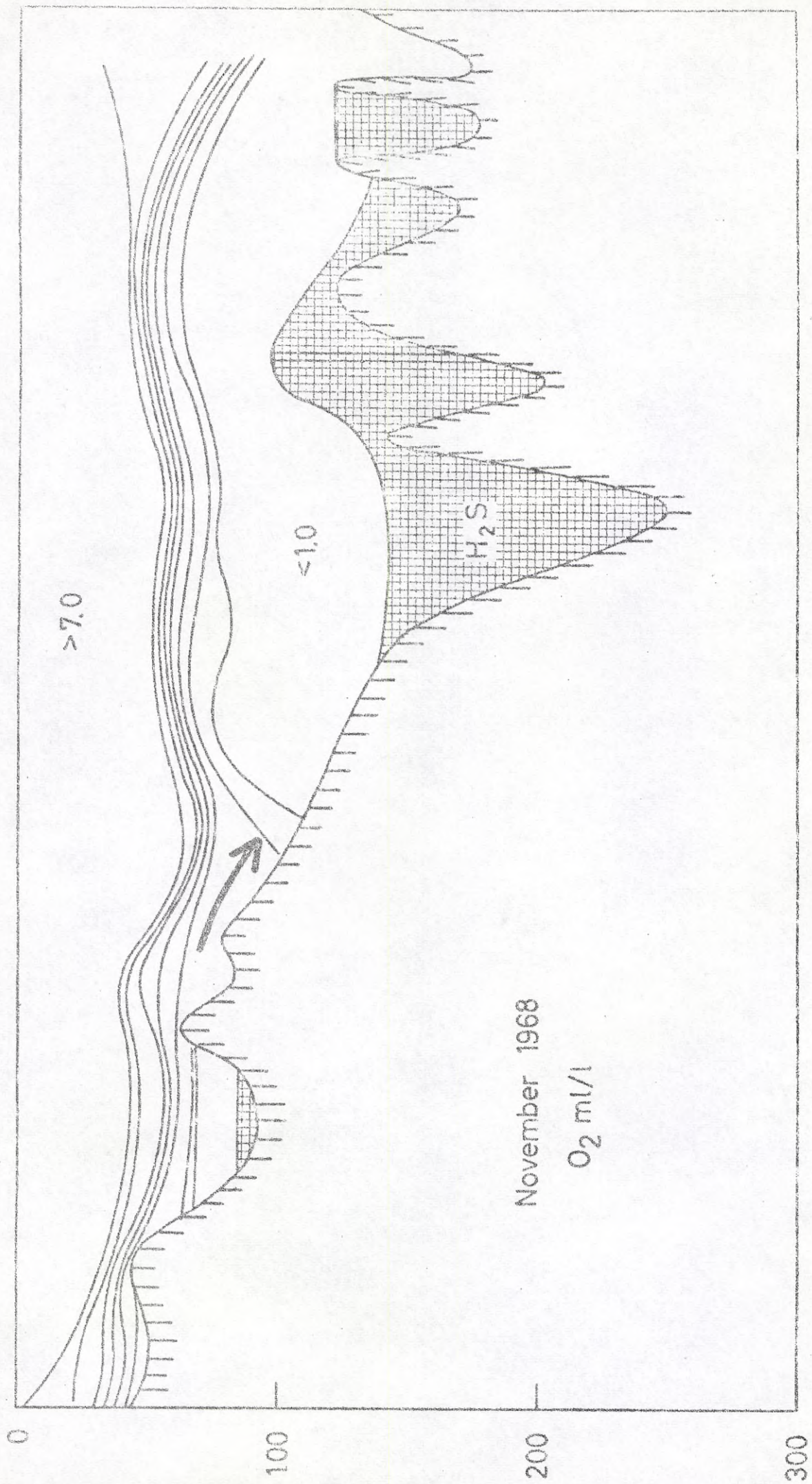


Fig. 4.

