

T. PARTS, H. SIMM

## PÕLULA KALAMAJANDI TIIKIDE HÜDROKEEMILISEST REŽIIMIST

Tiikide ratsionaalse majandamise eelduseks on kalade elukeskkonna tingimuste igakülgne tundmine ja nende teadlik kujundamine optimaalsete näitajate saavutamiseks.

Üheks veeorganismide kasvu ja arengut määravaks teguriks on vee-  
kogu keemiline režiim. Viimase tundmine on kalakasvatajale niisama  
oluline kui agrokeemilised teadmised põllumehele. Põllumuldade keemia  
tundmisega võrreldes on meie teadmised oma vabariigi «siniste põldude»  
keemiast aga piiratud ning lünklikud. Seni puuduvad täiesti hüdrokeemi-  
lised uurimused meie tiikide kohta.

Mainitud lünga täitmiseks alustati 1961. aastal direktor L. Põdra in-  
iatiivil Põlula kalamajandi tiikide hüdrokeemilist uurimist.

Põlula kalamajand on vabariigi eesrindlike majandeid, kus kasvata-  
takse vikerforelle nii kasvatusmaterjaliks teistele kalamajanditele kui ka  
turukalaks.

Hüdrokeemiliste uurimiste kiire teostamise stiimuliks oli majandi soov  
kalade asustustihedust tiikides tunduvalt suurendada. Ühtlasi loodeti  
nende töödega selgitada mõningais tiikides suviti korduvalt esinenud  
kalade suremise põhjusi. Nimetatud eesmärkidest lähtudes uuriti Põlula  
tiikide ja neid toitva Lavi allika vee gaaside, ionide ja orgaaniliste ainete  
sisalduse dünaamikat, kusjuures pearõhk asetati tiikide suvise gaasi-  
režiimi detailsele väljaselgitamisele.

### Tiikide hüdrograafiline iseloomustus

Põlula kalamajand asub Rakvere rajoonis Alutaguse metsade lääne-  
piiril.

Kalamajandis on kasutusel 10 tiiki üldpindalaga 3 ha. Pildi tiikide  
paiknemisest ja veevarustusest annab joonis 1, ülevaate tiikide suurus-  
sugavusest ja põhja iseloomust — tabel 1.

Tiigid toituvad Lavi allikast, mis annab vett keskmiselt 250—350 l/sek.  
Allikas tungib maapinnale mitmes punktis.

Tiike ümbritseb okaspuumets, millesse seguneb üksikuid kaski ja  
haabu. Paiguti ulatub see vahetult tiigitammideni, paiguti jätab vabaks  
kuni 0,4 km laiuse põlluala.

Nagu nähtub jooniselt 1, on tiikidel ühendatud veevarustus.

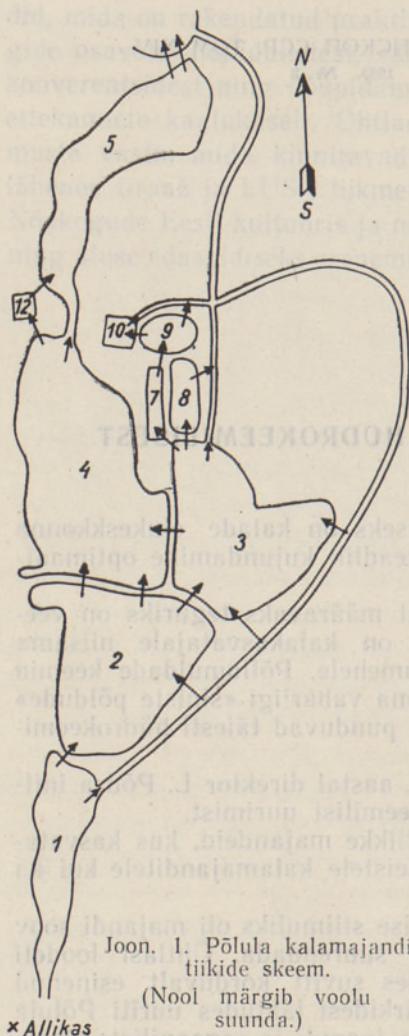
Allikavee temperatuur püsib aastaringselt 6,0—6,5° C, mis allikavee  
läbivoolu reguleerimisega võimaldab tiikide vee temperatuuri ühtlustada  
ja suvistel palaval päeval andada.



Tabel 1

## Põlula tiikide morfomeetrilised andmed

Tiik, nr.	Pindala, ha	Keskmine	Suurim	Põhja iseloom
		sügavus, m		
1	0,30	1,0	1,25	} turbane
2	0,58	0,5	1,0	
3	0,55	0,75	1,0	
4	0,92	1,0	2,0	
9	0,08	0,75	1,25	} liivakas-savine
12	0,01	0,75	1,0	



Joon. 1. Põlula kalamajandi tiikide skeem.  
(Nool märgib voolu suunda.)

x Allikas

Talvel kasutusel olevaist tiikidest (nr-d 1, 2, 3, 4, 5, 12) kattuvad jääga ainult tiigid nr. 5 ja 12, jättes jäävabaks sissevoolualad. Tiikidel nr. 1, 2 ja 4 külmuvad ajuti ainult kaldalähedased alad.

Kevadisel kõrgveeperioodil tiikide üleujutus ei esine; metsa- ja põllualal kogunevate sulavete valgumine tiikidesse kestab ainult paar päeva.

Kõrgemaid veetaimi esineb kõige enam tiigis nr. 3 (peamiselt *Carex* sp., *Hippuris vulgaris* L., *Equisetum limosum* L., *Phragmites communis* Trin.), vähem tiigis nr. 1 (*Fontinalis* sp., *Hippuris vulgaris* L.) ja tiigis nr. 4 (*Equisetum limosum* L., *Carex* sp.).

Kõikides tiikides esineb rohkesti rohevetikaid (*Spirogyra* sp.), mis suvel soojade ilmadega massiliselt veepinnale kogunevad.<sup>1</sup>

Tiike puhastatakse regulaarselt üks kord aastas.

## Materjal ja meetodika

Ulevaate saamiseks, sesoonselt hüdrokeemilisest dünaamikast koguti veeproove 1962/63. aastal olulisematel hüdrooloogilistel perioodidel: talve lõpul, kevadel kõrgveeperioodil ja suvel vec madalseisuperioodil.

Üksikasjalikumaks vee suvise gaasirežiimi iseloomustamiseks võeti veeproove 1961. ja 1962. aastal juulis-augustis, 1963. aastal maist kuni augustini. 1961. aastal asetati peaarõhk tiikide, 1962. aastal allikavee uurimisele; 1963. a. suvel pöörati tähelepanu peamiselt kalade suremisega seotud küsimustele.

