



**PÕHJAVEE
KASUTAMISEST
JA KAITSEST
EESTI NSV-S**



**PÕHJAVEE
KASUTAMISEST
JA KAITSEST
EESTI NSV-S**

Heer

26.5-79.

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA
LOODUSKAITSE KOMISJON

**PÕHJAVEE KASUTAMISEST
JA KAITSEST EESTI NSV-s**

TALLINN 1978

551.49
P 88

Toimetuskolleegium: E. Kumari (esimees), Ü. Heinsalu (toimetaja),
H. Viiding, V. Hang

Trükitud Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetus- ja Kirjastusnõukogu
otsusel

TKN-i nr. 1231

Kaane kujundanud R. Eilsen

P $\frac{20806-037}{M 906(16)-78}$ 34—77

© Eesti NSV Teaduste Akadeemia 1978

SAATEKS

Seoses Eesti NSV rahvamajanduse kiire arenguga suureneb pidevalt veevajadus ja koos sellega põhjavee tarbimine. Kahjuks ei ole maapõues kvaliteetset magedat põhjavett kõikjal külluses. Põhjaveeressursside kasutamine on mõnes paigas juba jõudnud piirini, kus puuduvad võimalused seda edaspidi suurendada. Samal ajal kasvab murettekitavalt reoainete hulk, mis satub pinnaveekogudest või muul viisil põhjavette, saastades seda. Suurtel aladel on esimese põhjaveekihi vesi kvaliteedilt halvenenud või muutunud joogiks kõlbmatuks. Võitlus põhjavee ebaratsionaalse kasutamise ja saastamise vastu on kahtlemata Eestis üks tähtsaimaid keskkonnakaitse probleeme ning sellekohased uurimistööd ja spetsialistide ettepanekud vajavad kõige hoolikamat tähelepanu.

Käesolev kogumik tutvustab põhjavee ratsionaalse kasutamise ja kaitse küsimusi, mida arutati Eesti NSV Teaduste Akadeemia Looduskaitse Komisjoni XV laiendatud pleenumil Tartus 1976. aasta veebruaris. Kogumik on mõeldud kasutamiseks kõigepealt geoloogidele, hüdrogeoloogidele, hüdroloogidele, inseneridele, projekteerijatele, veemajandusspetsialistidele jt. töötajatele, kellest sõltub põhjavee heaperemehelik kasutamine ja kaitse. Uhtlasi peaks ta pakkuma huvi ka laiemale lugejaskonnale.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Looduskaitse Komisjon

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с быстрым развитием народного хозяйства Эстонской ССР водопотребление и вместе с тем эксплуатация подземных вод постоянно увеличиваются. Все больше воды расходуется на нужды промышленных предприятий, сельскохозяйственного производства и коммунального хозяйства быстро растущих городов и поселков. Однако запасы высококачественных пресных подземных вод в недрах не везде достаточно большие. Поэтому эксплуатация ресурсов подземных вод достигла в некоторых районах уже максимального предела и возможности ее увеличения отсутствуют. В то же время нас беспокоит рост количества загрязняющих веществ, проникающих в подземные воды с поверхности земли и из водоемов. Уже на некоторых территориях качество воды первого слоя подземных вод ухудшилось или она стала непригодной для питья. Борьба с нерациональным использованием и загрязнением подземных вод является несомненно одной из важнейших проблем защиты среды в республике. Исследования и предложения специалистов по этим вопросам требуют наиболее серьезного внимания.

В настоящем сборнике рассматриваются вопросы рационального использования и охраны подземных вод, обсуждавшиеся на XV расширенном пленуме Комиссии по охране природы при Академии наук Эстонской ССР в феврале 1976 года. Сборник рассчитан на геологов, гидрогеологов, гидрологов, инженеров-проектировщиков, специалистов по водному хозяйству и других работников, от доброхозяйственного отношения которых зависит охрана подземных вод. Он представляет интерес также для широкого круга читателей как материал по защите среды.

Президиум Комиссии по охране природы
при Академии наук Эстонской ССР

FOREWORD

The rapid development of the national economy of the Estonian S. S. R. involves an ever-growing need for water supplies. This in turn intensifies the exploitation of the ground water reserves. Ever more water is needed for the use of industrial and agricultural enterprises as well as for the rapidly growing towns and settlements. Unfortunately, the reserves of good-quality sweet ground water are not sufficient in all parts of the republic. Therefore, in several districts, the exploitation of ground water resources has already reached its utmost limit which cannot be exceeded. At the same time the amounts of waste and refuse are growing at an alarming rate. These infiltrate from bodies of surface water or through other channels into the ground water and contaminate it. Over large areas the quality of the first ground water table has already deteriorated and become unfit for drinking. The fight against the pollution and irrational exploitation of our ground water reserves is, no doubt, one of the acutest problems of our environment protection. Therefore the investigations carried out in this field and the recommendations made by specialists in these questions should be given the most careful consideration.

The present collection gives a survey of the questions of the rational use and protection of ground water that were discussed at the fifteenth enlarged plenary session of the Commission for Nature Conservation of the Academy of Sciences of the Estonian S. S. R., held in Tartu in February, 1976. It is meant first and foremost as a handbook for geologists, hydrogeologists, hydrologists, engineers responsible for designing hydrotechnical constructions and specialists and other workers exploiting these, i. e., for all those people on whom the rational use and protection of our ground water reserves may depend. At the same time, this booklet might be of interest to the public at large as a source of information on problems of environment conservation.

Commission for Nature Conservation of the
Academy of Sciences of the Estonian S. S. R.

EESTI PÕHJAVEE SEISUND, KASUTAMINE JA KAITSE

P. Vingisaar, V. Karise, H. Kink, A. Maastik,
L. Savitskaja, L. Savitski, A. Viigand

Põhjavesi on olnud senini meie peamine joogi- ja olmeveeallikas. Niipalju kui tehnika ja majanduse praegune tase ennustusi teha lubab, jääb ta selleks ka edaspidi.

Eesti NSV-s saadakse suurem osa põhjaveest settekivimite ülemistest kihtidest, sealt, kus on soodsad tingimused sademe- ja pinnavee maasse imbumiseks, s. t. kus toimub intensiivne veevahetus. Intensiivse ehk vaba veevahetuse vöö, eriti aga selle ülemine veerikkaim osa (paksus ca 50—100 m), on ühtlasi ka kõige rohkem mõjutatav inimtegevusest.

Eesti geoloogilisest ehitusest tingituna — kihtide lõunasuunalise kallakuse tõttu — avanevad peaaegu kõik meie põhjaveekihiid maapinnale ida—lääne-suunaliste vöönditena. Teiste sõnadega: kõik põhjaveekihiid ulatuvad intensiivse veevahetuse vöösse. Seepärast on Eestile iseloomulik maapõue suhteline avatus: valdaval maa-alal moodustab vaba veevahetuse vöö kogu põhjaveega küllastunud läbilõike, mille paksus Kesk-Eestis ületab 300 meetrit, kahanedes põhja poole vettkandvate kivimite üldpaksuse vähenemisest tingitult umbes 100 meetrini. Lõunasse väheneb intensiivse veevahetuse vöö paksus 250 meetrini devoni liivakivide, aleüroliitide ja savide levikualal, kus vertikaalse veevahetuse intensiivsus on väiksem kui Kesk- ja Põhja-Eesti lõhelistes lubjakivides.

Eesti territooriumi looduslikke põhjaveeressursse kajastab veebilansi osa, mis näitab, kui palju põhjavett läheb jõgede ja järvede toiteks või otse maapõuest merre. See on põhjavee äravool, mis I. Zektseri (Зекцер, 1968) ja T. Eipre (1971) andmeil on 4,5—4,75 km³ aastas. Et kättesaadava põhjavee hulk sõltub kivimite filtratsiooniomadustest, veetasemest jne., tuleb määrata, milline osa põhjaveeressurssidest praktiliselt on võimalik kätte saada. Viimast näitab kasutatava põhjaveevaru ligikaudne prognoos.

Põhjavee tarbimine Eesti NSV-s ja põhjavee prognoosne varu

Rajoon	Veekihi indeks	Veetarbimine (1973. a.), tuh. m ³ /ööp.	Prognoosne veevaru, tuh. m ³ /ööp.
Haapsalu	—	9,1	160
Harju	—	101,4	434
Hiiumaa	—	3,0	49
Jõgeva	—	11,4	170
Kingissepa	—	14,3	172
Kohtla-Järve	—	58,3	152
Paide	—	12,5	182
Põlva	—	8,5	117
Pärnu	—	29,8	237
Rakvere	—	28,2	268
Rapla	—	10,0	180
Tartu	—	44,8	287
Valga	—	11,1	140
Viljandi	—	18,8	255
Võru	—	14,4	123
Linnad ja linna tüüpi asulad	—	243,3	735
Põllumajandus	—	132,3	2190
Kokku Eesti NSV	—	375,6	2926
selest:	Q	50,4	87
	D ₃₋₂	35,3	557
	D ₂	23,3	284
	S—O	100,5	1603
	O—E	37,5	109
	E—V	128,6	286

Metoodikast olenevalt on saadud tulemuseks 2926 tuh. m³/ööp. (tabel 1) ehk 1,1 km³ aastas (A. Viigandi töömaterjalid 1976. aastast) kuni 2,3 km³ aastas (Tšeban, 1972).

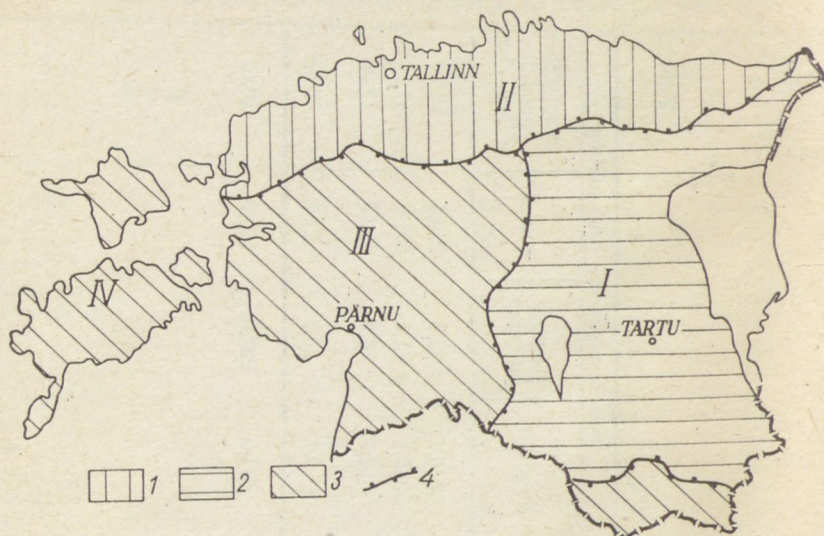
1973. a. tarbiti põhjavett 375 000 m³/ööp., sellest linnades ja linna tüüpi asulates 243 000 m³/ööp. ehk 65%. Kõige suurem on põhjavee tarbimine Soome lahega piirnevates rajoonides, kuhu on koondunud enamik meie vabariigi tööstusettevõtteist. Põhjavee-tarbemoodul ehk keskmine tarbimine 1 km² kohta on selles piirkonnas 18,38 m³/ööp., samal ajal kui saartel ja läänerajoonides on see vaid 4,1—4,4 m³/ööp. (tabel 2, joon. 1). Keskmine põhjavee-tarbemoodul Eesti NSV kohta tervikuna on 8,67 m³/ööp. ehk 0,1 l/s. Veehaareteks on meil põhiliselt puurkaevud, mille arv ulatub 17 000-ni. Neist pooled on sügavusega alla 20 m ja paiknevad peamiselt Põhja- ja Kesk-Eestis karbonaatsete kivimite avamus-alal.

Tabel 2

Põhjavee tarbimine vesikondade järgi

Vesikond	Vesikonna pindala, km ²	Veetarbimine (1973. a.), tuh. m ³ /ööp.				1980. a. veetarve, tuh. m ³ /ööp.			
		linnades	põlluma- janduses	kokku	Veetarbe- moodul, m ³ /ööp. • km ²	linnades	põlluma- janduses	kokku	Veetarbe- moodul, m ³ /ööp. • km ²
Narva jõe	15 293	66,8	46,5	113,3	7,40	146,5	93,9	240,4	15,72
Soome lahe	9 980	144,6	38,9	183,5	18,38	392,3	79,3	471,6	47,25
Riia lahe	13 867	27,1	34,4	61,5	4,43	64,5	88,8	153,3	11,06
Läänemere saarte	4 169	4,8	12,5	17,3	4,14	7,7	20,0	27,7	6,64
Kokku	43 309*	243,3	132,3	375,6	8,67	611,0	282,0	893,0	20,62

* Pindala ilma Peipsi ja Võrtsjärvega.



Joon. 1. Põhjavee tarbimise skeem vesikondade järgi.

Vesikonnad: I — Narva jõe; II — Soome lahe; III — Riia lahe; IV — Läänemere saarte.
Keskmine põhjaveetarbemoodul vesikonnas ($\text{m}^3/\text{ööp.} \cdot \text{km}^2$): 1 — üle 10; 2 — 10 kuni 5;
3 — 5 kuni 1; 4 — vesikondade piir.

Tootmise mahu kasvust ja olmetingimuste paranemisest tingituna suureneb tulevikus veetarve tunduvalt. On oluline, et tulevane veevajadus määrataks küllaldase täpsusega, andmaks vajalikku kindlust vee kasutamise ja kaitse kavadele.

Põhjaveevaru vähenemine toimub kahesuguselt: kvalitatiivsete näitajate halvenemisena ja kvantitatiivselt. Viimane on tingitud põhjavee tarbimisest olme-joogiveena ja tehnoloogilise, kastmise jm. tehnilise veena ning veekulust seal, kus tegelikku vajadust vee järele ei ole — kaevanduste, karjääride ja maade kuivendamisel jm.

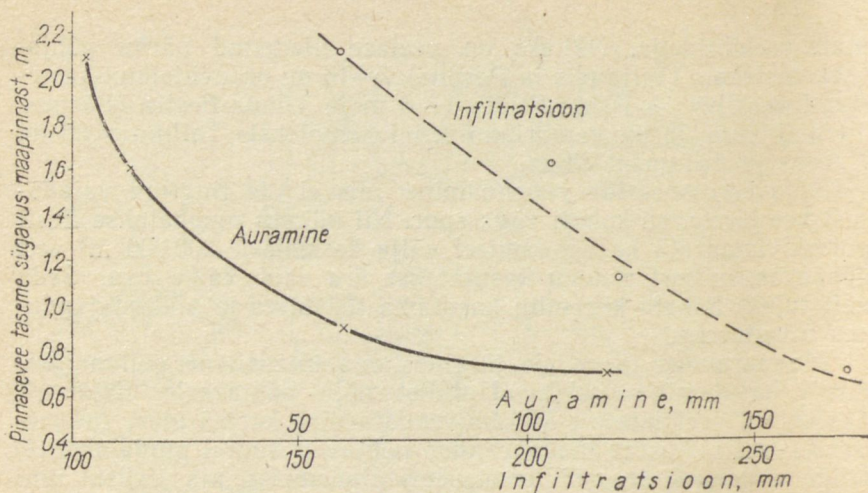
Põhjavee kasutamine elanikkonna ja tööstuse vajadusteks ei ole tänapäeval kaasa toonud märkimisväärset ressurside ammen-damist. Ülemiste, kõige veerikkamate kihtide arvel töötavad veehaarded kasutavad ära vähem kui 10% veevarust. Kohati on veevõtt tinginud veepinna vähest alanemist (Jõgeval 3 m, Paides 2 m, Pärnus 2,5 m algsest veetasemest). Et aga ülemine veekiht on sageli saastunud, võetakse üha enam kasutusele alumisi. Pealegi on Põhja-Eestis asulaid, mille varustamine veega on mõeldav vaid ühest ja sügavaimast — kambriumi-vendi põhjaveekompleksist (Вийранд, Мокрик, Савицкий, 1975). Et sellesse rajooni on koondunud meie suuremad tööstuskeskused, kasutatakse kambriumi-vendi kompleksi prognoosvarust juba nüüd 45%. Suurimad kasutamisest tingitud veepinna alanemised ongi seotud sügava-

mate veekihtidega. Näiteks on veetase alanenud pärnu põhjaveekompleksis (Viljandis ja Pärnus) 7—16 m; ordoviitsiumi-kambriumi veekihi — Põhja-Eestis 1—8 m ja Lõuna-Eestis (Pärnus, Tartus) kuni 28 m; kambriumi-vendi kompleksis Tallinnas 30 m, Narvas ja Sillamäel 38 m.