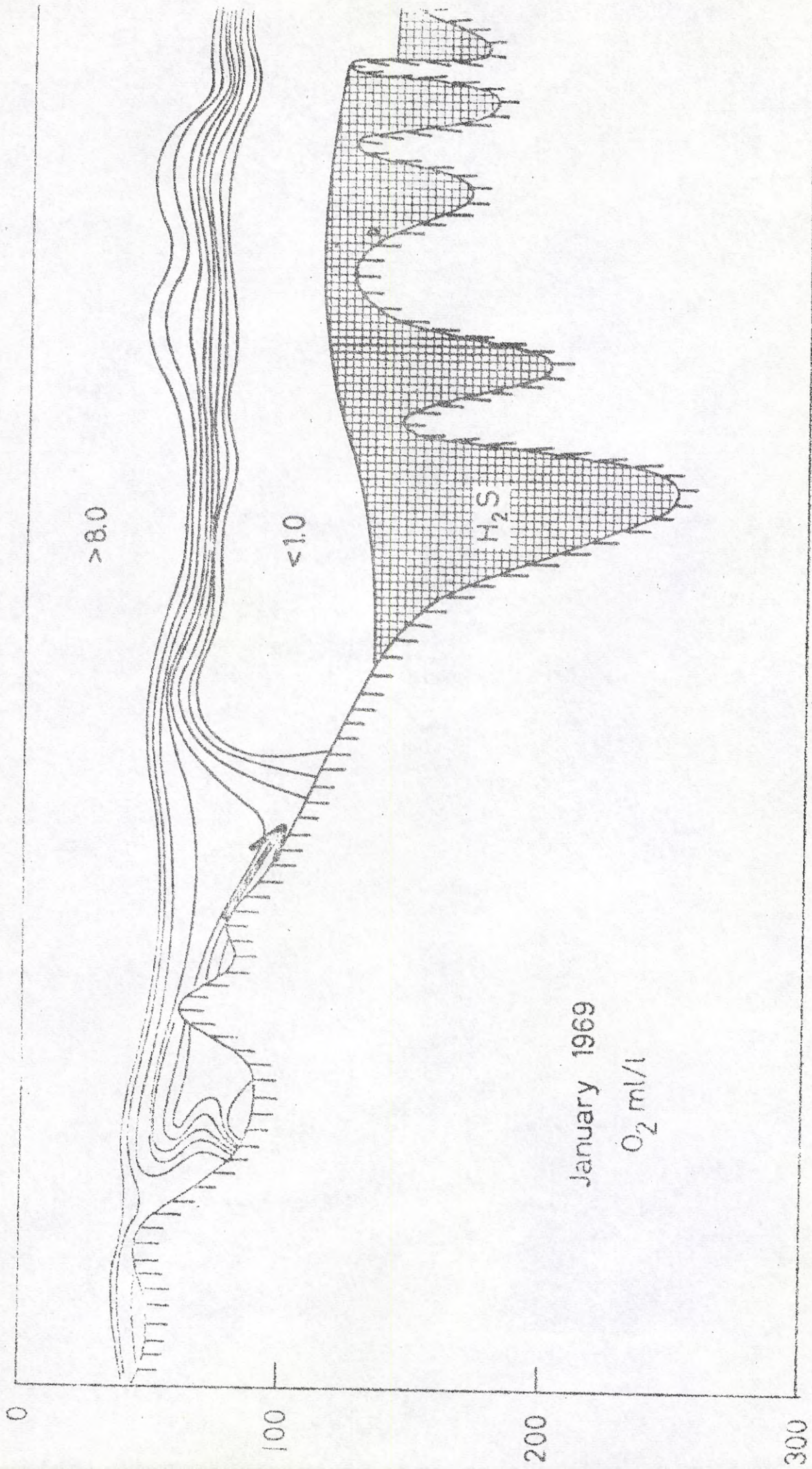