Gaaside sisalduse ööpäevase dünaamika uurimiseks teostati vaatlusi ja analüüse 1961., 1962. ja 1963. a. suveperioodil.

Regulaarselt võeti proove neljast tiigist ja kahe tiike toitva allika kõige veerohkestast ning teineteisest temperatuurilt kõige erinevatest väljavoolupunktist.<sup>2</sup> Alalised

<sup>1</sup> Botaanilised andmed pärinevad Põlula kalamajandi direktorilt L. Põdralt ning ENSV TA Zooloogia ja Botaanika Instituudi teaduslikelt töötajailt M. Porgilt ja V. Kõvaskilt.

<sup>2</sup> Edaspidi nii tekstis kui ka tabelis tähistatakse neid allika väljavoolupunkte lühidalt «allikas I» ja «allikas II».



Tabel 2

## Ülevaade Põlula tiikidest ja neid toitvast allikast kogutud veeproovidest ja viimaste hüdrokeemilistest analüüsist

Lahendatav küsimus	Sesoonne dünaamika		Erinevate süvete võrdlus		Keskpäevane gaasirežiim suvel						Õöpäevane gaasirežiim suvel						Kontroll				
	Provide arv	Analüüs	Provide arv	Analüüs	VII—VIII 1961 iga päev	VII—VIII 1962 iga päev	V—VIII 1963 üle 2 nädala	Provide arv	Analüüs	Provide arv	Analüüs	30. V 1963	Provide arv	Analüüs	Provide arv	Analüüs	20.—22. VII 1963	Provide arv	Analüüs	Provide arv	Analüüs
Proovi võtmise aeg	31. VII 1962, 27. II 1963, 12. IV 1963		7. VII 1961, 31. VII 1962		VII—VIII 1961 iga päev	VII—VIII 1962 iga päev	V—VIII 1963 üle 2 nädala	22.—24. VIII 1961	25.—28. VIII 1962	30. V 1963	20.—22. VII 1963	V—VIII 1963 üksikud proovid									
Üritav objekt																					
Allikas I	3																				
Allikas II	3																				
Tiik nr. 1	2																				
Tiik nr. 2	3																				
Tiik nr. 3	3																				
Tiik nr. 4	3																				
Tiik nr. 9	—																				
Tiik nr. 12	—																				
Kokku	17	163	6	44	189	626	103	326	19	88	52	140	92	235	12	36	52	154	32	160	

## Põlula tiikide ja Lavi allika vee

Proovi võtmise		Tempera- tuur, °C	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub> , mg/l	pH	Oksüdeeritavus		
koht	aeg		mg/l	‰			perman- gan.	dikro- maatne	%
Allikas I	31. VII 1962	6,1	—	—	19,0	7,65	—	15,3	—
	27. II 1963	6,1	4,25	34	15,7	7,6	1,0	9,8	10
	12. IV 1963	6,1	4,32	35	18,2	7,6	1,0	9,6	11
Allikas II	31. VII 1962	6,4	—	—	19,0	7,65	—	14,1	—
	27. II 1963	6,4	5,00	40	12,0	7,6	1,0	9,7	10
	12. IV 1963	6,4	5,07	41	17,9	7,7	1,0	7,7	13
Tiik nr. 1	27. II 1963	5,4	7,79	61	9,9	7,7	1,1	13,4	8
	12. IV 1963	5,6	6,76	54	15,4	7,7	1,1	10,2	11
Tiik nr. 2	31. VII 1962	7,5	—	—	10,5	7,7	—	11,8	—
	27. II 1963	5,2	7,58	59	10,3	7,8	1,8	15,6	12
	12. IV 1963	5,9	7,53	60	12,8	7,8	2,2	10,5	21
Tiik nr. 3	31. VII 1962	14,2	10,60	102	4,9	8,0	2,1	17,6	12
	27. II 1963	4,8	7,00	54	13,2	7,7	1,9	16,1	12
	12. IV 1963	6,4	7,67	62	11,4	7,7	2,3	10,9	21
Tiik nr. 4	31. VII 1962	8,1	10,60	89	9,7	7,7	—	21,2	—
	27. II 1963	4,9	7,20	56	13,8	7,7	2,2	12,3	18
	12. IV 1963	6,0	8,92	71	13,6	7,7	3,0	9,1	33

uurimisobjektid valiti järgmistel kaalutlustel: tiik nr. 1 sellepärast, et siia otse allikast sissevoolav vesi jaotub teistesse tiikidesse; tiik nr. 4 sellepärast, et siin tuli ette ajuti vikerforellide massilist suuremist; tiik nr. 2 sellepärast, et tema kaudu voolab vesi tiigist nr. 1 tiiki nr. 4; tiik nr. 3 sellepärast, et see on teistega võrreldes taimestikurikkam ning et tema kaudu saavad oma vee mitmed väikesed kasvutiigid (vt. joon. 1). Täiendavalt koguti veeproove ka perioodiliselt, nimelt tiikidest nr. 9 ja 12 Üldse koguti 574 veeproovi ja tehti 1972 hüdrokeemilist analüüsi (tab. 2).

Veeproovid võeti keskpäeval kella 11 ja 13 vahel 0,5—1,0 m sügavusest veekihist võimalikult tiigi keskelt.

Gaasirežiimi ööpäevaste muutuste jälgimiseks võeti tiigiveeproove iga 4 tunni järel 48-tunniliste vaatlusperioodide vältel. Täiendavalt kontrolliti 1963. a. suvel vee gaasisisaldust ühekordselt peamiselt varahommikustel ja õhtustel tundidel tiikides nr. 1, 2, 3, 4, 7, 9 ja 12.

Kogutud proovides määrati t°, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>'<sup>-</sup>, pH ja permanganaatne oksüdeeritavus kohe peale proovi võtmist, SO<sub>4</sub>'<sup>-</sup>, Cl', Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> ja dikromaatne oksüdeeritavus aga liikseeritud proovidest hiljem.

Kloriidide sisaldus määrati merkurimeetriliselt [13], sulfaat kombineeritud trilonomeetrilisel meetodil [1, 11, 10], pH kolorimeetriliselt spetsiaalse magevete pH-skaala abil ja 1962. aastal ühtlasi potentsiomeetriliselt klaaselektroodiga. Kõikide ülejäänud näitajate keemiline analüüs toimus hüdrokeemias üldkasutatava meetodika järgi [9].

Vaatlused ja hüdrokeemilised analüüsid teostas Tartu Riikliku Ülikooli keemia osakonna üliõpilane T. Parts TA Zooloogia ja Botaanika Instituudi geobiokeemia laboratooriumi juhataja H. Simmi juhendamisel.