Põhjaveeressursside vähendamine, mis ei ole tingitud vajadusest vee järele, on kohati väga suur. Nii näiteks pumbatakse Eesti põlevkivimaardla kaevandamisel välja keskmiselt 300 000 m³ vett ööpäevas, millest praegu kasutatakse ära vaid väike osa. Seda vett tuleks hakata kiiremini kasutama tööstuses ja põllumajanduses niisutuseks.

Maaparandus ja sellele järgnev maa intensiivne põllumajanduslik kasutamine avaldavad olulist mõju põhjaveele. Erinevalt üksikutest veehaaretest või kuivendatavaist karjääridest ja kaevandustest mõjustab maaparandus põhjavett suurel pindalal. Eelkõige väljendub see põhjaveetaseme alanemises, aja jooksul ilmnevad muutused ka vee keemilises koostises. Peamiseks muutuseks põhjavee režiimis on kõrgveeperioodi lühenemine. Seoses pinnasevee kiirendatud ärajuhtimisega veekogudesse väheneb vee filtreerumine maapõue. Et pinnasevee ja selle all lasuva põhjaveekihi taseme vahe kõigub meil tavaliselt 2—5 m piires, siis pinnasevee taseme alandamisel kõigest 1 m võrra väheneb surve selle all olevale põhjaveekihile 20—50% ja vastavalt ka viimase toitumine. Geoloogia Valitsuse poolt tehtud pikaajalised põhjavee režiimi ja bilansi uuringud mitmes maaparanduspiirkonnas (Tamme, Tooma, Leivajõgi jt.) on tõendanud, et põhjaveetaseme alaneb kuni 1,2 m aastas. Katsed liivsavipinnasega ja loodusliku rohttaimestikuga lüsimetritel näitasid, et põhjaveetaseme sügavnedes väheneb nii infiltratsioon kui ka auramine põhjaveepeeglit (joon. 2), kusjuures infiltratsioon ületab siiski auramise. Tuleb aga arvestada, et summaarne auramine kultuurmaade pinnalt on vegetatsiooniperioodil keskmiselt 200 mm suurem kui looduslikelt maadelt.

Kuivenduse eelkirjeldatud toime põhjaveele on üldine ja avaldub ka siis, kui põhjavett otseselt ei avata. Kahjuks on survelise põhjavee kihtide avamine meie maaparanduse praktikas küllalt tavaline, seejuures on põhjaveetaseme sageli alanenud 3—5 m. Neil juhtudel ulatub depressioonilehtri läbimõõt mõne kilomeetrini ja ärajuhitav veehulk on seega väga suur. Autorite arvates on suurim põhjaveevaru kahandaja põllu- ja metsamaade kuivendus, mis pealegi mõjustab oluliselt ka vee kvaliteeti, intensiivistades veevahetust. Maaparanduse perspektiivkavade koostamisel on vajalikud melioratiiv-hüdrogeoloogilised andmed. ENSV TA Geoloogia Instituut uuris RPUI «Eesti Maaparandusprojekti» tellimisel aastail 1973—1975 melioratiiv-hüdrogeoloogilisi tingimusi Kingisepa, Paide, Rakvere, Pärnu, Rapla ja Harju rajoonis. Selgitati, et vaadeldava piirkonna põhjaveevaru sõltub suuresti maaparanduskoormusest, sest kuivendussüsteemidega juhitakse kohati ära 60—80% ülemise kihi põhjaveest (Kink, 1975, a, b). Eriti halb on



Joon. 2. Infiltratsiooni ja pinnasevee pinnalt auramise sõltuvus pinnasevee tasemest lüsimetritel Tooma bilansijaamas 1974. a. maist kuni detsembrini (L. Savitski järgi).

olukord intensiivselt majandatavates ja keeruliste hüdrogeoloogiliste tingimustega piirkondades, nagu Pandivere kõrgustikul ja kohalikel paekõrgendikel Kohila, Pärnu-Jaagupi, Kalli—Koonga, Vändra, Kehra, Ruila, Nissi—Riisipere, Vasalemma ja Kostivere ümbruses ning mujal (Aruja jt., 1976). Mõnes mainitud piirkonnas ei ole enam võimalik kuivendust planeerida. Neil aladel ei saa ka maaparandusega ärajuhitud vett kasutada põhjaveevaru täiendamiseks (karst, imbdrenaaž), sest vesi on mõjustatud väetistest. Rannikupiirkondades asendab kuivendusega kõrvaldatud magedat põhjavett soolakas vesi, mille tõttu muutuvad raskemaks niigi keerukad veevarustuse tingimused (Vingisaar, 1975; Савицкая, Вингисаар, 1974).

Tänapäeval muutub üha märgatavamaks inimtegevuse mõju põhjavee koostisele. Looduslikult on maapinnalähedase põhjavee valdav mineralisatsioon Eestis kuni 0,3—0,4 g/l, kusjuures domineerivad vesinikkarbonaat-, kaltsium- ja magneesiumioon (Берге, 1965; Каризе, 1966). K^+ , Na^+ , Cl^- ja SO_4^{2-} on põhjavees peamiselt sademetest pärit. Sademevesi saab setteist ja kivimeist läbi imbudes ning põhjaveeks muutudes juurde peamiselt Ca^{2+} , Mg^{2+} ja HCO_3^- . Nende ionide sisaldus ning sellest tingituna ka üldmineralisatsioon ei saa looduslikult olla suurem kui vees lahustunud vaba CO_2 võimaldab. On muidugi spetsiifilisi setteid ja tingimusi, kus moodustuvad anomaalse loodusliku koostisega põhjaveetüübid. Näiteks rabaturbas kujuneb väga väikese mine-

ralisatsiooniga vesi, seevastu raua, sulfiidide ja orgaanilise aine poolest rikkais setteis moodustub nimetatud aineid sisaldav vesi; rannikualadel leidub kõrgenenud kloriidide-, sulfaatide- ja naatriumisaldusega ning vastavalt suurenenud mineralisatsiooniga vett.

Sademevesi omandab põhjaveele iseloomuliku koostise meie niiskes kliimas peamiselt kvaternaari setteis, eriti just nende ülemist osa (aeratsioonivööd) läbides. Seetõttu ongi Eestis nii lubjaku kui ka liivakivides ning kvaternaari setetes üsna ühesuguse vesinikkarbonaatse koostisega põhjavesi (erandiks on vaid väga karbonaatidevaese pinnase vesi) (tabel 3).

Põhjavee saastajad on peamiselt tööstuse ja kommunaalmaanduse reoveed, põllumajanduskomplekside heitmed, söödad, väetised, taimekaitsevahendid, kütte- ja määrideõlid.

Tööstuse heitvee hulk on suurem Harju, Kohtla-Järve, Paide ja Rakvere rajoonis, kus see on põhjaveele kõige ohtlikum (Савицкая, 1973). Õli satub maasse ja põhjavette põhiliselt mahutite avariide korral, põlevkivi töötlemise jääkide kuhjatistest, kütte- ja määrideaineladudest ning müügipunktidest, autobaasidest, bituumenibaasidest jm. Seda tungib põhjavette ka aherainemägedest ja kildapuistangutest nende põlemisel. Hoidlate avariid ja õliga lohakas ümberkäimine on põhjustanud maapinnalähedase põhjavee saastumist Kohtla-Järvel, Tapal, Tamsalus, Paides, Türil, Rakveres, Kingissepas, Raplas, Märjamaal.

Põhjavee saastumist kommunaalheitvetega on suuremal või vähemal määral täheldatud paljudel veehaaretel. Põhjuseks on kanalisatsiooni puudumine või halb seisund, läbilaskvad sette- ja kogumiskaevud jms.

Vee saastumisel suureneb tavaliselt kõige enam NO_3^- , NO_2^- , NH_4^- , samuti Na^+ , K^+ , Cl^- ja SO_4^{2-} -sisaldus. Kaltsiumi-, magneesiumi- ja vesinikkarbonaadisisaldus suureneb vee saastumisel sageli väga vähe, seepärast saab nende abil rekonstrueerida põhjavee looduslikku mineralisatsiooni. Seega võiks maapinnalähedast põhjavett lugeda saastatuks, kui tema mineralisatsioon ja (või) üksikkomponentide sisaldus ületab foonilist. Siit tuleneb näiv vastuolu joogivee riikliku standardi nõuetega, mida praktilises tegevuses on oluline silmas pidada. Nimelt annab standard piirväärtused, mis ei kajasta iga konkreetset hüdrogeoloogilist olukorda. Nii näiteks lubab standard (ГОСТ 2874-73) joogivees kloorisaldust kuni 350 mg/l, nitraatset lämmastikku kuni 10 mg/l, s. o. nitraadisaldust kuni 44,3 mg/l. Eestis on saastumata ülemises põhjaveekihi kloor- ja nitraatiooni sisaldus vastavalt kuni 20 ja 10 mg/l, seega mitu korda väiksem. Järeldus saab olla üks: üldise normi alusel ei tohi igal konkreetset juhul hinnata põhjavee puhtust või saastatust, vaid tuleb lähtuda looduslikust foonist. loonide kõrgenenud sisaldus, kuigi normi piires, näitab, et põhjavesi on tehnogeensete tegurite mõju all. Sel juhul tuleb kontrollida, kas vees ei leidu raskelt lagunevaid aineid (õlid, osa fenoole,

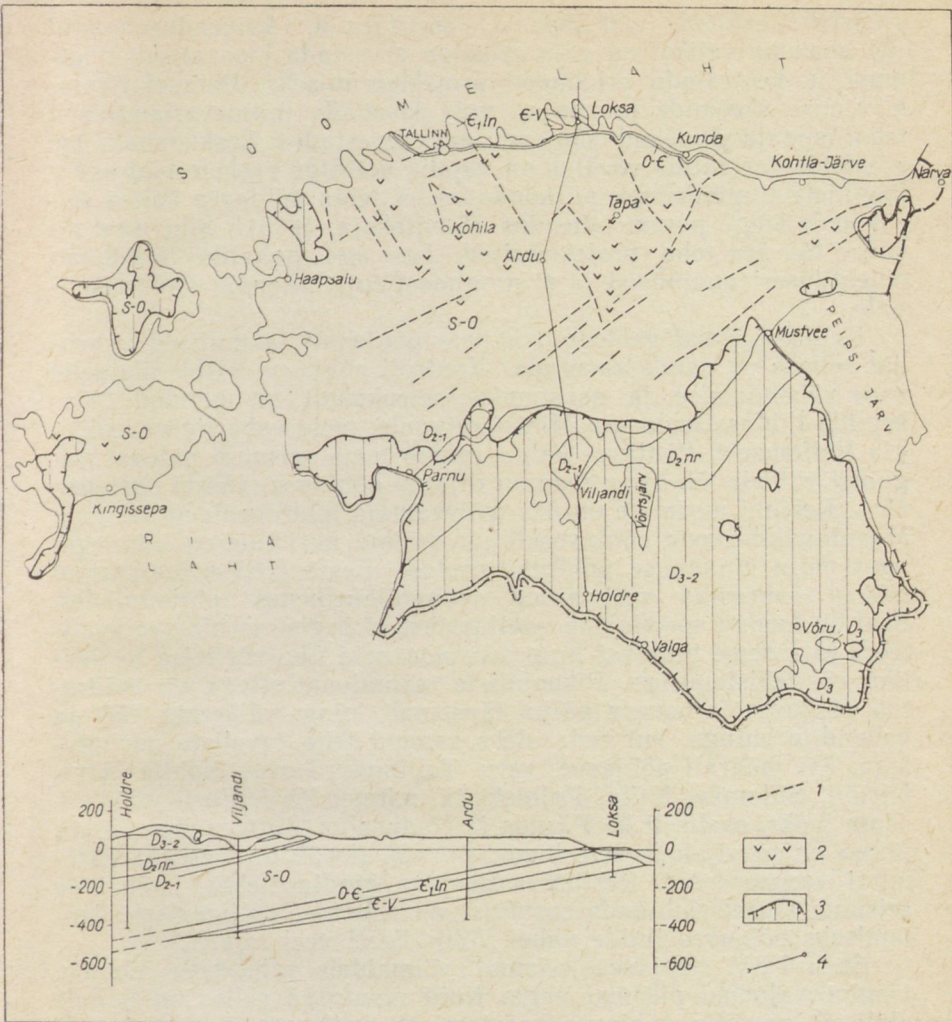
mõningad pestitsiidid jms.), sest needki annavad lagunedes lõpptulemusena SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ jt.

Bakterioloogilise reostuse levikut hoiab mingil määral tagasi põhjavee isepuhastusvõime. Poorses keskkonnas (liiv, kruus) puhastub saastunud vesi küllalt lühikese filtreerumistee järel, eriti kui ta läbib aeratsioonivöö. Seda asjaolu kasutatakse laialdaselt põhjavee tehisvaru loomisel. Selleks pumbatakse jõe- või järvevett liivapinnasele, millest läbi nõrgudes vesi puhastub ning teda võib pumbata puurkaevudest välja juba kvaliteetse põhjaveena. Eestis uuritakse põhjaveevaru täiendamise võimalusi Vasavere veehaardel, et kasutada ära põlevkivikaevandustest väljapumbatavat vett. Lõhelistes lubjakivides on aga põhjavee isepuhastusvõime väike. Lubjakivide avamusalal on õlihoidlade avariide korral maasse sattunud õli liikunud koos veega suhteliselt kiiresti — kuni 10 m ööpäevas — ja jõudnud mitme kilomeetri kaugusele (Kadrina, Kärla). Aja jooksul õlireostus väheneb, kuid võib suviti perioodiliselt korduda paljude aastate jooksul. Reostuse pindalaline levik lõpeb õli osalise kogunemise tagajärjel lõhede seintele ja tühemikesse ning lahjendusest tingitud õlisisalduse vähenemisega vees. Põhjavee kaitstus sõltub muidugi ka aluspõhjakevist lasuva pinnakatte paksusest ja lõimist. Kahjuks on tööstuslikult enam arenenud Põhja-, aga ka Kesk-Eestis ja saartel pinnakate suhteliselt õhuke ja selle all on lõhelised karbonaatsed kiviimid (joon. 3). Sellepärast on põhjavee looduslik kaitstus neis piirkondades nõrk (Savitskaja, 1973; Савицкая, 1973).