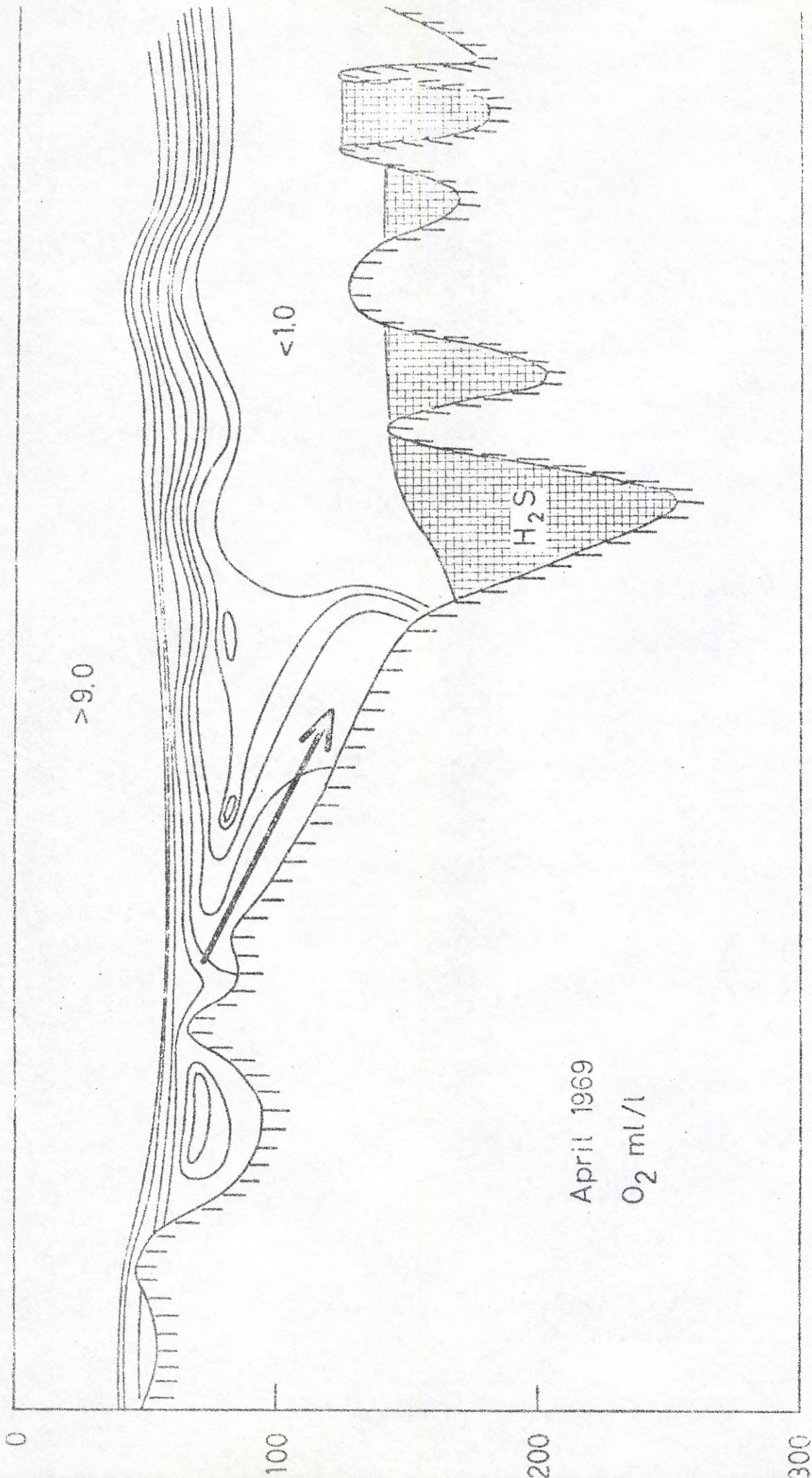