Tabel 3

keemilise koostise sesoonne dünaamika

HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na'+ + K'	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na'+ + K'	Σ <sub>i</sub>
mg-ekv/l						ekv-%						mg/l
4,05	0,43	0,14	3,52	1,01	0,09	44	5	1	38	11	1	358
4,52	0,70	0,13	4,03	1,23	0,09	42	7	1	38	11	1	412
4,25	0,73	0,12	3,54	1,47	0,09	42	7	1	35	14	1	390
4,35	0,45	0,18	3,51	1,25	0,22	43	5	2	35	13	2	384
4,45	0,77	0,14	3,83	1,41	0,12	42	7	1	36	13	1	410
4,38	0,67	0,10	3,63	1,42	0,10	42	6	1	35	14	1	395
4,47	0,72	0,13	3,95	1,24	0,13	42	7	1	37	12	1	409
4,40	0,72	0,14	3,73	1,44	0,09	42	7	1	35	14	1	403
4,28	0,48	0,18	3,52	1,32	0,10	43	5	2	36	13	1	380
4,57	0,68	0,13	4,02	1,28	0,08	42	6	1	37	12	1	414
4,48	0,68	0,12	3,74	1,46	0,08	42	6	1	35	14	1	405
3,90	0,48	0,18	3,22	1,25	0,09	43	5	2	35	14	1	349
5,00	0,63	0,14	4,23	1,34	0,20	43	5	1	36	12	2	446
4,58	0,75	0,11	3,75	1,47	0,22	42	7	1	35	14	1	418
3,65	0,46	0,17	2,93	1,26	0,09	43	5	2	34	15	1	327
4,57	0,76	0,15	3,95	1,44	0,10	42	7	1	36	13	1	420
4,45	0,69	0,14	3,71	1,47	0,10	42	7	1	35	14	1	404

## Tiikide ja allikavee keemilise koostise sesoonne dünaamika

**Mineralisatsioon ja ionkoostis.** Akadeemik O. Alekini klassifikatsiooni järgi kuulub Põlula tiikide vesi vesinikkarbonaatsesse klassi kaltsiumirühma II tüüpi, valemiga  $C_{11,0,4}^{Ca5}$  [8].

Põlula tiigid toituvad ühendatud veevarustuse kaudu ühest ja samast allikast viimase suhteliselt kiirel läbivoolul. Seetõttu ei ilmne tiikide vahel olulisi erinevusi vee mineralisatsioonis ja ionide summa ( $\Sigma_i$ ) kõikumised allikavees erinevatel hüdrooloogilistel perioodidel kajastuvad tiikide vees.

Nii allikavees kui ka tiikides on  $\Sigma_i$  kõrgeim talvel, madalaim suvel (tab. 3). Kevadine vee  $\Sigma_i$  on vähe madalam talvisest, mis näitab, et suurvete lahjendav mõju on tähtsusetu.

Kevadel ja talvel  $\Sigma_i$  mõnevõrra suureneb allikast kaugemate tiikide suunas, kuid 1962. a. suvel on märgata nõrka vastupidist tendentsi, mida võiks seletada vihmade mõjuga.

Üldiselt on vee mineralisatsiooni sesoonsete kõikumiste piirid kitsad: ühe tiigi piires ei ületa kõikumise amplituud 100 mg/l  $\Sigma_i$ , kõigi uuritud tiikide piires moodustab see veidi üle 100 mg/l  $\Sigma_i$ . Tabelite 3 ja 4 andmete võrdlemisel selgub, et tiikide vee  $\Sigma_i$  muutused erinevatel hüdrooloogilistel perioodidel ei olnud suuremad kui  $\Sigma_i$  kõikumised eri aastate suvedel.

Ioonkoostiselt on allika ja kõikide uuritud tiikide vesi ühtlane, ainult



## Võrdlevaid andmeid Põlula tiikide

Proovi võtmise		Tempera- tuur, °C	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub> , mg/l	pH	Per- man- gan.	Dikromaatne		Fe <sup>++</sup> + Fe <sup>+++</sup>	P min./lah.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Si
koht	aeg		mg/l	%				oksüdeeritavus					
						mg/l O <sub>2</sub>		%		mg/l			
Tiik nr. 1	21. VII 1954	6,3	5,41	43	18,2	7,5	2,4	—	—	j.	0	0	6,5
	7. VII 1961	—	—	—	—	—	1,3	11,8	11	—	—	—	—
Tiik nr. 2	21. VII 1954	12,8	8,40	79	11,3	7,8	3,0	—	—	0,04	0	0	5,5
	7. VII 1961	—	—	—	—	—	2,6	14,7	18	—	—	—	—
	31. VII 1962	7,5	—	—	10,5	7,7	—	11,8	—	—	—	—	—
Tiik nr. 3	21. VII 1954	10,9	9,67	87	10,8	7,6	3,7	—	—	j.	0	0	6,8
	7. VII 1961	—	—	—	0	—	3,6	12,3	29	—	—	—	—
	31. VII 1962	14,2	10,60	102	4,9	8,0	2,1	17,6	12	—	—	—	—
Tiik nr. 4	21. VII 1954	12,5	10,95	102	7,1	7,8	3,0	—	—	0,04	0	0	5,8
	7. VII 1961	—	—	—	—	—	3,8	15,7	24	—	—	—	—
	31. VII 1962	8,1	10,60	89	9,7	7,7	—	—	—	—	—	—	—

Märkus: 1) 1954. a. analüüsid pärinevad H. Simmilt.

2) Osas proovides määrati Ca<sup>++</sup> ja Mg<sup>++</sup> summaarselt.

1962. a. suvel võis allikast tiikide suunas täheldada mõningast suhtelise kaltsiumisisalduse langust ja magneesiumisisalduse tõusu. Vee ioonkoostises ei ilmne ka olulisi sesoonseid muutusi. Sesoonselt kõikus suhteline ionide sisaldus kõikide uuritud objektide piires järgmiselt: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 42—44%, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 5—7%, Cl<sup>-</sup> 1—2%, Ca<sup>++</sup> 34—38%, Mg<sup>++</sup> 11—15% (tab. 3). Ioonide sisalduse kõikumise piirid on sesoonselt veel kitsamad kui eri suvedel (tab. 4).

**pH** on hästipuhverdatud allika ja tiikide vees stabiilne. Sesoone muutumise amplituud ühe ja sama tiigi piires enamasti ei ületa 0,1 pH-ühikut (tab. 3). Kogu allika ja tiikide süsteemi piires on pH kõikumise amplituud veidi laiem (7,5—8,0), sest vees lahustunud **süsihappegaasisaldus** väheneb kõikidel sesoonidel allikast tiikide nr. 3 ja 4 suunas (tab. 3 ja 4). Allikavesi, mis pinnavetega võrreldes on erinevais rõhutingimustes, sisaldab maapinnale tungides veel rohkesti süsihappegaasi, kuid tiikidesse jõudes hakkab viimane kiiresti lenduma. Suvel ilmselt väheneb vee päevane süsihappegaasisaldus intensiivsete fotosünteesiprotsesside tõttu tiikides. Sellepärast on tiikide nr. 3 ja 4 süsihappegaasisaldus suviti tunduvalt madalam kui talvel ja kevadel.