ENSV TA Geoloogia Instituudis uuriti moreeni ja liiva põhjavett kaitsvat toimet. On selgunud, et setted ja kivimid peavad reoaineid kinni erinevalt: ammooniumi ja orgaanilist ainet peab moreen hästi kinni, nitraatiooni laseb aga läbi. Üldiselt on kõrgema mineralisatsiooniga vee läbitungimisvõime tunduvalt suurem, mistõttu mõnel juhul ei kujuta ka savilasundid nimetamisväärtset tõket reoveele (Гольдберг, 1972).

Põllumajanduslikke reostusallikaid on Eestis lähemalt uuritud alates 1973. aastast, mille tulemusena on üksikasjalik ülevaade Kingissepa, Paide ja Rakvere rajooni kohta (vt. A. Maastiku artikkel käesolevas kogumikus). Ekspert hinnangu tasemel tehtud analüüsi järgi langeb nende rajoonide punktreostuskoormusest loomakasvatuse arvele sileerimishooajal 86—93% ja muul ajal 36—60%. Kui võtta arvesse ka maal asuvad põllumajandussaadusi töötlevad ettevõtted, on need arvud veelgi suuremad (vastavalt 92—96% ja 70—81%) (Маастик, 1975). Punktreostusele lisandub pindalaline reostus ebasobival ajal (lumele, külmunud maale) laotatud väetistest. Olemasolevail andmeil uhutakse ligikaudu $\frac{1}{3}$ nendest väetistest sulaveega ära ja nad satuvad nii pinna- kui ka põhjavette.

Põhjavee saastamise vältimiseks on meil küllaldane seaduslik alus ja teadmised. Keskkonnakaitsealaste abinõude järjest süvenev tootmisplaanidesse lülitamine aitab kahtlemata olukorda



Joon. 3. Eesti NSV skemaatiline hüdrogeoloogiline kaart.

1 — tektoonilised rikkevööndid; 2 — suuremad karstialad; 3 — looduslikult enam kaitstud põhjavee levikuala; 4 — hüdrogeoloogilise läbilõike joon.

parandada. Põhjavee kaitsmine on eelkõige iga veekasutaja ülesanne. Kaitse organiseerimise ja kontrolliga tegelevad meie vabariigis mitmed ametkonnad, kuid nende tegevuse koordineerimine jätab veel soovida.

Kehtiva korra kohaselt tuleb põhjavee kaitse abinõud ette näha juba perspektiivplaneerimisel ja projekteerimisel. Uute objektide

(tööstusettevõtted, naftabaasid, suurfarmid, kuivendusobjektid jt.) asukohta valikul on vaja eelkõige arvestada looduslikke tingimusi ja kehtestada erinõuded projekteerimiseks. Perspektiivplaneerimise skeemide juurde on vaja koostada mitmevariandilised tehnilis-majanduslikud põhjendused, arvestades keskkonnakaitse nõudeid. Variantide võrdlus on vajalik eelkõige raskete hüdrogeoloogiliste tingimustega piirkondades, et leida põhjavee kaitse seisukohalt kõige parem lahendus (Savitskaja, 1973). Siin saaksid suure töö ära teha projekteerijad, kes aga pahatihti hoiduvad objektiivsest analüüsist ja ei prognoosi rajatise mõju ümbruskonnale.

Kuidas saavad geoloogid kaitsta põhjavett ja millised vahendid selleks on nende kasutada? Kontroll põhjavee kaitse üle selle varu vähendamise ja saastamise seisukohalt on pandud Nõukogude Liidu Geoloogia Ministeeriumile, meie vabariigis Geoloogia Valitsusele. Põhjavee kaitse eeldab tema seisundi pidevat jälgimist, milleks üle kogu maa on rajatud põhjavee režiimi uurimise võrk. Režiimi uurimine on üks mõjusamaid hüdrogeoloogilisi töid. Maapinnalähedaste põhjaveekihtide režiimi uurimine on inimtegevuse mõju hindamise põhiline meetod. Eesti NSV-s paiknevad mõned suuremad veehaarded rannikulähedastes piirkondades. Seal on loodud spetsiaalne vaatlusvõrk, et registreerida vee kvaliteedi ja taseme muutusi ning seostada neid ühe või teise loodusliku või tehisteguriga. Pikaajaliste režiimivaatlustega on määratud põhjavee tarbevaru palju täpsemalt ning väiksema töö ja vahendite kuluga, kui seda oleks saanud teha tavaliste uuringutega. Nii määrati põhjavee varu Tallinna, Tartu, Kohtla-Järve, Kiviõli, Sillamäe, Keila, Paldiski ja mitme Kirde-Eesti tööstusasula jaoks, osaliselt ka Pärnus ja Haapsalus. Mitmes mereäärse linnas on soovitatud veetarbimist piirata, et vältida merevee sissetungi veehaardesse. Režiimivaatlustega kindlakstehtud põhjavee seisundi alusel võib anda soovitusi veetarbimise optimaalseks jaotamiseks põhjaveekihtide vahel Põhja-Eesti veehaardetel.

Eesti NSV põhjavee seisund võimaldab rahuldada elanike joogiveevajadusi pikemat aega. Kuid muutused selles on küllalt olulised, mistõttu põhjavee kasutamisse, kaitsetse, tema seisundi jälgimisse ja uurimisse ei tohi suhtuda ükskõiksest.

KIRJANDUS

- Aruja, M., Eipre, T., Kink, H., Maastik, A., Tšeban, E. Pandivere piirkonna kaitseks. — «Eesti Loodus», 1976, nr. 9, lk. 548—555; nr. 10, lk. 628—634.
- Eipre, T. Eesti mageveevaru ja veeolude reguleerimine. — «Eesti Loodus», 1971, nr. 9, lk. 549—555; nr. 10, lk. 582—589.
- Kink, H. Põhjavee voolust liigniisketele maadele. — Teaduslik-tehnilisi töid. Maaparandus. Tallinn, 1975 a, lk. 47—53.
- Kink, H. Kuivendatud maadelt ärajuhitava vee kvaliteedist Saaremaal. — Teaduslik-tehnilisi töid. Maaparandus. Tallinn, 1975 b, lk. 53—59.

Eesti pinnasevee keemiline koostis (Каризе, 1966, järgi)

Vee- tüüp	Vettkandva kivimi geneetiline tüüp	Põhikomponentide sisaldus vees, mg/l*						Vee karedus, mg-ekv/l		Üldmine- ralisatsioon, mg/l	Vee hüdrokeemiline tüüp**
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼⁼	Cl ⁻	Üldine	Karbonaatne		
Sade- med	—	<u>0,5—8,0</u> 3,7	<u>0,0—3,7</u> 0,8	<u>0,3—9,2</u> 2,6	<u>4,8—35,0</u> 11,2	<u>0,0—10,9</u> 4,6	<u>1,4—5,5</u> 3,0	<u>0,02—0,7</u> 0,19	<u>0,08—0,57</u> 0,18	Kuni 50	Kloriid-vesinikkarbonaatne ja sulfaat-vesinikkarbo- naatne naatrium-kaltsiumi- line ja kaltsium-naatriumi- line jt.
Põhjavesi	Rabaturvas	<u>1,0—7,7</u> 3,1	<u>0,0—1,6</u> 0,5	<u>1,0—7,8</u> 3,2	<u>12,0—30,0</u> 16,5	<u>1,0—6,8</u> 3,2	<u>0,9—7,0</u> 5,0	<u>0,05—0,52</u> 0,16	<u>0,2—0,49</u> 0,27	Kuni 50	Kloriid-vesinikkarbonaatne ja sulfaat-kloriid-vesinik- karbonaatne naatrium-kalt- siumiline ja kaltsium-naat- riumiline jt.
	Liivad (eoolsed, limno- glatsiaalsed, madal- merelised jt.) rabade läheduses	<u>6,0—20,0</u> 10,2	<u>2,0—8,0</u> 3,6	<u>2,0—20,0</u> 9,8	<u>15,0—73,0</u> 47,0	<u>2,0—20,0</u> 11,0	<u>2,0—20,0</u> 9,0	<u>0,46—1,65</u> 0,8	<u>0,25—1,2</u> 0,77	50—100	Kloriid-vesinikkarbonaatne ja sulfaat-kloriid-vesinik- karbonaatne magneesium- naatrium-kaltsiumiline ja magneesium-kaltsium-naat- riumiline jt.
	Erineva tekkega liivad (limnoglatsiaalsed, flu- vioglatsiaalsed, alluvi- aalsed, madalmerelised)	<u>20,0—50,0</u> 41,0	<u>4,0—17,0</u> 10,8	<u>2,0—20,0</u> 9,6	<u>73,0—220,0</u> 170,0	<u>2,0—20,0</u> 11,5	<u>2,0—20,0</u> 9,0	<u>1,35—3,9</u> 2,9	<u>1,2—3,6</u> 2,8	100—200	Vesinikkarbonaatne mag- neesium-kaltsiumiline
	Fluvioglatsiaalsed liiva- kruusa setted, moreeni- alused ja -sisesed lii- vad-kruusad, moreen, lubja- ja liivakivi	<u>40,0—95,0</u> 68,5	<u>11,0—30,0</u> 18,7	<u>2,0—20,0</u> 9,0	<u>220,0—400,0</u> 295,0	<u>2,0—20,0</u> 11,2	<u>2,0—20,0</u> 9,1	<u>2,9—7,2</u> 4,96	<u>3,6—6,6</u> 4,84	200—400	Vesinikkarbonaatne mag- neesium-kaltsiumiline
	Saastunud *** pinnasevesi erinevais kvaternaari setteis ning aluspõhja- kivimeis	Kuni 300	Kuni 300	Kuni 600	Kuni 1200	Kuni 300	Kuni 600	Kuni 40,0	Kuni 20,0	Kuni 3500	Vesinikkarbonaatne mag- neesium-kaltsiumiline, klo- riid-vesinikkarbonaatne ja vesinikkarbonaat-kloriidne kaltsium-naatriumiline ja magneesium-naatrium-kalt- siumiline jt.

* Lugejas komponentide minimaalne ja maksimaalne sisaldus, nimetajas — aritmeetiline keskmine sisaldus.

** Hüdrokeemiline tüüp on antud anioonide ja katioonide kasvavas järjekorras, alates 20 ekv-%-st.

*** Arvestatud olmereostust; tööstusreostuse puhul komponentide sisaldus veelgi suurem.

Savitskaja, L. Ehitusgeoloogilised uurimistööd põhjavee kaitse aspektist. — V Eesti geotehnika konverentsi teesid. Tallinn, 1973, lk. 47.

Tšeban, E. Põhjavesi, selle kasutamine ja kaitse. — «Eesti Loodus», 1972, nr. 5, lk. 266—269.

Vingisaar, P. Põhjavesi. Kuidas me teda kasutame. — «Eesti Loodus», 1975, nr. 1, lk. 1—5; nr. 2, lk. 65—68.

Верте А. Основные черты гидрогеологического строения и формирования подземных вод Эстонского артезианского бассейна. — «Изв. АН ЭССР. Сер. биол.», 1965, № 4, с. 563—586.

Вийганд А. И., Мокрик Р. В., Савицкий Л. А. Предварительная оценка гидродинамических условий вендского водоносного комплекса в пределах Южного склона Балтийского щита. — Материалы межреспубликанского семинара «Региональные вопросы оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна». Вильнюс, 1975, с. 49—56.

Гольдберг В. М. Гидрогеологические основы прогноза качества подземных вод при водоотборе и захоронении промстоков. Автореферат диссертации. М., 1972. 38 с.

Зекцер И. С. Естественные ресурсы пресных подземных вод Прибалтики. М., 1968. 104 с.

Каризе В. Основные черты формирования состава вод четвертичных отложений южной Эстонии. — «Изв. АН ЭССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук», 1966, № 4, с. 579—592.

Маастик А. А. Оценка вероятной загрязнительной нагрузки при водохозяйственном планировании в районах с развитым сельским хозяйством. — Материалы Всесоюзного научного симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества воды. IV секция. Регулирование качества воды. Часть II. Таллин, 1975, с. 189—194.

Савицкая Л. О. Вопросы экономики и охраны подземных вод. — Тезисы докладов по проблеме «Размещение производительных сил СССР». Таллин, 1973, с. 33—36.

Савицкая Л. О., Вингисаар П. А. О сочетании естественных и техногенных факторов формирования гидрохимической зональности подземных вод островов Эстонии. — Материалы семинара по гидрохимии подземных вод Прибалтики и Белоруссии. Вильнюс, 1974, с. 11—14.

СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЭСТОНИИ

П. Вингисаар, В. Каризе, Х. Кинк, А. Маастик,
Л. Савицкая, Л. Савицкий, А. Вийганд

Резюме

Хозяйственно-питьевое водоснабжение населения, а отчасти и промышленности Эстонской ССР базируется на подземных водах. Исходя из особенностей геологического строения территории, в частности широкого развития трещиноватых и закарстованных карбонатных горных пород на большей (северной) части территории республики, подземные воды легко восполняются атмосферными осадками и поверхностными водами. Благодаря этому пресные подземные воды в Центральной Эстонии составляют всю мощность водонасыщенной части геологического разреза. По той

же причине подземные воды Северной и Центральной Эстонии, а также островов в природном отношении неудовлетворительно защищены от загрязнения (рис. 3).

Современный отбор подземных вод в Эстонии — 375 тыс. куб. м в сутки — составляет небольшую часть из прогнозных эксплуатационных запасов подземных вод, оцененных разными авторами в разное время в пределах 1,1—2,3 куб. км в год. В табл. 1 и 2 приведены данные потребности в воде по административным районам, а также прогнозные ресурсы подземных вод по этим же районам. В настоящее время водопотребление не уменьшает ощутимо ресурсы подземных вод.

Наибольшую опасность истощения запасов подземных вод, по мнению авторов, представляет собой осушительная (сельскохозяйственная) мелиорация. Обычная в условиях Эстонии мелиорация со вскрытием напорных вод в карбонатных породах приводит к сработке больших запасов подземной воды питьевого качества и в отдельных случаях ускоряет загрязнение подземных вод.

На качество подземных вод оказывают влияние также промышленные и коммунальные стоки, корма (силос), удобрения, ядохимикаты, аварийные сбросы жидкого топлива. При горении породных отвалов сланцедобывающих предприятий и дикингеновых сланцев из вскрыши фосфоритов происходит перегонка, а это приводит к загрязнению атмосферы, почвы, поверхностных и подземных вод.

Помимо приведенных выше отдельных моментов общее состояние подземных вод Эстонии как в количественном, так и в качественном отношении можно считать удовлетворительным. Если по мере развития производства будут развиваться и меры по защите вод, то потребность населения республики в хозяйственно-питьевой воде будет удовлетворяться и впредь за счет подземных вод.

THE CONDITION, EXPLOITATION AND PROTECTION OF ESTONIAN GROUND WATER RESERVES

P. Vingisaar, V. Karise, H. Kink, A. Maastik,
L. Savitskaya, L. Savitsky, A. Viigand

Summary

Owing to the peculiarities of its geological structure, the bedrock in Estonia is covered with a very thin surface layer, which favours the influx of rain and surface water into ground water horizons, but at the same time also makes it easy for

polluting substances to penetrate there. The yearly drainage of ground water from the territory of the Estonian S. S. R. has been estimated at 4.5—4.75 cubic km, of which 1.1—2.3 cubic km could be utilized by the population. The present ground water consumption of 375.000 cubic metres a day constitutes but a small part of the prognosticated amount. Consumption of ground water in the different districts of the Estonian S. S. R. is shown in Tables 1 and 2. The ground water is drawn from boreholes numbering about 17 thousand, half of which have a depth of under 20 metres.