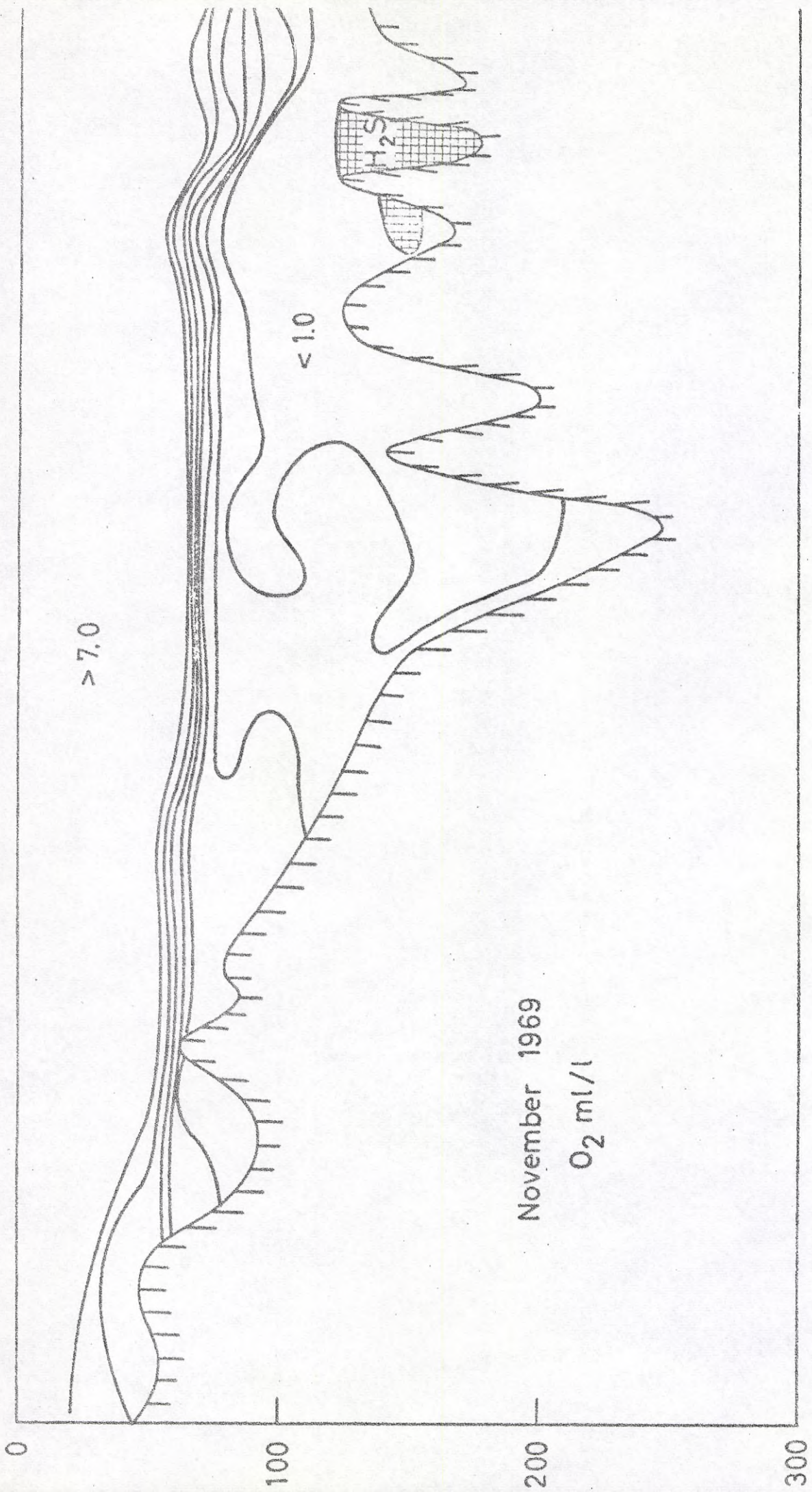