**Hapnikusisalduse** pilt tiikide vees on vastupidine süsihappegaasisaldusele. Allikavesi ise on hapnikuvaene, kuid õhuga kokku puutudes ja eriti suviti tiikides toimuvate intensiivsete fotosünteesiprotsesside arvel



Tabel 4

vee keemilise koostise kohta eri suvedel

HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> "	Cl'	Ca"	Mg"	Na'+K'	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> "	Cl'	Ca"	Mg"	Na'+K'	N <sub>i</sub>
mg-ekv/l						ekv-%/l						mg/l
4,60	0,49	0,10	5,10		0,09	44	5	1	49		1	—
4,23	0,79	0,15	3,83	1,24	0,10	41	8	1	37	12	1	396
4,40	0,47	0,08	4,85		0,10	44	5	1	49		1	—
4,32	0,88	0,17	3,05	2,05	0,27	41	8	1	28	19	3	405
4,28	0,48	0,18	3,52	1,32	0,10	43	5	2	36	13	1	380
4,45	0,48	0,08	4,92		0,09	44	5	1	49		1	—
3,55	0,48	0,15	2,95	1,14	0,09	42	6	2	35	14	1	320
3,90	0,48	0,18	3,22	1,25	0,09	43	5	2	35	14	1	349
4,30	0,55	0,08	3,62	1,21	0,10	44	5	1	37	12	1	381
4,40	0,59	0,17	5,19		0	—	—	—	—	—	—	—
3,65	0,46	0,17	2,93	1,26	0,09	43	5	2	34	15	1	327

suureneb vee hapnikusisaldus allikast kaugemate tiikide suunas pidevalt. Selle tõttu oligi tiikide sesoonne hapnikusisaldus kõrgeim suvel.

Nagu näitavad oksüdeeritavuse andmed tabeleis 3 ja 4, leidub uuritud vetes **orgaanilisi aineid** vähe. Nende sisalduse poolest kõige vaesem ja sesoonselt stabiilsem on allikavesi. Allikast tiikide nr. 3 ja 4 suunas orgaaniliste ainete sisaldus veorganismide ja kalatoidu mõjul mõnevõrra suureneb.

Üldiselt on orgaaniliste ainete sisaldus tiikides madalaim talvel, kõrgeim kevadel. Kevadise kõrgema orgaaniliste ainete sisalduse põhjustab tõenäoliselt humusvete valgumine metsaalustelt tiikidesse, mida kinnitab ka kõrgeenenud oksüdeeritavusprotsent (21—33%) tiikide nr. 3 ja 4 vees. Ülejäänud osa aastast on vee oksüdeeritavusprotsent tiikides väga madal (8—12%), viidates autohtoonse päritoluga orgaaniliste ainete esinemisele vees (tab. 3).

**Biogeenseid aineid** käesolevas töös ei määratud. Kasutada olid ainult ENSV TA Zoologia ja Botaanika Instituudi poolt 1954. aastal kogutud andmed. Nende põhjal oli rauasisaldus tiikides äärmiselt madal (maksimaalselt 0,04 mg/l Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup>), fosfori- ja lämmastikusisaldus olid suvise intensiivse veorganismide elutegevuse tõttu langenud analüütilise nullini.



## Tiikide ja allika vee svine gaasirežiim

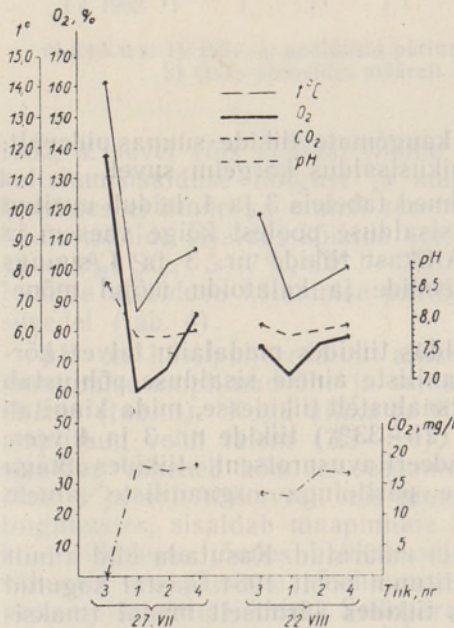
Esitatud andmeist nähtub, et Põlula tiikide vesi on kõrge mineralisatsiooniga, madala orgaaniliste ainete sisaldusega ja hapnikurikas. Vee mineraalainete ja orgaaniliste ainete sisalduse sesoonne kõikumine on suhteliselt väikese amplituudiga. Ulatuslikumad on muutused vees lahustunud gaaside sisalduses.

Kirjanduse andmeil [2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 14, 15] on forellid väga tundlikud veekogu gaasidesisalduse kõikumistele. See fakt nõudis tiikide gaasirežiimi detailsemat jälgimist, mis toimus igapäevaste vaatluste teel 1961. ja 1962. a. juulis-augustis. Andmed proovivõtmispaikade, proovide sageduse ja analüüside nomenklatuuri kohta esitatakse tabelis 2, analüüsi tulemused tabelis 5.

Keskpäevane gaaside sisaldus tiigi- ja allikavees suviti

Tabel 5

Vaatlus- periood	10. VII — 23. VIII 1961					26. VII — 28. VIII 1962				
	t° C	O <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , mg/l	pH	t° C	O <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , mg/l	pH
Allikas I	—	—	—	—	—	6,0—6,2	4,87—5,50	39—44	—	7,6—7,7
Allikas II	—	—	—	—	—	6,4—6,5	4,48—5,14	36—44	—	7,5—7,7
Tiik nr. 1	6,4—7,2	6,32—9,64	51—78	13,5—24,0	7,6—7,8	6,5—7,0	6,54—7,57	53—61	5,9—19,5	7,6—7,8
Tiik nr. 2	7,0—10,0	8,27—10,10	67—87	6,5—22,0	7,7—7,8	—	—	—	—	—
Tiik nr. 3	10,2—18,2	8,73—18,65	76—192	0—13,5	7,9—8,6	10,3—15,1	7,50—11,35	67—109	4,4—10,9	7,8—8,1
Tiik nr. 4	7,0—11,2	6,71—13,44	55—120	5,5—22,0	7,7—7,9	—	—	—	—	—



Joon. 2. Vee temperatuuri, pH ning hapniku- ja süsihappegaasisalduse muutumine allikast tiikide suunas 1961. a. suvel.