Special attention should be paid to the drainage of ground water that is carried out without any need for water supplies, such as drainage of mines and quarries, and also for purposes of land amelioration. The latter is the chief factor reducing our ground water reserves. In some cases intensive land drainage has also promoted the pollution of ground water.

Besides the influence of human activities, the quality of ground water is also determined by the degree to which it is naturally protected against possible pollution. This protection is insufficient in Central and North Estonia and on the islands, where thin Quaternary deposits cover karsted limestones which are full of joints (Fig. 3). As it is in North Estonia that the greatest part of the industrial enterprises of the Republic are concentrated, the water problem has become acute there. On the whole, however, the condition of Estonian ground waters is still satisfactory, and if water protection measures are taken together with the growth of industrial production, it is to be hoped that the population of our republic will have sufficient ground water reserves to meet its needs also in distant future.

TALLINNA PÕHJAVEEGA VARUSTAMISE VÕIMALUSTEST

V. Belkin, L. Savitski

Tallinna linna veega varustamiseks kasutatakse pinna- ja põhjavett. Linna pideva arenguga kaasneb veetarbimise suurenemine, mis on tinginud vajaduse otsida uusi põhjaveeallikaid, ehitada uusi hüdrotehnilisi rajatisi pinnavee kogumiseks, kohalejuhtimiseks ja puhastamiseks.

Praegu ulatub põhjavee tarbimine Tallinnas 80 000 m³-ni ööpäevas. Põhjavett saadakse linna piires süsteemitult paiknevatest puurkaevudest. Projekteerijate andmetel katab olemasolev põhjaveevaru linna perspektiivsest põhjaveevajadusest ainult poole. Uute põhjaveeallikate otsimisel tuleb uurida Tallinna ja selle ümbruskonna põhjaveekihte ja -komplekse:

— Männiku fluvioglatsiaalsete (kvaternaari) setete põhjaveekihti;

— siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi;

— ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekihti;

— kambriumi-vendi põhjaveekompleksi.

Põhjavett sisaldavad fluvioglatsiaalsed liivad paiknevad Tallinna lõunaserval Männiku piirkonnas umbes 50 km² suurusel maa-alal, kus on vanad liivakarjäärid. Selle põhjaveekihi looduslike ressursse on hinnatud ligikaudu 50 000 m³/ööp., sellest oleks tarbevaru ligikaudu 17 000 m³/ööp. Põhjaveekihi halb omadus on vee suur rauasisaldus, mis kohati ulatub 10 mg/l. 1975.—1976. aasta veevaesel perioodil pumbati vett Männiku karjäärist Ülemiste järve ligi 40 000 m³/ööp., mille tõttu veepind alanes kuni 5 m. Seega võib Männiku fluvioglatsiaalsete setete vett pidada linna üheks oluliseks veevarustusallikaks. Otstarbekas on tulvavee kogumine karjääris, et täiendada kunstlikult põhjaveevaru. Sel juhul suureneks veekihi tarbevaru kuni 40 000 m³-ni ööpäevas.

Siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi ja ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekihi tarbevaru on linna territooriumil piiratud, sest

siin on nende kihtide suidumise ala. Seepärast ei tule need kihid perspektiivsete põhjaveeallikadena arvesse, kuigi neid vähesel määral ($5200 \text{ m}^3/\text{ööp.}$) kasutatakse.

Tallinna peamiseks põhjaveeallikaks on kambriumi-vendi kompleks. Sellest pumbatakse välja ligikaudu $60\,000 \text{ m}^3$ vett ööpäevas. Seni ei ole veel lõplikult selge, kas vee võtmist sellest kompleksist võib linna piires suurendada, kuivõrd pole ühtset arvamust merevee sissetungimise ohu reaalsusest. Põhjaveekompleksi tarbevaru on hinnatud $73\,000 \text{ m}^3$ -le ööpäevas. Seega on Tallinna linna põhjavee tarbevaru tänaseks $90\,000 \text{ m}^3/\text{ööp.}$, mis kaugtiki ei rahulda linna veevajadust tulevikus.

Põhjavee kasutamist saab Tallinnas suurendada ainult veehaarete rajamisega väljaspool linna. Perspektiivsemad põhjaveeallikad on siluri-ordoviitsiumi ja kambriumi-vendi veekompleksid.

Siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi varu ärakasutamine on võimalik veehaarete ehitamisega Tallinnast lõuna pool, kus vett sisaldavateks kivimiteks on lõhelised ja karstunud lubjakivid ja dolomiidid. Nende kivimite veevaru on kõige suurem ülemistes kihtides. Veekompleks toitub sademetest, mis infiltreeruvad läbi kvaternaari setete kihi; kohati on need setted väga õhukesed või isegi puuduvad. Siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi kui perspektiivse veeallika puuduseks on tema kerge saastatavus. Kattev õhuke moreenikiht ei suuda neelata pinnasele sattuvaid reoaineid.

Analüüside andmetel on siluri-ordoviitsiumi kompleksi vee reostatus praegu veel lokaalse iseloomuga, s. t. ainult reostusallika ümbruses. Arvestades aga veekompleksi suurt osatähtsust nii Tallinna kui ka teiste Kesk- ja Põhja-Eesti linnade ja asulate joogiveega varustamisel, on vaja juba nüüd tarvitusele võtta rangemad abinõud olemasolevate reostusallikate likvideerimiseks ja uute reostusallikate tekkimise ennetamiseks.

Negatiivselt mõjustab seda põhjaveekompleksi ka laiaulatuslik maade kuivendus, millega seoses pahatihti avatakse põhjaveekiht ja juhitakse jõgedesse suurel hulgal põhjavett. Aluspõhja ulatuvate maaparanduskraavide mõju küünib mitme kilomeetrit (vt. H. Kingu artikkel käesolevas kogumikus). Siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi vett drenivad pinnaveekogud. Enamik meie jõgedest toitub madalvee ajal peamiselt põhjaveest. Et aluspõhja karbonaatsete kivimite veega küllastumine on hooajalise iseloomuga ja nende veemahutavus suhteliselt väike, siis veevaru hindamisel võetakse aluseks jõgede minimaalne 30-päevane äravool (95% tõenäosusega). Siluri-ordoviitsiumi veekompleksist toituvate ja Soome lahte suubuvate jõgede minimaalne äravool ulatub $379\,000 \text{ m}^3$ -ni ööpäevas. Suurimad põhjaveevarud on Jägala ($66\,000 \text{ m}^3/\text{ööp.}$), Pirita ($37\,000 \text{ m}^3/\text{ööp.}$), Keila ($33\,000 \text{ m}^3/\text{ööp.}$) ja Kärü ($33\,000 \text{ m}^3/\text{ööp.}$) jõe vesikonnas. Maksimaalse veehulga saamiseks tuleks põhjaveehaarded rajada nende jõgede orgudesse. Põhjaveevaru täiendamiseks on soovitatav rajada jõgedele tulvaeve kogumiseks veehoidlad.

Kambriumi-vendi veekompleksist toituva Tallinna põhjavee-
haarde arendamine on mõeldav Tallinnast lääne suunas, kus selle
kompleksi kivimite veeandvus suureneb tunduvalt. Analüütiliste
arvestuste ja modelleerimise andmetel annaks veehaarde rajamine
Padise—Nõva piirkonnas kvaliteetset põhjavett ligikaudu 80 000
m³/ööp., vähendamata teistele linnadele (Keila, Paldiski, Haap-
salu) antava põhjavee hulka nüüd ja tulevikus. Tallinna linna
tulevast veetarvet on võimalik täielikult rahuldada põhjaveealli-
katest. Kuna aga Pirita jõe — Ülemiste järve süsteemil põhinev
veevarustus on juba rajatud, siis on soovitatav põhjaveehaardeid
laiendada järk-järgult kõigist nimetatud allikatest.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ТАЛЛИНА ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

В. Белкин, Л. Савицкий

Резюме

Перспективное водопотребление города Таллина, учитывая
имеющиеся ресурсы поверхностных вод, предполагается покрыть
за счет источников подземных вод.

В баланс источников подземных вод помимо местных, распо-
ложенных в пределах города, предполагается включить водоза-
боры, удаленные от города на расстояние 50—60 км.

POSSIBILITIES OF FINDING GROUND WATER SUPPLIES FOR THE TOWN OF TALLINN

V. Belkin, L. Savitsky

Summary

The article deals with the present condition of the ground
water reserves of the town of Tallinn. It is recommended that the
future needs of the town for water consumption be met by making
use of both the local sources of ground water and those found
within a distance of 50—60 km from the boundaries of the town.

PÕHJAVEE RATSIONAALSEMALE KASUTAMISELE KIRDE-EESTI TÖÖSTUSRAJONIS

L. Savitski, V. Belkina, L. Savitskaja, V. Tassa

Kirde-Eesti põhiline tööstusharu on põlevkivi kaevandamine ja temast elektrienergia tootmine. Eesti põlevkivimaardlal töötavad neli karjääri ja seitse kaevandust, andes aastas kokku 28 miljonit tonni põlevkivi. Põlevkiviküttel töötavad suured Balti ja Eesti ning mõned väiksemad soojuselektrijaamad. Põlevkivikeemia ettevõtte on Kiviõli Põlevkivikeemia Tehas, V. I. Lenini nimeline Põlevkivitöötlemise Kombinaat ja selle baasil töötav Lämmastikväetiste Tehas Kohtla-Järvel. Tähtsal kohal Kirde-Eesti tööstuses on ehitusmaterjalide tootmine, milleks toorainena kasutatakse muu hulgas ka põlevkivituhka. Kundas asub tsemenditehas. Arenenud on metsa-, puidu- ja tekstiilitööstus. Soome lahe kaldal paiknevad kalatöötlemistehased. Rajoonis on hästi arenenud põllumajandus.

Kõik loetletud tööstusharud ja ettevõtte on ühtlasi ka suured veetarbijad. Veetarbimise suurenemisega on kaasnud põhjavee reostuse kasv, mis on tingitud tööstus- ja kommunaalheitveest, tuha- ja aherainepuistanguist. Aherainepuistangute põlemisel eraldub õlisid, vaike, fenoole jm., mis satuvad pinna- ja põhjavele. Soojuselektrijaamad heidavad õhku tahma ja gaase (väävliühendeid jt.), saastades õhku ja pinnast ning nende kaudu ka põhjavett.

Kohtla-Järve ja Kiviõli põlevkivitöötlemise ettevõtetest läheb iga päev Kohtla ja Erra jõkke fenoole ja õlisid. Et piirkonna jõgede sängid lõikuvad lõhelistesse ja karstunud aluspõhjakiivimitesse, kannab jõgede vesi reoaineid edasi põhjavette. Küllalt suur hulk fenoole ja õlisid kogunes põhjavette Suure Isamaasõja ajal, kui põlesid Käva kaevandus ja Kiviõli karjäär, aga ka hiljem õlimahutite avariide tagajärjel.

On täheldatud ka põhjavee keemilise koostise muutumist, mida on põhjustanud vee loodusliku režiimi rikkumine. Nimelt on raud- ja sulfaatioonide kõrgeenenud sisaldus vees tekkinud püriidi ja teiste sulfiidsete mineraalide oksüdeerumisel ning on seletatav aeratsioonitingimuste muutumisega veetaseme alandamisel kaevanduste piirkonnas. Kaevandustesse sattunud põhjavesi rikastub samuti kaltsium-, magneesium- ja sulfaatioonidega, mistõttu suureneb vee karedus.

Põhjavee reostus on levinud alal, mis ulatub põhjast lõunasse umbes 12 km ja läänest itta 30 km. Kirde-Eestis on vastuolud vee-
tarbimise suurenemise, veevarude vähenemise ja nende otstarbeka kasutamise vahel suuremad kui mujal Eestis.

Kirde-Eesti veevarustus põhineb peamiselt põhjaveel, üksnes Narva linn kasutab jõevett. Ainus suur pinnasevee allikas, mis on seotud kvaternaari setetega (liivad), on Vasavere mattunud org. Selle baasil on kinnitatud tarbevarud 25 000 m³/ööp. Üks veehaarde ehitamise tingimusi oli veehoidlate rajamine pinnasevee varu täiendamiseks. Praegusajal on Vasavere veehaarde tootlikkus 5000 m³/ööp., mille mõjul on lähemate järvede veetase alane-
nud 2—3 m. Veehoidlad on senini ehitamata. Peale töötava veehaarde mõjutavad ümbruskonna pinna- ja pinnasevee taset Ahtme kaevandus, Viivikonna ja Sirgala karjäär ning Oru briketitööstus. Ahtme kaevandusest pumbatakse välja ja juhitakse ära pinnasevett ligi 1000 m³/ööp., Sirgala ja Viivikonna karjäärist nende esimesel tööaastal 1400 m³/ööp. Ümbritsevate ehitiste koosmõjul on Vasavere ürgoru veevaru vähenenud ligi 50%. Veevarude kaitseks ja täienduseks oleks ainuõige rajada kunstlik toitumine, kasutades selleks kaevandustest väljapumbatavat vett.

Põllumajanduse ja kohaliku veevarustuse otstarbeks kasutatakse kahe ülemise veekihi — ordoviitsiumi ja ordoviitsiumi-kambriumi vett.

Ordoviitsiumi põhjaveekompleks on levinud lõuna pool klinti. Veerikkam on ta rajooni põhja- ja lääneosas, kus kvaternaari setete kattekiht on väga õhuke ja vett sisaldavad kivimid — lubjakivid ning dolomiidid — on tugevasti karstunud. Kuid neid alasid drenivad kaevandused ja karjäärid. Peale selle on veekiht kergesti reostatav, sest enamasti puudub vettpidav kattekiht. Ordoviitsiumi veekihil kui väikeste tarbijate veeallikal on praktiline tähtsus vaid rajooni vähe asustatud lõunaosas.

Ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekiht on levinud kogu Kirde-Eestis, välja arvatud klindialune madalik. Veekiht on suhteliselt väikese, kuid püsiva veeandvusega — puurkaevude tootlikkus ei ületa 10 m³ tunnis. Rajooni põhjaosas on veekiht seotud ordoviitsiumi veekompleksiga ja on samuti kaevanduste mõjul osaliselt drenitud ja reostunud. Kiviõlis, Kohtla-Järvel ja Narvas kasutatakse ordoviitsiumi-kambriumi veekihti tehnilise vee saamiseks. Rajooni lõunaosas on see veekiht majandite veevarustuse peamine allikas.

heitvee kasutamise variante. Selgus, et kaks viimast on ökonoomsemad. Mõningatel kaalutlustel peetakse siiski parimaks Peipsi järve vee kasutamise varianti. Loodusvarade kompleksse ja ratsionaalse kasutamise põhimõttest lähtudes on rajooni tehnilise veega varustamiseks otstarbekas kasutusele võtta kaevandustest ärajuhitav vesi.