Fig. 5.



April 1969
 O_2 ml/l

Fig. 6.



November 1969
O₂ ml/l

Fig. 7.

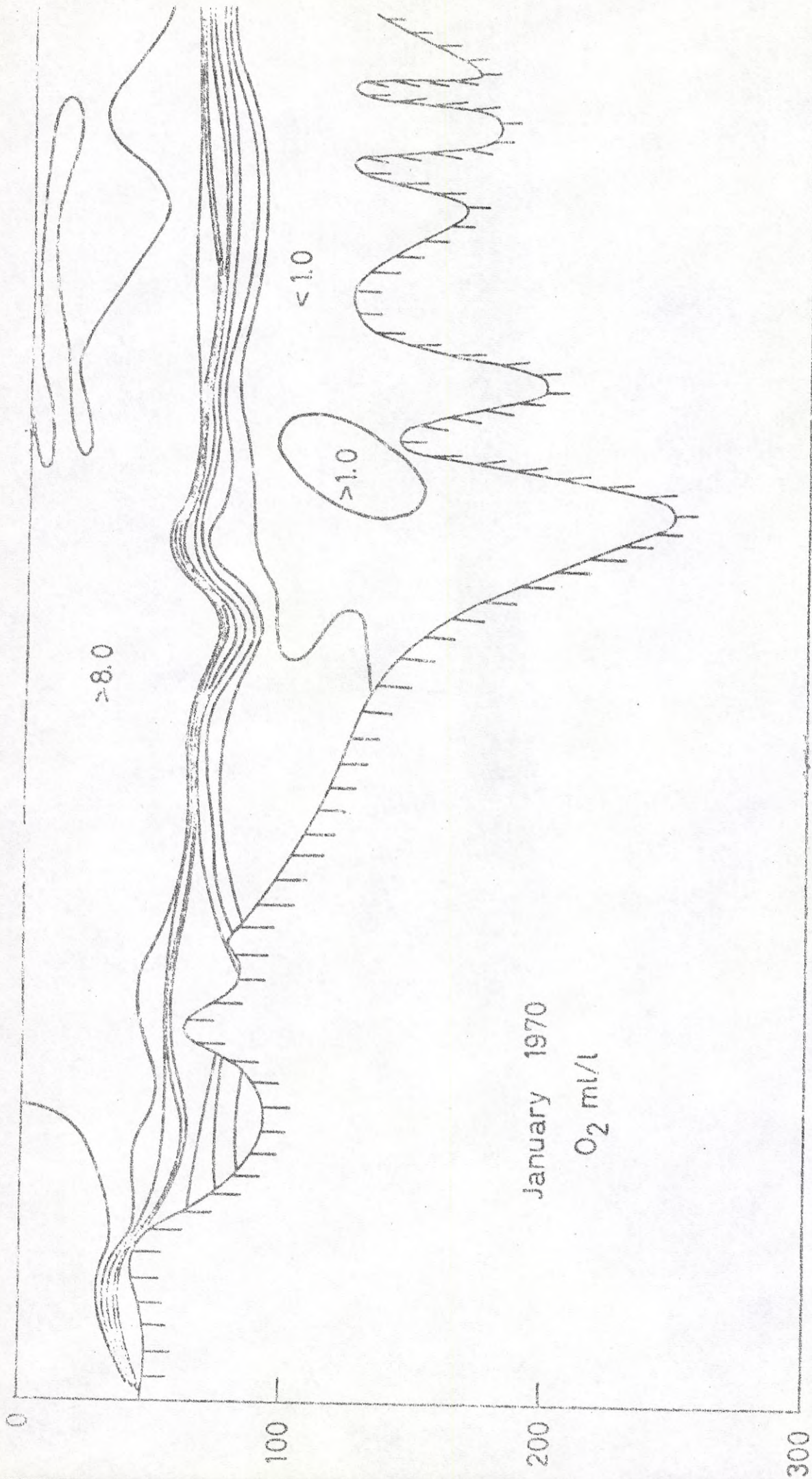


FIG. 8.