Lavi allika väljavoolupunktides I ja II, mis erinesid teineteisest vee temperatuurilt, ilmnes ka väikesi hüdrokeemilisi erinevusi. Punkti II veele, mille temperatuur kogu vaatlusperioodil oli kõrgem, on iseloomulikud veidi madalam hapnikusisaldus ja väiksemad pH-väärtused, võrreldes punktiga I. Ühine mõlemale on aga nende hüdrokeemiline stabiilsus: määratud komponendid muutusid vaatlusperioodi vältel vähe ning kõikumised kummaski kulgesid üldjoontes samasuunaliselt.

Lavi allika hüdrokeemilisel stabiilsusel on oluline tähtsus, sest selle allika veest toituvad kõik Põlula tiigid.

Allikaveega võrreldes on tiikide vee gaasirežiim erinev. Üldjoontes suurenevad hüdrokeemilised erinevused tiikide kaugenedes allikast. Alates tiigist nr. 1 tõuseb vee temperatuur, suurenevad pH ja hapnikusisaldus ning väheneb süsihappegaasisaldus pidevalt tiikide nr. 3 ja 4



suunas (tab. 5, joon. 2). Selle põhjuseks on allikavee pidev soojenemine ning aereerumine tiikidest läbi voolates ja tiigitaimestikuga fotosüntees. Viimase mõju gaasirežiimile ilmneb selgesti taimestikurikastes tiikides nr. 3 ja 4, kus vee hapnikusisaldus keskpäeval sageli ületas küllastumuse määra.

Eriti kontrastselt avaldus fotosünteesi produktiivsuse mõju gaaside sisalduse dünaamikale tiigis nr. 3 1961. aasta vaatlusperioodil (joon. 2). Nimetatud aasta juunis oli tiigis nr. 3 rohkesti taimestikku: pilliroog, tarn, vesikuusk hõlmasid ligi neljandiku tiigist, hulgaliselt esines vetikaid. Fotosünteesi kõrge produktiivsuse tõttu oli vee keskpäevane hapnikusisaldus kõrge, moodustades enamasti 150—180% küllastumusest; süsihappegaasisisaldus võrdus analüütilise nulliga. Kõige selle tõttu oli vee püü pidevalt 8,5—8,6.

Mõned päevad pärast 29. juunil toimunud tiigi puhastamist taimestikult hakkas vee hapnikusisaldus langema ja süsihappegaasisisaldus tõusma. 10. augustist kuni vaatlusperioodi lõpuni (23. august) moodustas keskpäevane hapnikusisaldus sama tiigi vees ainult 76—101% küllastumusest, süsihappegaasisisaldus oli 6,0—13,5 mg/l ja pH 7,9—8,0.

Vee temperatuuri ja fotosünteesi produktiivsuse erinevustega on seletatavad ka gaaside sisalduse erinevused 1961. ja 1962. a. suvel tiigis nr. 3.

### Vee ööpäevane gaasirežiim tiikides

Keskpäevane hapniku- ja süsihappegaasisisaldus suviti osutusid Põlula tiikides väga labiilseks. Need andmed ei peegelda ammendavalt aga veetaimede fotosünteesist tingitud gaasisisalduse dünaamikat.

Täielikuma ülevaate saamiseks tiikide gaasirežiimist jälgiti 1961., 1962. ja 1963. a. suvel hapniku- ja süsihappegaasisisalduse ööpäevast dünaamikat viie tiigi vees. Kontrollvaatlused toimusid ka allika kahes väljavoolupunktis.

Need detailsed vaatlused osutusid vajalikuks eriti selle tõttu, et suviti Põlulas aeg-ajalt esinenud forellide suremise puhul täheldati kaladel gaasimullihaguse sümptome.

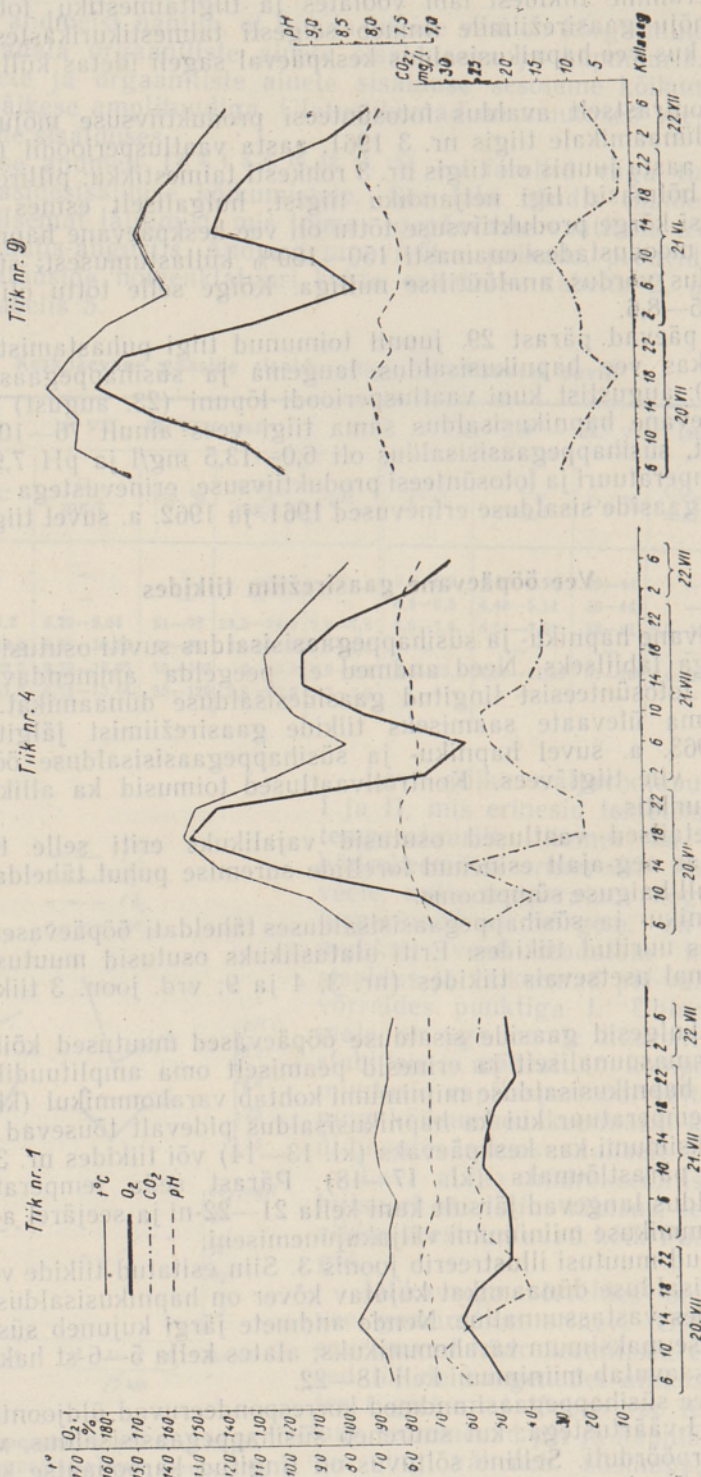
Vee hapniku- ja süsihappegaasisisalduses täheldati ööpäevaseid muutusi kõikides uuritud tiikides. Eriti ulatuslikuks osutusid muutused allikast kaugemal asetsevais tiikides (nr. 3, 4 ja 9; vrd. joon. 3 tiike nr. 1, 4 ja 9).