Kaevandusvee aastane kogus ulatub 110—120 milj. m³-ni. Selle kasutamist raskendab mõnevõrra vooluhulkade ebaühtlus aasta lõikes ja suhteliselt suur karedus (9—18 mg-ekv/l). Paljuaastaste režiimivaatlustega on kogunenud küllaldaselt andmeid kaevandusvee vooluhulkade dünaamikast, mis on vajalikud projekteerijatele. Aastasest vooluhulgast langeb talvele (jaanuar—märts) 21 %, kevadele (aprill—mai) 28 %, suvele (juuni—september) 27 % ja sügisele (oktoober—detsember) 24 %. Mida sügavam on kaevandus, seda väiksem on vooluhulkade hooajaline muutlikkus. Maksimaalse vooluhulga suhe minimaalsesse on rajooni põhjaosas 19—21 piires (Kukruse ja Käva-2 kaevandus ning kaevandus nr. 2), lõunaosas aga 2—3 (kaevandused «Viru» ja «Estonia»). Kaevandusvee kasutamise planeerimisel on otstarbekas aluseks võtta suvised minimaalsed vooluhulgad, mis kõiguvad 7,4—8,1 milj. m³ piires ehk 250 000—270 000 m³/ööp. Võttes need arvud aluseks, saaksime aastase kasuliku veehulga 97 milj. m³, mille kasutamise protsent ulatuks 81-ni, käesoleval ajal on see aga ainult 15. Kaevandusvee kasutamist saab suurendada ka veehoidlate rajamisega mahajäetud kaevandustesse ja karjääridesse, aga ka Vasavere veehaarde depressioonilehtrisse.

Mahajäetud kaevanduste (Kukruse, Käva-2, kaevandus nr. 2) kasulik maht on 5,5 milj. m³, Vasavere ürgoru veevaru täiendamiseks kuluks 20 000—25 000 m³/ööp., mida saaks kõige soodsamalt «Viru» kaevanduse vee juhtimisel Martiska ja Kuradijärve ning liivakarjääri. Et aga nende järvede kasutamine selleks otstarbeks ei ole soovitatav (Mäemets, 1976), tuleb rajada infiltratsioonibasseinid. Vasavere veehaarde tootlikkust on võimalik suurendada varude tasemeni (25 000 m³/ööp.), sellega paraneks ka ümbruskonna järvede seisund.

Kaevandusvee segunemisel Vasavere ürgoru ülimageda (mineralisatsioon 0,09—0,14 mg/l) pinnaseveega paraneks viimase kvaliteet. Segunenud vee mineralisatsioon suureneks kuni 0,3—0,4 g/l ja karedus kuni 5 mg-ekv/l. On teada, et kaltsiumioonid pidurdavad toksiliste ainete mõju organismile ja raskete metallide (seatina, tsiingi ja kroomi) sisaldus vees on pöördvõrdeline kaltsiumisisaldusega (Ярославский, Николадзе, 1976).

Kaevandusvett kasutatakse edukalt Kiviõli Põlevkivikeemia Tehases.

Olemasolevatel andmetel saab kaevandusvett suure eduga kasutada põllumajanduses karjamaade ja aiakultuuride niisutamiseks. Eriti soovitatav on see vanade kaevanduste maa-alal, kus madalate puurkaevude abil võib saada niisutamiseks vajalikke veehulki.

Kaevandatava ala laienemisega lõuna suunas halveneb sealse elanikkonna veega varustamine. Siin on probleem, kas jätta kaevandustega mitteseotud nabala-rakvere veekiht drenimata ja kasutada seda elanike veevarustuse allikana. Selles küsimuses ei ole spetsialistid veel üksmeelsed. Ühed pooldavad nabala-rakvere veekihi täielikku drenimist, põhjendades seda sellega, et kaevetöönte lagede allavajumine tingib kattekihi lisadeformatsiooni, mille tagajärjel võib järsult suureneda veevool kaevandustesse. Teine arvamus, mida peavad õigeaks ka käesoleva artikli autorid, eeldab nabala-rakvere veekihi säilimist ka pärast kattekihi vajumist. Selle poolt kõneleb fakt, et 26 spetsiaalselt rajatud dreanaažipuurauguga ei saadud kuivendada seda veekihti «Estonia» kaevanduse ammendatud alade kohal. Kui otsustatakse nabala-rakvere veekiht täielikult kuivendada, siis tuleb ka kohalike elanike veevarustus üle viia sügavamatele puurkaevudele, mis avavad põlevkivi kaevandatavatest kihtidest sügavamal lasuva lasnamäekunda ja ordoviitsiumi-kambriumi veekihi. Neid kihte on soovitatav kasutada ainult tsentraliseeritud veevarustuse otstarbeks.

Kauaaegsed põhjavee režiimi vaatlused ja spetsiaalsed hüdrogeoloogilised uuringud on näidanud, et joogivee kvaliteediga põhjaveevaru on Kirde-Eesti tööstusrajoonis piiratud ja seda on otstarbekas kasutada kõigepealt seal, kus puuduvad teised veevarustusallikad. Tööstusettevõtete varustamiseks tehnilise veega tuleb aga senisest suuremal hulgal kasutada kaevandusvett.

KIRJANDUS

Mäemets, A. Järvekaitse põhimõtted Eestis. — «Eesti Loodus», 1976, nr. 2, lk. 73—78.

Ярославский З. Я., Николадзе Г. И. Влияние качества питьевой воды на здоровье человека. — «Гидротехника и мелиорация», 1976, № 1, с. 96—97.

К РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ ЭСТОНСКОЙ ССР

Л. Савицкий, В. Белкина, Л. Савицкая, В. Тасса

Резюме

Северо-восток Эстонии является районом концентрации горной, химической, энергетической, лесной и текстильной промышленности. Здесь наиболее ярко проявляются противоречия между ростом водопотребления, уменьшением запасов подземных вод и их рациональным использованием. Хозяйственно-питьевое водоснабжение района осуществляется за счет использования подзем-

ных вод ломоносовского и гдовского водоносных горизонтов и вод четвертичных отложений погребенной долины Вазавере. Так как в водоснабжении городов Силламяэ и Нарва-Йыэсуу создается тяжелое положение, то рекомендуется перевести Нарву на использование поверхностных вод.

Восполнение запасов Вазавереской погребенной долины предлагается проводить шахтными водами, что значительно улучшит качество питьевой воды за счет повышения ее жесткости и минерализации.

Наибольшее влияние промышленность оказывает на подземные воды ордовикского водоносного комплекса, подверженные загрязнению промышленными сбросами, золоотвалами и горячими терриконами.

Большое количество воды сбрасывается в гидрографическую сеть в процессе осушения горных выработок. Шахтную воду рекомендуется использовать в качестве технологической воды, объем которой покрывает перспективную потребность промышленности. Неравномерность в расходовании воды предлагается отрегулировать за счет емкостей отработанных шахт Кукрузе, Кява-2, № 2 и № 4.

RECOMMENDATIONS FOR A MORE RATIONAL EXPLOITATION OF THE GROUND WATER RESOURCES IN THE INDUSTRIAL REGION OF NORTH-EAST ESTONIA

L. Savitsky, V. Belkina, L. Savitskaya, V. Tassa

Summary

North-East Estonia with its highly developed mining, chemical, power-generating, forest and textile industries is a district where the conflict between the ever-increasing consumption of water, the constant decrease of its resources and their rational exploitation has most drastically come to a head. The region depends for its water supplies on the ground water in the Lomonossov and Gdov water-bearing beds and the surface water in the Quaternary deposits of the Vasavere buried valley. As this does not guarantee future ground water supplies for the town of Sillamäe and the settlement of Narva-Jõesuu, it is recommended that in future the town of Narva should draw its supplies from surface waters. The water reserves in the Vasavere buried valley could be replenished by the influx of mining waters, which would also improve the quality of drinking water by increasing its hardness and mineralization. The waters of the Ordovician complex are those that

are most strongly polluted by industrial and household waste and banks of ashes and spoil. In most cases mining water is discharged unused into the network of surface water. It is recommended that mining water should be exploited for hydrotechnical purposes to provide the necessary supplies for industrial needs. The uneven discharge of mining waters can be regulated by creating water reservoirs, for which purpose the exhausted mines «Käva-2», «Kukruse», and mines Nos. 2 and 4 would be suitable.

PÕHJAVEE TEHISVARU LOOMISE VÕIMALUSTEST EESTIS

E. Tšeban

Looduslike omaduste poolest on puhas põhjavesi kõige parem joogivesi, sest ta sisaldab inimorganismile vajalikke mineraal-sooli. Ka on põhjavesi paremini kaitstud välisreostuse eest. Põhjavee saamine on muutunud nüüdisajal paljudes kohtades raskeks, mis on tingitud veetarbimise suurenemisest ja kohalike veeallikate vähesusest. Juba möödunud sajandi keskel leiti, et põhjavee looduslikku varu saab suurendada pinnavee infiltreerimise teel, luues nii põhjavee tehisvaru. Seda meetodit kasutatakse laialdaselt paljudes riikides — Inglismaal, Hollandis, Ameerika Ühendriikides, Saksa DV-s, Saksa FV-s, Rootsis j.m. (Хордикайнен, 1974; Фаворин, 1967).

Kogemused on näidanud, et olenevalt veehaarde suurusest ja tootlikkusest, toitevee (pinnavee) eelnevast puhastusastmest ja muist tegureist on põhjavee tehisvaru loomine ja ekspluateerimine 2—7 korda odavam pinnavee kasutamisest joogiveena, sest puhastusseadme osa täidab siin loodus — pinnas — ise. Praktika on kinnitanud, et vee kogumisel põhjaveekihtidesse (kollektoritesse) on peale majandusliku eelise mõningaid teisigi eeliseid, nagu võimalus saada rohkem vett kohapeal ning vee paremad füüsikalised ja sanitaarsed omadused (tavaliselt vähenevad vee mineralisatsioon ja karedus).

Veevarustusallikana omandab põhjavesi järjest suurema tähtsuse, sest ta on kaitstud välissaastumise eest. Siit tulenebki põhjavee kasutamise eelis pinnavee ees ning vajadus suurendada põhjaveevaru tehisteel.

Ka Nõukogude Liidus on järjest suurenenud huvi põhjavee tehisvaru loomise vastu (Боголюбов, Григорьев, Алексеев, 1972; Хордикайнен, 1973, 1974). Lätis ja Leedus näiteks peetakse ainu-soovitavaks veevarustusallikaks põhjavett ja on praktiliselt

loobutud pinnavee kasutamisest. Pinnavett juhitakse mitmesuguste meetoditega maasse, kus ta isepuhastub; mõninga aja möödumisel aga pumbatakse välja juba puhta põhjaveena.

Eesti ala hüdrogeoloogilised tingimused võimaldavad joogi-olmeveevarustust rajada põhjaveele (Tšeban, 1972). Kuid põhjaveevaru levik on meil ebaühtlane. Kohati on tegemist veedefitsiidiga (Narva, Tallinn, Pärnu) või ei saa veekihtide varu ekspluateerimist oluliselt suurendada. Seetõttu on vaja luua ka mõnel pool meie vabariigis põhjavee tehisvaru (Tšeban, 1971 a, 1971 b, 1975).

Esitatavas on püütud valgustada põhjavee tehisvaru loomise võimalusi. Selle loomine aitaks kaasa tööstuse ja asulate paremale paigutamisele ja nende varustamisele veega.

Põhjavee tehisvaru loomise eeldused

Põhjavee tehisvaru loomise hüdrogeoloogiliseks eelduseks on sobivate looduslike veemahutite ning nende täitmiseks vajalike toiteallikate olemasolu. Looduslike maa-aluste veemahutite valiku kriteeriumiks on põhjaveekihi sügavus maapinnast, selle leviku ulatus, vettkandvate kivimite filtratsiooniomadused, veekihi dreniituse aste jm.

Põhjavee tehisvaru saab luua nii vabapinnalisse kui ka surve- lisse veekihti. Liiva- ja kruusakihi minimaalne paksus peab olema 10 m. Infiltratsiooniveehaare koosneb tavaliselt puurkaevude reast, mis paiknevad paralleelselt veekogu kaldaga 50—100 m kaugusel sellest. Teatavasti ei vasta lahtiste veekogude vee omadused tavaliselt sanitaar nõuetele (kolitiiter on harva üle 1). Pinnavee isepuhastumisel sorbeeruvad bakterid liivaterakestele. Peene- ja keskmiseteraliste liivade puhul on umbes 20—30 m kaugusel veekogust pinnasevesi bakteritest täiesti puhas. Uuringud on kinnitanud, et kõige intensiivsem on isepuhastumine kolibakteritest pinnases esimesel 5—10 meetril ja juba 50 m kaugusel veekogust on vesi täiesti puhas (Иодказис, Пауцките, 1968). Põhjavee kaitstus ole- neb pinnakatte litoloogilisest koostisest (liiv, kruus, saviliiv jne.) ja veetaseme sügavusest maapinnast, s. t. aeratsioonivöö paksu- sest. Üldiselt on kehtiv seaduspärasus, et mida peeneteralisem on pinnas ja mida suurem on aeratsioonivöö paksus, seda paremini on põhjavesi kaitstud igasuguse välisreostuse eest. On kindlaks teh- tud, et hästi aereeritav liivakiht paksusega 3—5 m puhastab bak- teritest täielikult isegi heitvee.

Vabapinnalisse veekihti võib tehisvaru luua vaid seal, kus on vett hästi läbilaskev aeratsioonivöö, mille paksuse alammäär on 4—5 m, ülemmäär 30—40 m. Eesti oludes, kus põhja- veetase on kõrge, saab põhjavee tehisvaru vabapinnalisse veekihti luua ainult selle samaaegse ekspluateerimise käigus. Veetaseme alanemisest pumpamisel tekib depressioonilehter — mahuti, mille

täitmine pinnaveega annab potentsiaalsed võimalused täiendava hulga kvaliteetse põhjavee saamiseks.

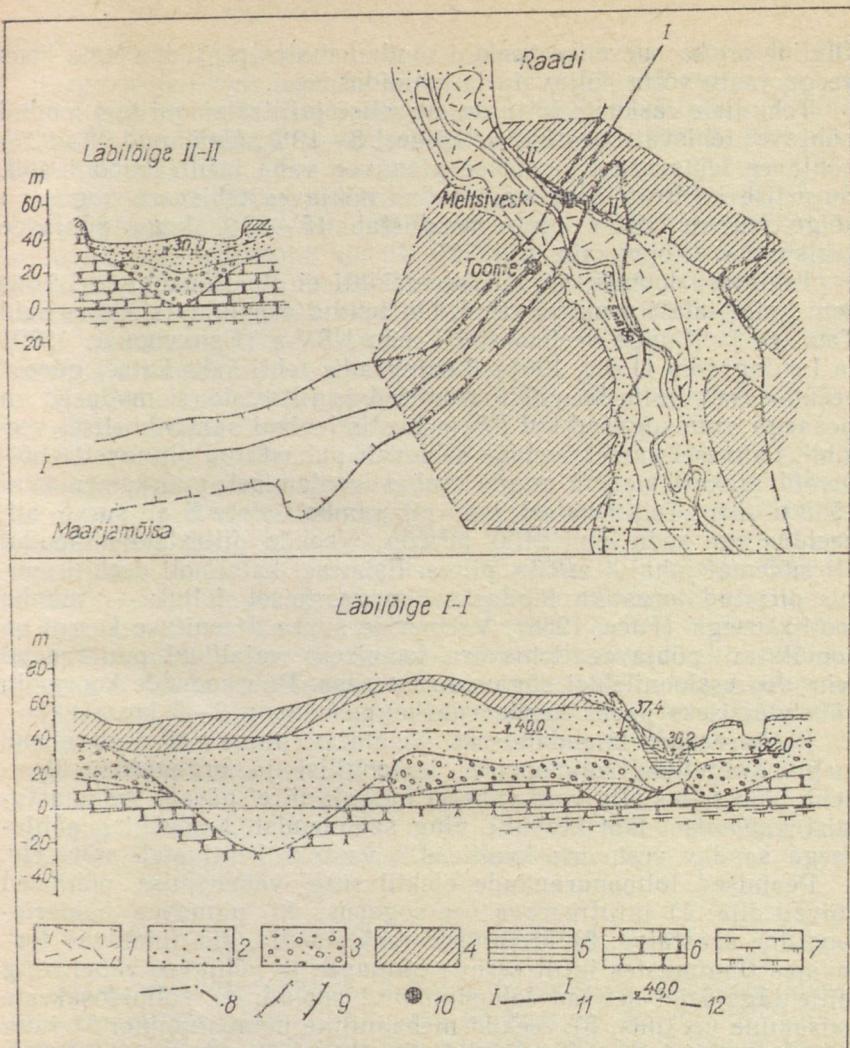
Tüüpiliste, juba aastakümneid tegutsevate ja peamiselt jõest toituvate veehaaretena võib nimetada Meltsiveski ja Toome infiltratsiooniveehaardeid Tartus.