Üldiselt kulgesid gaaside sisalduse ööpäevased muutused kõikide tiikide vees samasuunaliselt ja erinesid peamiselt oma amplituudilt. Temperatuuri ja hapnikusisalduse miinimumi kohtab varahommikul (kl. 5—7). Hiljem nii temperatuur kui ka hapnikusisaldus pidevalt tõusevad ja saavutavad maksimumi kas keskpäevaks (kl. 13—14) või tiikides nr. 3, 4 ja 9 sagedamini pärastlõunaks (kl. 17—18). Pärast seda temperatuur ja hapnikusisaldus langevad järsult kuni kella 21—22-ni ja seejärel aeglaselt kuni varahommikuse miinimumi väljakujunemiseni.

Kirjeldatud muutusi illustreerib joonis 3. Siin esitatud tiikide vee süsihappegaasisisalduse dünaamikat kujutav kõver on hapnikusisalduse kõveraga võrreldes vastassuunaline. Nende andmete järgi kujuneb süsihappegaasisisalduse maksimum varahommikuks; alates kella 5—6-st hakkab see langema ja saavutab miinimumi kell 18—22.

Tiikide vee süsihappegaasi andmed korrepondeeruvad üldjoontes hästi vastavate pH-väärtustega: kui suureneb süsihappegaasisisaldus, väheneb pH ja ümberpöörduvalt. Selline sõltuvus on tingitud karbonaatse süsteemi tasakaalu nihkumisest seoses süsihappegaasi kontsentratsiooni muutustega vees. Et hüdroksooniumiooni kontsentratsioon on vesinikkarbonaadi kont-





Joon. 3. Tiigivete ööpäevane gaasirežiim 1963. a. juulis.



sentratsiooniga võrreldes väga väike, avaldub süsihappe dissotsiatsiooni-produktide kontsentratsiooniline muutus praktiliselt ainult pH muutusena.

Vee ööpäevane gaasirežiim kirjeldatud tiikides kujuneb ilmsesti vastavalt tiikides toimuva fotosünteesi produktiivsusele, mida omakorda limiteerivad tiikide temperatuuri- ja valgustustingimused.

Allikavee ööpäevane hapnikusisaldus oli väga stabiilne.

Fotosünteesi produktiivsuse erinevustega on seletatavad ka erinevused vee gaasidesisalduse ööpäevaste muutuste amplituudis üheaegselt uuritud tiikide puhul (tiigid nr. 1, 3, 4 ja 9). Seda järeltust kinnitavad ka erinevate aastate ööpäevaste vaatluste andmed ühel ja samal tiigil. Suurimaid ööpäevaseid muutusi vee gaasidesisalduses täheldati 1963. aasta soojal päikesepaistelisel suvel, väiksemaid — 1962. aasta jahedal vihmaseil suvel.

### Põlula tiikide hüdrokeemilise režiimi hinnang forellikasvatuse seisukohalt

Põlula tiikide hüdrokeemiline uurimine aastail 1961—1963 näitab, et nende vesi on kõrge mineraalainete ja madala, peamiselt autohtoonse päritoluga orgaaniliste ainete sisaldusega.

Tiike ühendav veevarustus, mis on rajatud võimsale, soodsa temperatuuri ja sobiva hüdrokeemilise režiimiga Lavi allikale, kindlustab tiikide vees orgaaniliste ainete sisalduse, mineralisatsiooni ja ka ionkoostise stabiilsuse nii erinevatel hüdroloogilistel perioodidel kui ka erinevatel aastatel (tab. 3 ja 4). Arvestades kirjanduse andmeid [2, 5, 6, 7], vastab Põlula tiikide vesi eespool toodud näitajate osas täiesti forellikasvatuse nõuetele.

R. Czerny [2], H. J. Bandt [3], O. Harnischi [4], H. Liebmanni [5], N. Putškovi [12], B. Tserfassi [14], G. Vinbergi [10] ja G. Sapošnikova [15] järgi peaks ulatuslik gaaside sisalduse kõikumine сувiti, nagu seda esineb Põlula tiikides, olema ebasoodus tundlikele vikerforellidele. Tiikides nr. 3, 4 ja 9 esines сувiti ulatuslikke ööpäevaseid muutusi vee temperatuuris ning hapniku- ja süsihappegaasisisalduses. Gaaside sisalduse kõikumisega kaasus enamasti vee üleküllastumus hapnikuga. Eriti ulatuslikke muutusi ööpäevases hapnikusisalduses täheldati 1963. a. suvel, millal ta kell 18—19 moodustas tiigis nr. 3 130%, tiigis nr. 4 150% ja tiigis nr. 9 178% küllastumusest.

O. Harnischi [4] ja H. Liebmanni [5] järgi on vee üleküllastumus hapnikuga forellidele ohtlik, põhjustades gaasimullihagust, millele enamasti järgneb massiline kalade hukkumine. Hapnikuga üleküllastumuse põhjuseks võivad olla nii vee temperatuuri tõus kui ka rõhu langus, kõige sagedamini aga hapniku rikkalik produtseerimine veetaimede poolt fotosünteesiprotsessis.

Kõrvutades kirjanduse andmeid Põlula tiikide hüdrokeemilise analüüsi ja vaatluse tulemustega, võib oletada, et forellide hukkumise põhjuseks siin oli vee üleküllastumus hapnikuga.

Põlulas esines forellide hukkumist сувiti (harva ka kevaditi) kuumade ilmadega. Enamasti algas kalade suremine õhtupoolikul, seega päevase maksimaalse veetemperatuuri ja maksimaalse hapnikusisalduse üheaegsel esinemisel. Forellide hukkumist täheldati kõige sagedamini tiigis nr. 4, harvemini ka mõnes teises allikast eemal asetsevas tiigis. Kahjustatud kalade käitumine ja surnud isendite sümptoomid viitasid gaasimullihagusele.

Väävelvesiniku ja ammoniaagi kvalitatiivne määramine tiikides andis negatiivseid tulemusi.



Tabel 6

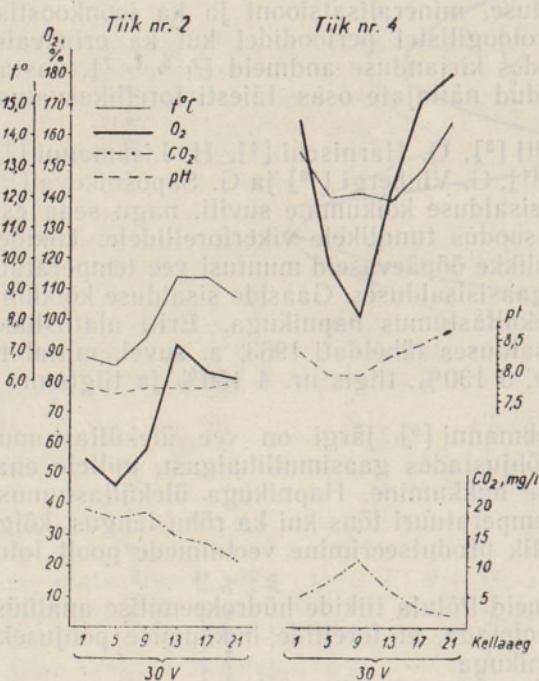
Tiigivete temperatuur, pH ja gaaside sisaldus 1963. a. suvel forellide suremise ajal (14. VII) ja sellele eelnevalt ning järgnevalt

Proovi võtmise aeg	13. VII kell 5-6					14. VII kell 18-19					17. VII kell 5-6				
	t° C	O <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , mg/l	pH	t° C	O <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , mg/l	pH	t° C	O <sub>2</sub> , mg/l	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , mg/l	pH
3	14,0	13,98	134	5,4	8,1	19,2	17,71	189	0	8,2	14,7	13,81	134	12,5	8,1
4	—	—	—	—	—	12,3	15,33	142	7,0	8,0	8,6	7,84	67	19,0	7,4
7	—	—	—	—	—	18,8	23,14	245	0	8,5	—	—	—	—	—
9	16,0	14,87	149	0	8,3	19,8	20,68	224	0	8,5	16,3	17,44	175	0	8,3

1963. a. kevadel ja suvel õnnestus teostada Põlula tiikidel mõned vaatlused ja kontrollanalüüsid forellide hukkumise ajal. 1963. a. mai lõpul, seoses õhutemperatuuri järsu tõusuga, täheldati forellidel tiigis nr. 4 gaasimullihaiguse sümptoome ja sellele järgnevalt osa kalade suremist. Joonisel 4 kujutatakse võrdlevalt tiikides nr. 2 ja 4 (esimese kalade suremist ei esinenud) vee temperatuuri, pH ja gaasisisalduse muutumist.

Vee väga kõikuv ning kõrge hapnikusisaldus 30. mail tiigis nr. 4, mis õhtul moodustas 180% küllastumusest, kinnitab gaasimullihaigusesse suremise võimalust. Sama kõnelevad ka 1963. a. suvel forellide suremise ajal Põlula tiikidest kogutud hüdrokeemilised andmed (tab. 6).

Ulatuslik gaaside sisalduse muutumine ja üleküllastumus hapnikuga allikast kaugemal paiknevate tiikide vees on tingitud bioloogilistest faktoritest, tõenäoliselt rohevetikate fotosünteesi produktiivsusest, mis koos neid limiteerivate tingimustega vajavad detailsemat uurimist.



Joon. 4. Tiigivete ööpäevane gaasirežiim forellide suremise ajal (tiigis nr. 4) 1963. a. mais.

#### KIRJANDUS

1. Bond R. D., 1955. Determination of low concentration of sulphate using barium chloride and EDTA. Chemistry and Industry, 941.
2. Czerny R., 1960. Wasser-, Abwasser- und Fischereichemie. Berlin.
3. Bandt H. J., 1936. Der für Fische «tödliche pH-Wert» im alkalischen Bereich. Z. Fischerei, 34, 3.
4. Harnisch O., 1951. Hydrophysiologie der Tiere. Die Binnengewässer, 14. Stuttgart.



5. Liebmann H., 1960. Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie, 2, Lief. 5. Jena.
6. Nowak W., Čerňajev W. P., 1934. Die Sauerstoff- und Kohlensäureschichtung sowie die Schwankungen des Härtegrades und des pH im Teichwasser unter dem Einfluss der Witterung. Z. Fischerei, 32, 2.
7. Ohle W., 1938. Teichwirtschaftliche Kalkkontrolle und die SBV-Tasche. Z. Fischerei, 36, 2.
8. Алекин О. А., 1953. Основы гидрохимии. Л.
9. Алекин О. А., 1959. Методы исследования физических свойств и химического состава воды. Жизнь пресных вод СССР, т. IV, ч. 2. М.—Л.
10. Винберг Г. Г., 1951. Случай летнего замора рыб в озере. Природа, 3.
11. Пршибил Р., 1958. Комплексометрия. В сб.: Комплексометрия. М.
12. Пучков Н. В., 1954. Физиология рыб. М.
13. Современные методы анализа природных вод, 1962. М.
14. Черфас Б. И., 1950. Рыбоводство в естественных водоемах. М.
15. Шапошникова Г. Х., 1950. Биологические основы рыбного хозяйства. Жизнь пресных вод СССР, т. III. М.—Л.
16. Шварценбах Г., 1958. Комплексометрическое титрование. В сб.: Комплексометрия. М.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Saabus toimetusse  
1. IV 1964

T. ПАРТС, X. СИММ

## О ГИДРОХИМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПРУДОВ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА ПЫЛУЛА

### Резюме

В 1961—1963 гг. исследовали динамику содержания газов, главнейших ионов и органических веществ воды прудов Пылула и их питающего источника Лави (рис. 1). Было проведено 1972 гидрохимических анализа из собранных 574 водных проб.

По классификации природных вод [8], вода прудов Пылула со сравнительно высокой минерализацией относится к гидрокарбонатному классу II типа группы кальция и характеризуется общей формулой  $C_{II}^{Ca} 5_{0,4}$ .

Содержание органических веществ в воде малое и в основном они автохтонного происхождения (табл. 3 и 4). Объединенное водоснабжение прудов, построенное на базе мощного источника Лави, имеющего подходящую температуру и гидрохимический режим, обеспечивает стабильность содержания органических веществ воды, минерализации и ионного состава как в разные гидрометеорологические периоды, так и в разрезе нескольких лет (табл. 3 и 4).

По газовому режиму и температуре пруды отличаются друг от друга. В источнике Лави наблюдается большая стабильность в температуре, pH и содержании кислорода как круглогодично, так и в течение суток.