Raadi—Maarjamõisa mattunud oru pikkus Tartu linna piires on 10 km, laius 0,5—1 km ja ta ulatub kuni 60 m sügavuselt keskdevoni liivakividesse. Orgu ümbritsevate aluspõhjaktivimite filtratsioonimoodul on 1—7 m/ööp. Mattunud org on täidetud liiva ja kruusa setetega, mis on pealt kaetud moreeniga (1. joon.). Terrigeensete setete paksus oru põhjaosas on 30—40 m ning suureneb edela suunas 68 meetrini. Veetaseme sügavus maapinnast Toome veehaardel on 25 m, Meltsiveski veehaardel 5—6 m. Tänu vettkandvate kivimite suurele veeläbilaskvusele (Meltsiveski veehaarde piirkonnas ulatub filtratsioonimoodul 66,5 ja Toomeorus 42,8 meetrini ööpäevas) ning hüdraulilisele ühendusele jõega kujutab vaadeldav mattunud ürgorg tootlikkuse poolest unikaalset põhjaveekollektorit mitte ainult Eestis, vaid kogu Baltikumis. Meltsiveski veehaarde alale on ehitatud viis 30—35 m sügavust puurkaevu, nende vahekaugus on 20—25 m. Kui kaevude veetaset alandada 4—5 m, saadakse 10 000—15 000 m³ vett ööpäevas. Et veehaare paikneb tihedalt asustatud alal, siis puudub siin nõutav sanitaarkaitsevöönd. Vaatamata sellele on vee omadused seni vastanud kehtiva joogiveestandardi nõuetele. Meltsiveski veehaarde ekspluateerimise kogemused tõendavad, et liivadel ja kruusadel on tugev vettpuhastav toime. Asub ju veehaare ainult paarisaja meetri kaugusel Emajões, mille vesi ei ole linna piires kuigi puhas.

Samasugust tüüpi veehaarded, mis asuvad mõnekümne meetri kaugusel jõest, on Gauja veehaare Riia lähedal, Vilniuse veehaarded Nerise jõe kaldal, Kaunase veehaarded Neemeni kaldal ja Klaipeda veehaare. Omaette rühma moodustavad veehaarded, mis on rajatud samuti jõe kaldale, kuid mis peale jõest imbuva vee saavad lisaks vett spetsiaalselt selleks ehitatud imbtiikidest (näit. Hosterwitzi veehaare Elbe jõel Dresdenis — Tšeban, 1971 a). Riia Baltersersi veehaare, mis on rajatud 1904. a., sarnaneb hüdrogeoloogiliste tingimuste poolest Männiku liivikuga, mille naabruses on Ülemiste järv.

Imbtiikide põhja kolmataaži vähendamiseks tuleb tagada vajalik imbtiikide täitmise režiim, mis arvestab vee sogasust ja hõljuvate osakeste mehaanilist koostist. Tiikide puhastamine buldooseriga taastab praktiliselt täielikult nende tootlikkuse. Kui lasta pinnaveel enne selgineda settebasseinides, kuni sogasus on 10—20 mg/l, piisab ühest puhastamisest keskmiselt kuue kuu jooksul (Минкин, Сычев, 1973; Дилюнас, Ягминас, 1973), mõningate autorite järgi kahe-kolme kuu jooksul (Бурчак, 1970).

Survelise infiltratsiooni meetod seisneb pinnavee sissepumpamises kaevu, puurkaevu, kaevandusse. Survelisse vee-



Joon. 1. Raadi—Maarjamõisa mattunud ürgoru hüdrogeoloogilised tingimused.
 1 — turvas; 2 — liiv; 3 — kruus veeristega; 4 — moreen; 5 — savi; 6 — liivakivi;
 7 — domeriit; 8 — linna administratiivpiir; 9 — mattunud ürgoru kontuur, katkendjoonega oletatav; 10 — olemasolev veehaare; 11 — hüdrogeoloogilise läbilõike joon; 12 — põhjaveetase ja selle absoluutne kõrgus, m.

kihti tehisvaru rajamise korral peetakse vee kihi optimaalseks lasumissügavuseks 100—300 m. Mida parem on põhjaveekihti moodustavate kivimite veeläbilaskvus, seda suurem on lisaks saadav põhjavee hulk. Kui kivimite veejuhtivus on alla 200 m²/ööp., siis ei peeta tehisvaru loomist surveelisse vee kihti otstarbekaks

Oluline on ka survealise veekihi mudamahutavus, s. t. võime koos veega vastu võtta hõljuvaid ja kolloidosakesi.

Tehniliste raskuste tõttu on survealise infiltratsiooni teel loodud põhjavee tehisvaru osatähtsus kõigest 8—10%, ülejäänud 90—92% põhjavee tehisvarust saadakse pinnavee vaba infiltratsiooni abil. Survelise infiltratsiooni teel saadud põhjavee tehisvaru kogus on kõige suurem USA-s ning moodustab 15—17% kogu põhjavee tehisvarust (Хордикайнен, 1973).

Tehisvaru loomist survealisse veekihti ei ole Nõukogude Liidus seni kuigi laialt praktiseeritud. On tehtud eksploatatsioonikatseid Taurage ja Plunge veehaaretel Leedu NSV-s (Крикщюнас, 1970) ja Leningradis (Гасс, 1968). Leningradis tehti kaks katset gdoovi veekihi osas, mille lasumistingimused ja filtratsioonimadused on peaaegu samasugused kui Põhja-Eestis levival samanimelisel veekihi. Esimesel katsel neeldus eelnevalt puhastatud pinnavett (hõljuvaid osakesi kuni 2 mg/l) vabal voolamisel puurkaevu kuni 1550 m³/ööp. Teisel katsel, kui vett pumbati sisse 8 at surve all, neeldus aga seda kuni 2160 m³/ööp. Veekihi filtratsioonimoodul oli mõlemal juhul 4 m/ööp. piires. Esimesel katsel oli deebiti suurus piiratud torustiku läbilaskevõimega, teisel juhul — pumba tootlikkusega (Гасс, 1968). Veehaarde suure drenituse korral on soovitatav põhjavee tehisvaru loomiseks vajalikud puurkaevud teha depressioonilehtri sügavamasse ossa. Puurkaevude koosmõju vähendamiseks peaks nende vahekaugus olema 2—3 km.

Põhjaveevaru täiendamiseks kasutatav pinnavesi peab olema mage. Kahjulikke komponente, bioloogilisi ja orgaanilisi ühendeid, võib selles olla vaid vähesel hulgal, nii et pärast isepuhastumist imbumisel läbi kivimite ning segunemist loodusliku põhjaveega saadav vesi oma kvaliteedilt vastaks kehtivatele nõuetele.

Peamised toitepuuraukude efektiivsuse vähenemise põhjused võivad olla: 1) infiltreeruva vee sogasus; 2) pinnavee bakterio- loogiline saastatus; 3) keemilised reaktsioonid, mis toimuvad teatavates tingimustes infiltreeruva pinnavee ja põhjavee vahel ning mille tagajärjel setivad lahustumatud soolad; 4) kolloidosakeste paisumine veekihi; 5) veekihi mehaaniline ummistumine; 6) raua settimine aeratsiooni tagajärjel; 7) õhu pääsemine veekihti jm. Põhjavee tehisvaru eduka loomise tagab eeskätt infiltreeruva vee eelpuhastus ja survealise infiltratsiooni puhul puurkaevu vee neeldumisvõime suurendamine. Ühe moodusena kasutatakse selleks tsüklilist infiltratsiooni, s. o. sissepumpamist paralleelselt lühiajalise väljapumpamisega (Крикщюнас, 1973).

Põhjavee tehisvaru loomine nõuab igas paikkonnas spetsiaal- seid uuringuid ja kohalike tingimuste arvestamist.

Eesti NSV veeressursside kompleksse kasutamise ja kaitse skeemi väljatöötamisel on selgunud, et kõige pingelisem on olukord veeallikate nappuse tõttu Põhja-Eestis. Pinnavett, kui tagada isegi vajalik vee puhtus jõgedes, ei jätku. Kui lähtuda prognoos- varudest, siis põhjaveest joogiveevajaduse katmiseks piisaks, eriti

kui võtta teda üksikute hajutatult paiknevate puurkaevude abil. Nii aga praktiliselt toimida ei saa, sest peamised veetarbijad on koondunud linnadesse ja suurematesse töölisasulatesse. Seetõttu on põhjavee kasutamise võimalused piiratud Tallinnas, põlevkivitööstuse piirkonna linnades ja Narvas.

Põhja-Eesti mõnes väikelinnas (näiteks Rakveres) tuleb kvaliteetse põhjavee puudumise tõttu ülemistes veekihtides näha ette selle eelnevat töötlemist või üle minna kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee kasutamisele. Viimane on mõneti vastuolus veeresursside ratsionaalse kasutamise ühe põhiprintsiibiga — eelkõige kasutusele võtta ülemised veekihiid, viies veehaarded välja kuni saja kilomeetri kaugusele tarbijast.

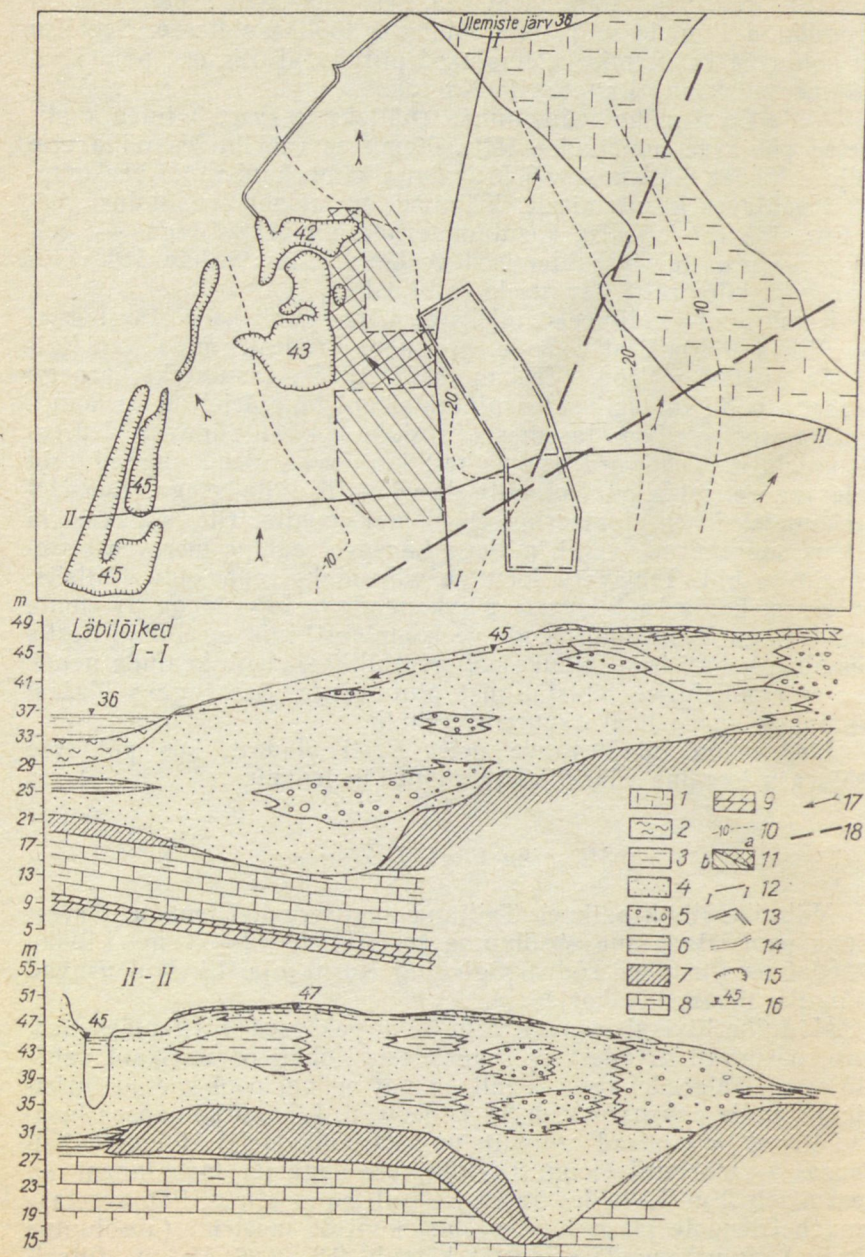
Kambriumi-vendi veekompleks on kõige enam kasutatav põhjaveeallikas Põhja-Eestis. Selle prognoosvarudest, mida on ligikaudu 310 000 m³/ööp. (Tšeban, 1972, 1975), kasutatakse praegu peaaegu pool. Intensiivse eksploatatsiooni tagajärjel on veekompleksi piesomeetrilisse tasemesse tekkinud kaks sügavat depressioonilehtrit. Tehisvaru seisukohalt kujutavad need maa-aluseid reservuaare, mida on teoreetiliselt võimalik täita veega. Edasisel veekompleksi eksplateerimisel depressioonilehtrite sügavus ja ulatus suurenevad veelgi, millega kaasneb reaalne merevee sissetungimise oht. Tehisvaru loomine vähendaks seda ohtu. Niisiis: selleks et hoida ka tulevaste põlvkondade tarbeks kõige paremate omadustega kambriumi-vendi veekompleksi, mis on Põhja-Eestis peamine, kohati isegi ainuke põhjaveeallikas, tasub kaaluda nende depressioonilehtrite tehistäitmist pinnaveega. See tagaks ühtlasi võimaluse saada lisaks suurem veehulk.

Järgnev on lühiülevaade neist Eesti aladest, kus põhjavee tehisvaru loomine väärib kõige enam tähelepanu.

Männiku liivik Tallinnas

Männiku liivik paikneb Tallinna kaguserval, Ülemiste järvest lõuna pool. Maapinna absoluutne kõrgus on 42—53 m. Liiviku lähedal on Pirita ja Tõdva jõgi ning Kurna oja. Liivikul asuvad Männiku tehase liivakarjäärid.

Männiku liivikul lasuvad kuni 30 m paksused liustikujõesed, mis koosnevad liivadest ja kruusadest. Kohati on savikaid vahekihte, eriti ala edelaosas. Pealt on nad mõnel pool kaetud turbakihi, mille paksus ulatub 3—4 meetrini. Liiviku põhjaosas lasuvad liivad ja kruusad ordoviitsiumi karbonaatsetel kivimitel, lõunaosas — moreenil (joon. 2). Põhjavee sügavus maapinnast on keskmiselt 2 m, kõikudes aasta jooksul 0,5 m piires. Põhjaveetase langeb Ülemiste järve suunas 50-st kuni 36 meetrini (absoluutne kõrgus). Puurkaevude erideebit kõigub 0,2—2,26 l/s · m, filtratsioonimoodul 2—41 m/ööp. Kõige veerikkam on liiviku keskosa. Uuringud on näidanud, et väljaspool asustatud alasid ja soid vas-



tab põhjavesi oma füüsikaliste omaduste ja keemilise koostise poolest kehtestatud normidele (välja arvatud rauasisaldus, mis ulatub kohati üle 10 mg/l). Männiku liiviku vee tarbevarusid, mis V. Belkini järgi ulatuvad 17 500 m³/ööp., ei ole seni ratsionaalselt kasutatud. Puhast põhjavett pumbatakse siit Ülemiste järve, kus ta seguneb pinnaveega ning läbi veepuhastusjaama jõuab linna veevarustusvõrku, nii nagu tavaline pinnavesi. Liiviku põhjavee kasutamisele on seni keeldutud tema kõrge rauasisalduse pärast. Viimase vähendamine aereerimise teel ei peaks valmistama erilisi raskusi, sest lahtised veekogud-basseinid (veega täidetud karjäärid) on ju olemas. Samasugust rauarikast vett kasutatakse Lõuna-Eestis, Lätis, Leedus (Klaipeda) jm.

Männiku liivikul paiknevate karjääride pindala on üle 100 ha, sügavus enamasti 5–6 m. Infiltratsiooniveehaarde rajamine nende vahetusse lähedusse tagaks kvaliteetse põhjavee saamise, mida võiks juhtida otse Tallinna veevõrku. Veehaarde eksploateerimisel tekkivat depressioonilehtrit saaks toita imbtiikide ja olemasolevate karjääride kaudu Ülemiste järvest. Nii avaneks võimalus tehisvaru loomisega siin põhjaveevaru mitmekordistada. Majandusliku efektiivsuse huvides ja veehaarde alla jääva ala vähendamiseks võiks soovitada Männiku liivikule rajada horisontaaldreenidega põhjaveehaare (Tšeban, 1968).

Depressioonilehter kambriumi-vendi veekompleksis Tallinnas

See veekompleks on levinud laialdaselt, puududes vaid mattunud ürgorgude — Mustamäe-Pelguranna, Harku, Keskoru ja Mähe oru — suudmete alal. Kambriumi-vendi terrigeensed setted veekompleksi ülemises osas koosnevad liivakividest savivahekihtidega, alumises osas jämedateralistest liivakividest aleuroliidi- ja savivahekihtidega. Kompleksi kogupaksus ulatub Tallinnas 101 meetrini, keskmiselt on 73 m. Ta lasub 40–140 m sügavusel maapinnast. Vettpidava lasumi moodustavad lontova savid paksusega kuni 73 m, mis ürgorgude kohal on erodeeritud. Mattunud orgudes on kambriumi-vendi veekompleksi vesi hüdrauliliselt seotud ülemiste veekihtide veega. Vesi on surveline; esialgne piesomeetriline tase ulatus kuni 4 m üle merepinna.

Kambriumi-vendi veekompleksi intensiivse eksploateerimise tagajärjel on selle piesomeetrilisse tasemesse tekkinud suur depressioonilehter kogupindalaga ligikaudu 5000 km² ja ligikaudse

Joon. 2. Männiku liivikuala hüdrogeoloogilised tingimused.

1 — turvas; 2 — järvemuda; 3 — aleuriit; 4 — liiv; 5 — kruus veeristega; 6 — savi; 7 — moreen; 8 — lubjakivi; 9 — mergel; 10 — liivsete samapaksusjooned; 11 — alad, mis on ette nähtud välja töötada liivakarjääridena: a — kuni 1975. aastani; b — järgmise 25 aasta jooksul; 12 — hüdrogeoloogilise läbilõike joon; 13 — veehaarde alla soovitatava ala piir; 14 — olemasolev Männiku karjääri—Ülemiste järve veejuhe; 15 — karjäär, veekogu (arv — veepinna absoluutne kõrgus, m); 16 — põhjaveetase ja selle absoluutne kõrgus; 17 — põhjavee liikumise peasuund; 18 — tektooniline rike.

mahuga 25 km³. Lehtri täitmiseks läheks vaja kuni 3,2 km³ vett (kui mahuti poorsus on 13%). Survetaseme sügavus maapinnast depressiooni keskosas (Lilleküla piirkond) on 32 m (27 m alla merepinna). Seega alanes veetase eksploateerimisel üle 30 m. L. Savitski järgi on kambriumi-vendi veekompleksi hüdrogeoloogilised parameetrid järgmised: kihi veejuhtivus — 995 m²/ööp., filtratsioonimoodul — 13,4 m/ööp., kihi piesojuhtivus — $7,8 \cdot 10^5$ m²/ööp., veeannitegur — 0,0012. On alust oletada, et soodsate hüdrogeoloogiliste tingimuste tõttu saaks Tallinnas kambriumi-vendi veekompleksi tehisvaru luua üsna edukalt.

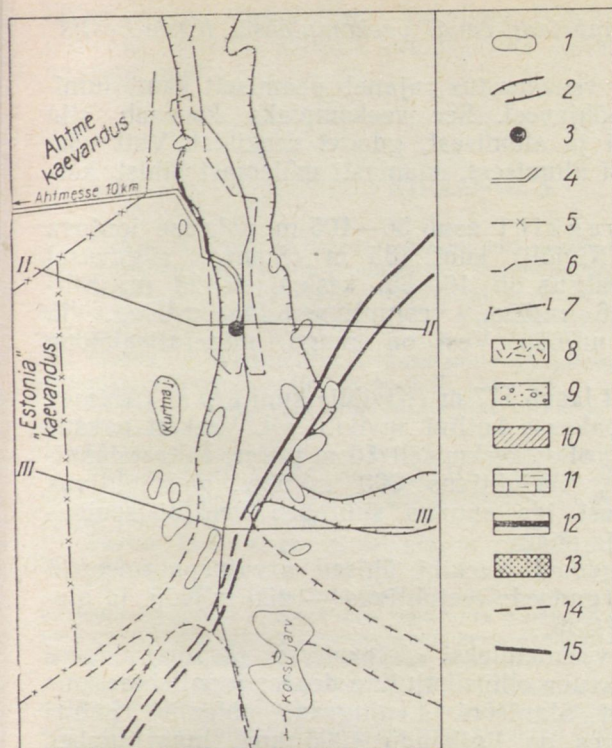
Vasavere mattunud ürgorg

Vasavere mattunud ürgorg asub Jõhvist ligikaudu 10 km ida pool ja kulgeb põhja—lõuna suunas 40 km ulatuses. Ürgoru maksimaalne laius on 1,85 km. Reljeefis on üksikud mõhnad, mille absoluutne kõrgus ulatub 66 meetrini. Mõhnade vahel on rohkesti järvi kogupindalaga ligikaudu 3,5 km². Piki mattunud ürgorgu kulgevad tektoonilised rikked. Vasavere ürgorg on täidetud liustikujäätetega — liivade ja kruusadega, mille paksus olenevalt maapinna ja aluspõhja reljeefist ulatub 15—77 meetrini. Liivad ja kruusad on kohati kaetud suhteliselt õhukese turbakihi (joon. 3). Mattunud oru pinnase veeläbilaskeomadused on väga muutlikud nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunas. Filtratsioonimoodul on 15—176 m/ööp., kihi veejuhtivus 715—8470 m²/ööp., kihi veetamejuhtivus 1280—2824 m²/ööp. ja veeannitegur 0,2. Puurkaevude erideebet ulatub 3—44,6 l/s · m. Pinnaseveetase on 2,5—3 m sügavusel (absoluutne kõrgus 44—45 m).

Vasavere ürgoru vahetus läheduses asuvate põlevkivikarjääride ja -kaevanduste põhjaveetaseme dünaamika avaldab otsest mõju Vasavere järvestiku veetasemele. Seda kinnitavad viimase aja andmed veetaseme alanemise kohta mõnes järves 2—3 m võrra. Selle Kirde-Eesti kaunima ökosüsteemi säilitamise üheks eelduseks on nii pinna- kui ka põhjavee režiimi taastamine, mis on võimalik ainult põhjaveetaseme tõstmise, s. t. tehisvaru loomise teel.

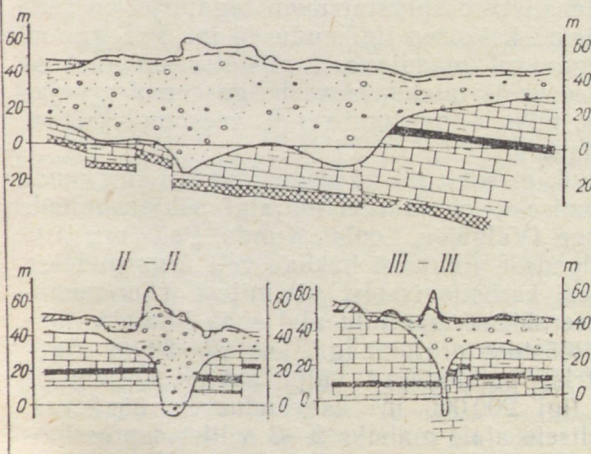
Kümmeaastat tagasi kinnitati Vasavere mattunud oru põhjavee tarbevaru 25 000 m³/ööp. Käesoleval ajal võetakse siit viie puurkaevuga vett ainult 5000 m³/ööp., mida kasutatakse peamiselt Jõhvi ja Ahtme veega varustamiseks.

Vasavere mattunud org on geoloogilis-hüdrogeoloogiliste tingimuste poolest haruldaselt soodne põhjavee tehisvaru loomiseks, sest pinnasevee eksploateerimisel tekib suur maa-alune vee mahuti. Rikkalikuks toiteallikaks on kaevandusvesi, mis sobib tehisvaru loomiseks. Kaevandusvee aasta keskmine hulk moodustab üle 350 000 m³/ööp.; vesi on põhiliselt fenoolivaba; sogasus kõigub 20—50 mg/l.



Läbilõiked

I - I



Joon. 3. Vasavere ürgoru hüdrogeoloogilised tingimused.

1 — järv; 2 — ürgoru kontuur, katkendjoone — oletatav; 3 — olemasolev veehaare; 4 — olemasolev Vasavere-Ahtme veejuhe; 5 — kaevandusvälja piir; 6 — Pannjärve-Rääkjärve liiva-kruusaleiukoha piir; 7 — hüdrogeoloogilise läbilõike joon; 8 — turvas; 9 — liiv, kruus, aleuriit, moreen; 11 — savikas lubjakivi; 12 — mergellubjakivi, diktiooneemakilt, glaukonitilivakivi; 13 — põlevkivi; 14 — vettapidavad kivimid — mergellubjakivi, diktiooneemakilt, glaukonitilivakivi; 15 — tektooniline rike, katkendjoone — oletatav.

Kirde-Eesti linnade veevarustus rajaneb peamiselt kambriumi-vendi veekompleksi põhjaveel. See veekompleks koosneb siin ülemisest, lomonossovi ja alumisest, gdoovi veekihist. Vett võetakse kas ülemisest või alumisest, enamasti mõlemast kihist korraga.

Lomonossovi veekiht asub 56—105 m paksuse lontova savikihi all 135 m (Kiviõli) kuni 185 m (Sompa) sügavusel maapinnast. Veekihi paksus on 16—35, keskmiselt 23 m. Filtratsioonimoodul on 6 m/ööp., veejuhtivus 143 m²/ööp. ja piesojuhtivus $5,6 \cdot 10^5$ m²/ööp. Vesi on mage, mineralisatsioon 0,47—0,59 g/l.

Gdoovi veekiht lasub 177 m (Kiviõli) kuni 240 m (Ahtme) sügavusel, 17—46 m paksuse kotlini savikihi all. Veekihi paksus ulatub 44—73 meetrini, olles keskmiselt 50 m piires. Filtratsioonimoodul on 6 m/ööp., veejuhtivus 300 m²/ööp., piesojuhtivus $5 \cdot 10^6$ m²/ööp. Rakverest ida suunas suureneb veekihi soolsus pidevalt — 0,6—1 g/l ja enam.

Lomonossovi ja gdoovi veekihi ühised arvutusparameetrid V. Belkina järgi on järgmised: veejuhtivus — 450 m²/ööp. ja piesojuhtivus — $2 \cdot 10^6$ m²/ööp.

Kambriumi-vendi veekompleksi intensiivse eksploatatsiooni tagajärjel on tekkinud suur ellipsikujuline depressioonilehter, mis ulatub Rakverest kuni Slantsõni Leningradi oblastis. Lehtri pindala Eesti NSV piires on ligikaudu 4000 km², maht umbes 20 km³. Selle täitmiseks kuluks ligi 2 km³ vett (kui mahuti poorusus on 10%).

Kambriumi-vendi veekompleksi looduslik põhjaveetase oli 4—6 m üle merepinna. Intensiivse eksploatatsiooni tagajärjel on veetase alanenud depressiooni keskosas ligikaudu 40 m. Praegu on veetase 80—100 m sügavusel maapinnast, mistõttu on raskusi vee ülespumpamisel. See peale täiendava veehulga saamise vajaduse on ka üks põhjus, miks kambriumi-vendi veekompleksi on vaja luua põhjavee tehisvaru.

Lõpuks olgu mainitud, et sobivaid hüdrokeoloogilisi tingimusi põhjavee tehisvaru loomiseks leidub veel mujalgi põhjarannikul, kus on mattunud ürgorge (Valgejõe, Loobu, Kunda, Pada org jt.). Toitevett võib saada jõgedest. Rohkesti hakkab vett ürgorgudesse tulema ka ümbritsevatest karbonaatsetest kivimitest (Хордицайнен, 1975). Viimaste veerohkust mainitud alal saab hinnata analoogia põhjal põlevkivitoöstuse piirkonnaga, kus 20—30 m sügavusest depressioonilehtrist pumbatakse välja aastas keskmiselt 350 000, minimaalselt ligi 200 000 m³ kaevandusvett ööpäevas. Tallinna ja Jõhvi vahelisele alale mahuks 2—3 sellist depressioonilehtrit. Järelikult moodustaks potentsiaalne põhjaveevaru (juurdevool ürgorgudesse) Põhja-Eestis ordoviitsiumi veekompleksi arvel lisaks üle 0,5 milj. m³/ööp. Tulevikus tasuks mõelda

ühtse veevarustusüsteemi loomisele Põhja-Eestis, olgu siis see veetrass ehitatud tunneli või üksikute omavahel ühendatud veehaarete näol.

KIRJANDUS

Tšeban, E. Põhjaveehaarde rajamise uus meetod. — Informatsiooniseeria, VII. Kommunaalmajandus ja elukondlik teenindamine, 1968, nr. 2, lk. 2—5.

Tšeban, E. Infiltratsiooni veehaaretest ja nende kasutamise eeldustest Eesti NSV-s. — Informatsiooniseeria, VII. Kommunaalmajandus ja elukondlik teenindamine, 1971 a, nr. 7, lk. 7—12.

Tšeban, E. Veeressursside kasutamise ja kaitse probleeme vabariigis. — «Tehnika ja Tootmine», 1971 b, nr. 3, lk. 131—135.