От пруда № 1 в направлении прудов № 3 и 4 непрерывно повышаются температура и содержание кислорода, содержание же углекислого газа понижается (табл. 3—5, рис. 2). Это вызвано непрерывным согреванием и аэрацией прудов, вод источника и фотосинтезом водных растений прудов.

Качественный анализ сероводорода и аммиака дал отрицательные результаты. Летние круглосуточные наблюдения газового режима показывают, что в богатых зелеными водорослями и высшими растениями прудах № 3, 4 и 9, находящихся на дальнем расстоянии от источника, происходят большие круглосуточные изменения температуры, содержания кислорода и углекислого газа. Изменение содержания газов сопровождается пересыщением кислородом вод этих прудов в полдень и вечером (рис. 3).

Амплитуда колебания содержания газов в воде прудов зависит от господствующих метеорологических условий. Наименьшее круглосуточное изменение в содержании газов наблюдалось в прохладное и дождливое лето 1962 года, наибольшее — в теплое и солнечное лето 1963 года. В последний период содержание кислорода повышалось в пруде № 9 к вечеру до 17,24 мг/л  $O_2$ , что составляет 178% от насыщенности.

Эти данные приводят к мнению, что резкие колебания в газосодержании вод прудов и особенно пересыщенность кислородом могут быть причиной гибели форелей, которые иногда в летний период встречались в Пылула. На эту возможность указывают и данные литературы [4, 5]. Вышеуказанное мнение подтверждают симптомы газопузырной болезни у погибших и поврежденных форелей в Пылула, а также данные содержания кислорода водных проб, взятые во время гибели рыб из указанных прудов



(табл. 6, рис. 4). Особенно выразительными были эти данные 14. VII 1963 года, когда содержание кислорода в некоторых прудах превышало 20 мг/л O<sub>2</sub>, составляя более 200% от насыщенности.

Большая изменчивость в газосодержании и перенасыщение кислородом в летний период в прудах Пылула, находящихся дальше от источника, обусловлена биологическими факторами, вероятно, высокой продуктивностью фотосинтеза зеленых водорослей.

Названные биологические факторы и лимитирующие их условия требуют дальнейшего детального исследования.

*Институт зоологии и ботаники  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
1/IV 1964

T. PARTS, H. SIMM

## ÜBER DAS HYDROCHEMISCHE REGIME DER TEICHE DER FISCHWIRTSCHAFT PÖLULA

### Zusammenfassung

In den Jahren 1961—1963 wurde die hydrochemische Dynamik der Teiche Pölulas und der sie nährenden Quelle Lavi untersucht (Abb. 1). Insgesamt wurden 574 Wasserproben genommen und 1972 hydrochemische Analysen durchgeführt.

Das Wasser der Teiche Pölulas, durch eine verhältnismässig hohe Mineralisation gekennzeichnet, gehört (der Klassifikation der natürlichen Gewässer [8] gemäss) der Calciumgruppe der Hydrogencarbonatklasse II Typs an; sie wird durch die Formel  $Ca^{5}_{II 0.4}$  charakterisiert.

Die organischen Stoffe des Teichwassers sind im allgemeinen autochthoner Herkunft, ihr Gehalt im Wasser ist niedrig (Tab. 3 und 4). Die Wasserversorgung der Teiche durch die mächtige, günstige Temperatur- und hydrochemische Regime aufweisende Quelle Lavi garantiert die jahreszeitliche Stabilität des Gehalts an organischen Stoffen, an Mineralstoffen und an einzelnen Ionen im Teichwasser.

Die Teiche unterscheiden sich aber durch die Verschiedenheit ihres Temperatur- und Gasregimes. Gemäss den jahreszeitlichen Untersuchungen und den im Sommer Tag und Nacht alle 2 Stunden wiederholten Messungen erwiesen sich Temperatur, pH und Sauerstoffgehalt der Quelle als überaus stabil. In der Richtung vom Teiche 1 zu den Teichen 3 und 4 steigen jedoch Temperatur und Sauerstoffgehalt ständig, der Kohlendioxidgehalt dagegen vermindert sich stromabwärts (Tab. 3—5, Abb. 2). Letzterwähntes wird durch die Erwärmung und Durchlüftung des fließenden Wassers, sowie durch die photosynthetischen Vorgänge in den Teichen bedingt.

Die qualitative Bestimmung des Schwefelwasserstoffs und des Ammoniaks im Teichwasser gab negative Ergebnisse.

Die im Sommer durchgeführten, 48 Stunden dauernden und alle 2 Stunden wiederholten Beobachtungen zeigen, dass in den von der Quelle weiter entfernten, an Grünalgen und höheren Wasserpflanzen reichen Teichen 3, 4 und 9 im Verlauf eines Tages umfangreiche Schwankungen der Temperatur, des Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalts stattfinden (Abb. 3). Daran gesellt sich oft in den Mittags- und Nachmittagsstunden eine Sauerstoffübersättigung des Wassers.

Die Amplitude der Gasgehaltsschwankungen wird durch die meteorologischen Bedingungen wesentlich beeinflusst. Die kleinsten im Laufe von 24 Stunden erfolgten Schwankungen fanden im kühlen regnerischen Sommer des Jahres 1962, die umfangreichsten im heissen sonnigen Sommer des Jahres 1963 statt. Während der letzteren Beobachtungsperiode stieg der Sauerstoffgehalt des Wassers im Teiche 9 nachmittags bis 17,24 mg/l O<sub>2</sub> (entspricht einer Sättigung von 178% O<sub>2</sub>).

Diese Angaben führten zur Ansicht, dass die im Wasser einiger Teiche stattfindenden Schwankungen des Gasgehalts, besonders aber die Sauerstoffübersättigung als Ursache des in Pölula manchmal vorkommenden massenhaften Sterbens der Forellen angesehen werden kann. Diese Ansicht wurde durch die an den Fischen beobachteten Symptome der Gasblasenkrankheit, sowie durch Analyseangaben der Wasserproben während dieses massenhaften Umkommens bestätigt (Tab. 6, Abb. 4), — insbesondere am 14. VII 1963, als die Sauerstoffsättigung in einigen Teichen 200% O<sub>2</sub> überstieg.

Die beträchtlichen Schwankungen des Gasgehalts des Wassers und — im Sommer — die Sauerstoffübersättigung in den von der Quelle entfernt liegenden Teichen Pölulas werden durch biologische Faktoren, vermutlich durch die hohe Sauerstoffproduktion der Grünalgen, hervorgerufen.

Eine Sonderuntersuchung dieser biologischen Faktoren und ihrer Bedingungen ist erforderlich.

*Institut für Zoologie und Botanik  
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen  
am 1. April 1964