Tšeban, E. Põhjavesi, selle kasutamine ja kaitse. — «Eesti Loodus», 1972, nr. 5, lk. 266—269.

Tšeban, E. Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine. Tallinn, 1975. 166 lk.

Боголюбов Н. С., Григорьев В. М., Алексеев В. С. Опыт искусственного пополнения запасов подземных вод в Советском Союзе. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 9, с. 75—80.

Бурчак Т. В. Определение отдачи инфильтрационных бассейнов. Киев, 1970. 80 с.

Гасс П. М. Результаты экспериментальных исследований искусственного питания гдовского водоносного горизонта в районе водозабора. — В кн.: Гидрогеологические расчеты эксплуатационных запасов подземных вод и водопритоков в горные выработки. М., 1968, с. 56—71.

Дилонас И. П., Ягминас Э. А. Исследование эффективности действия инфильтрационных бассейнов для увеличения производительности берегового водозабора. — Материалы межреспубликанского семинара Прибалтийских геологических организаций по искусственному пополнению подземных вод. Вильнюс, 1973, с. 27—37.

Иодказис В. М., Рауцките Э. К. К вопросу самоочищения бактериологически загрязненной воды при фильтрации ее через пористую среду. — Материалы специальной гидрогеологии Южной Прибалтики. Вильнюс, 1968, с. 150—161.

Крицюнас В. К. Искусственное восполнение запасов подземных вод за счет поверхностных в условиях Литовской ССР. — Материалы зонального совещания по проблемам гидрогеологии и инженерной геологии. Минск, 1970, с. 31—39.

Крицюнас В. К. Гидрогеологические аспекты применения искусственного восполнения запасов подземных вод методами напорной инфильтрации в Литовской ССР. — Материалы межреспубликанского семинара Прибалтийских геологических организаций по искусственному пополнению подземных вод. Вильнюс, 1973, с. 37—49.

Минкин Е. Л., Сычев К. И. К прогнозу работы инфильтрационных бассейнов. — «Водные ресурсы», 1973, № 2, с. 125—130.

Фаворин Н. Н. Искусственное пополнение подземных вод. М., 1967. 178 с.
Хордикийнен М. А. Состояние проблемы по искусственному пополнению запасов подземных вод в СССР и пути ее разрешения. — Материалы межреспубликанского семинара Прибалтийских геологических организаций по искусственному пополнению подземных вод. Вильнюс, 1973, с. 4—19.

Хордикийнен М. А. Об искусственном восполнении запасов подземных вод. — «Водные ресурсы», 1974, № 2, с. 170—180.

Хордикийнен М. А. Особенности искусственного восполнения запасов подземных вод в трещиноватых и закарстованных коллекторах. — «Водные ресурсы», 1975, № 2, с. 122—133.

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЭСТОНИИ

Э. Чебан

Резюме

Создание искусственных запасов подземных вод путем перевода части поверхностного стока в подземный является наиболее современным приемом при разрешении вопросов существующего и перспективного водоснабжения. В мировой практике особенно широкое применение находит метод безнапорной инфильтрации, т. е. пополнение запасов грунтовых вод через бассейны, каналы. В Эстонии, особенно в северной ее части, уже в настоящее время ощущается дефицит в воде. Создание искусственных запасов подземных вод, в первую очередь на базе погребенных долин и флювиогляциальной дельты Мяннику (в районе г. Таллина), во многом помогло бы улучшить в этом районе положение с хозяйственно-питьевым водоснабжением. Более конкретно рассмотрены гидрогеологические условия создания искусственных запасов подземных вод в районе городов Таллин, Кохтла-Ярве и Тарту.

Обширные депрессионные воронки, созданные вследствие интенсивной эксплуатации кембровендского водоносного комплекса в районе городов Таллин и Кохтла-Ярве, рекомендуется пополнять поверхностными и шахтными водами методом напорной инфильтрации.

POSSIBILITIES FOR CREATING ARTIFICIAL GROUND WATER RESERVES IN THE ESTONIAN S. S. R.

E. Cheban

Summary

The creation of artificial ground water reserves by conducting part of the drained surface water into ground water beds is one of the most modern ways of solving the present and future problems of water supply. Especially widespread in world practice is the pressureless infiltration method, i. e., the replenishment of soil water reserves by free influx from canals and tanks. In the Estonian S. S. R., especially in the north of the republic, there is already a deficiency of drinking water. The creation of artificial ground water reserves, first and foremost on the basis of buried valleys and the fluvioglacial delta constituting the present sandur

area at Männiku near the town of Tallinn, would considerably increase the supplies of drinking and household water in the given district. With a view to the creation of artificial ground water reserves, the article gives a concrete survey of the hydrogeological conditions obtaining in the Männiku sandur area near Tallinn and the buried valleys near the towns of Kohtla-Järve and Tartu.

The author recommends that the extensive sinkholes resulting from the intensive exploitation of the Cambrian-Vendian water complex in the vicinity of the towns of Tallinn and Kohtla-Järve should be filled with surface and mining water by means of pressured infiltration.

KARSTI TÄHTSUSEST PÕHJAVEEVARU TÄIENEMISEL EESTIS

Ü. Heinsalu

Põhja-Eesti karstivaldkonnas leidub üle 150 karstilehtrite rühma või üksiklehtri, mis neelavad rohkesti pinnavett. Neist nn. kurisutest asub ligikaudu üks kolmandik jõe- ja ojasängides või nende kõrval (joon. 1); ülejäänud on loodusliku juurdevoolusängita, kuid enamasti suubub neisse kraav, mis saab vee kuivendatavalt alalt. Kohati on otse kurisusse juhitud ka drenid.

Kurisute veeneelamisvõime ulatub sageli vaid mõne liitrini sekundis. Vaatamata väikesele neelamisvõimele toidavad nad seal, kus pinnavee juurdevool kestab kevaditi mitu nädalat, oluliselt põhjavett. Näiteks Rakvere rajoonis Orutaguse külas neelab üks kurisu kevadsuvel mitme kuu jooksul puhast vett 2—3 l/s; see vesi on pärit lähedal asuvaist allikaist (joon. 2). Ainuüksi selle kurisu kaudu täieneb põhjaveevaru mitmekümne tuhande kuupmeetri võrra aastas. Põhja-Eesti kurisute neelamisvõime ulatub aga paljudes kohtades mitmekümne liitrini sekundis. Nende suuremad rühmad ja ka mõned väga suured kurisud võivad neelata isegi mitusada liitrit vett sekundis (tabel).

Tänapäeval, kui põhjavee kasutamine järjest suureneb, on muutunud selle varu täiendamine aktuaalseks. Seepärast tuleks eriti niisuguste alade kuivendamise projekteerimisel, kus põhjaveetase on tugevasti alanenud, kasutada kõiki võimalusi vee juhtimiseks kurisutesse ja teistesse vett neelavatesse karstivormidesse (näit. karstilõhed kraavides), et suurendada sel viisil põhjaveevaru. Seejuures on tingimata vaja selgitada, kas pinnavesi ei reosta põhjavett. Pinna- ja põhjavee segunemisel kujuneva vee koostise prognoosimiseks tuleb arvestada maa alla voolava pinnavee kvaliteeti ja hulka. Selleks on vaja ka teada neeldumisalal kujunenud karstivee maa-aluse äravoolu tingimusi, mis olenevad teatavasti koha geoloogilisest, geomorfoloogilisest ja hüdrogeoloogilisest ehitusest. Neist tingimustest sõltub neeldunud pinnavee mõju põhjaveele ning vastavalt sellele ka kurisu ja pinnavee tähtsus põhjaveevaru suurendamisel.

Andmeid kurisute neelamisvõime kohta

Karstiala või -väli	Neeldumisala iseloomustus	Mõõdetud vooluhulk, l/s
Kostivere	Suur kurisu Jõelähtme jõel	815
Kuivajõe	Üks väga suur kurisu ja kaks väikest kurisut Kuivajõel	837
Kalja	Rühm kurisuid Kalja oja lõpus	382
Uhaku	Rida kurisuid piki Erra jõe sängi	315*
Kadaka	Kurisu ajutise oja lõpus	227
Salajõe	Rühm kurisuid ojasängi lõpus	176
Lüsingi	Kurisu, millesse suubub kraav	161*
Kuksema	Rühm kurisuid, millede alale suubub kraav	350*
Töllinõmme	Kurisu ojasängi lõpus	127
Sääsküla	Kurisu ajutise oja lõpus	104*
Kolju	Kurisu, millesse suubub kraav	92*
Hageri	Rühm kurisuid, millede alale suubub kraav	67

* Ligilähedaselt maksimaalne neelamisvõime.

Olenevalt karstivee äravoolu tingimustest on põhjavee toitumine kurisute kaudu kas kohaliku või ulatusliku tähtsusega. Kohaliku tähtsusega toitumise korral voolab maa alla neeldunud vesi lühikese vahemaa järel (enamasti 0,2—1 km) allikatena jälle maa-pinnale. Kui allikate vooluhulk on peaaegu võrdne neeldunud oja või jõe vooluhulgaga, siis maa-alune jõgi ei toitnud põhjavett väljaspool oma vooluteed märgatavalt (joon. 3, I). Pinnavesi mõjutab siin karstiveevaru vaid maa-aluse jõe vooluteede alal, mille laius on maksimaalselt kuni mõnisada meetrit. Pinnavee halva kvaliteedi korral on karstivee reostumise ulatus väike. Niisugune lokaalne põhjaveevaru täienemine leiab aset nähtavasti Kata ja Kuivajõe karstiväljal, kus jõe vooluhulk ei muutu maa all voolamisel.

Kui maa-alune jõgi saab ümbruskonnast pinnasevett või surveist põhjavett juurde, on tema allikate vooluhulk suurem kurisutes neeldunud veehulgast (joon. 3, II). Seda esineb näiteks Aluoja ja Räpu oja voolamisel maa all ning arvatavasti ka Kolju kurisusse kaduva oja puhul. Siin ei ole põhjavee laiaulatuslikku reostumist karta. Maa-aluse jõe vesi seguneb kiiresti juurdetuleva veega ja tema allikate vee kvaliteet on tavaliselt hea.

Sellistes geoloogilistes ja hüdrogeoloogilistes tingimustes, kus osa maa-aluse jõe vett voolab karstilõhede kaudu sügavamatesse kihtidesse, väheneb jõe vooluhulk (joon. 3, III). Siin on allikate deebit väiksem kurisutes neeldunud vooluhulgast ja põhjavee toitumine on ulatusliku tähtsusega. Kui pinnavesi on reostunud, halveneb põhjavee kvaliteet alal, mille suurus oleneb hüdrooloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest. Näiteks Erra jõe reosta-



Joon. 1. Kurisu Väänas, kus Töllinõmme järvest tulev oja kaob maa alla.
Ü. Heinsalu foto.

misel Kiviõli kombinaadi heitveega kolmekümnendail aastail konstateeriti Uhaku karstiala piirkonnas põhjavee reostumist kuni 1 km laiuses vööndis mõlemal pool jõge.

Põhja-Eesti karstivaldkonnas karstivormide kaudu maa-alla voolanud veel ei ole sageli lähedal väljavooluala. Sel juhul täieneb ulatusliku tähtsusega põhjaveevaru, kusjuures pinnavesi seguneb täielikult karstiveega selle sessoonsete kõikumiste ja küllastumusvöös (joon. 3, IV).

Suured, ulatusliku tähtsusega põhjavee toitumise kohad on näiteks Kuksema ja Sääsküla karstialad Pandivere kõrgustikul, kus kevaditi kaovad väga veerikkad ojad maa alla (joon. 4). Karstialad asuvad lähimatest allikatest kõrgustiku nõlval 4—5 km eemal ja võtavad suurvee ajal vastu vett üle 90 000 m³/ööp.

Põhjaveevaru suurendamiseks on vaja hoolitseda pinnavee puhtuse eest ja juhtida seda kurisutesse eriti seal, kus põhjavee toitumine on ulatusliku tähtsusega. Kurisuid on vaja kaitsta prahi ja kividega täitmise eest, et säilitada nende neelamisvõimet.

Kui on kindlaks tehtud, et põhjavee toitumine on kohalik, võiks mõnel juhul lubada juhtida karstiõõnsustesse saastatud pinnaveet, sest see tuleb väikese vahemaa järel jälle maapinnale. Vähe-



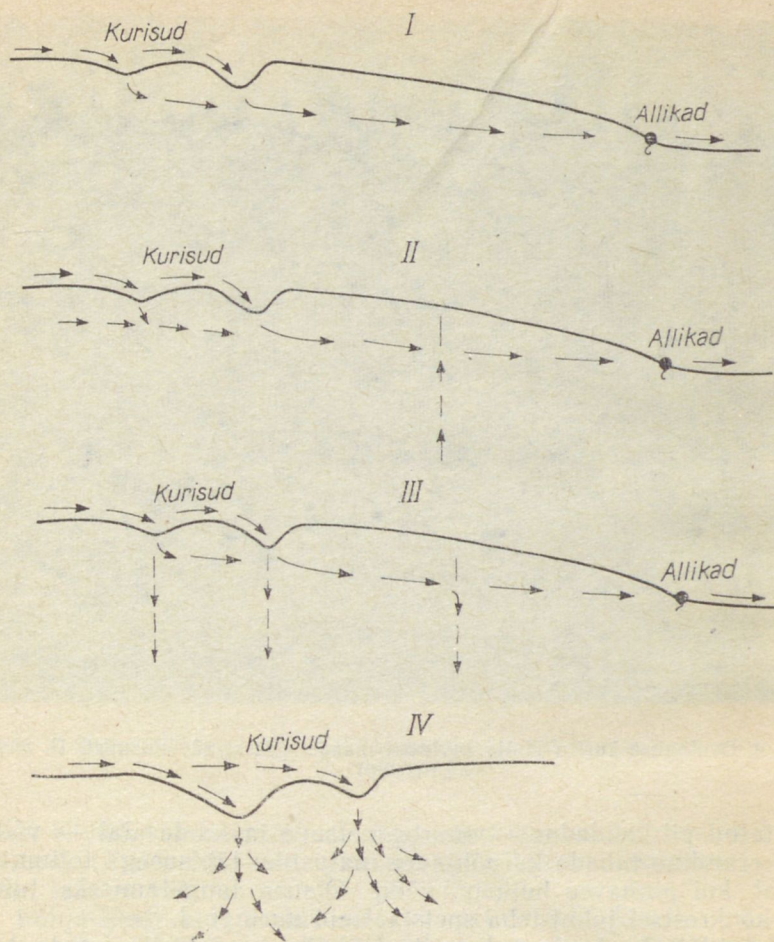
Joon. 2. Orutaguse kurisu Hulja sovhoosi maadel pärast süvendamist. U. Heinsalu foto.

asustatud piirkondades — suurte metsade ja soode alal — võiks seda erandina lubada ka põhjavee ulatusliku tähtsusega toitumise korral, kui pinnavee hulk on väike. Otsuse langetamiseks tuleb igal konkreetsel juhul teha spetsiaalseid uuringuid.

Karstilõhede, harvem langatuslohkude ja -lehtrite kaudu toimub sademevee kiire infiltratsioon ja influatsioon neil loopealsetel, mis on levinud tugevasti karstunud lademetes avamusaladel (Heinsalu, 1961). Loopealsete pindala on sageli vaid mõni kuni mõnikümmend hektarit; mitme ruutkilomeetri suurusi loopealseid on peamiselt rannikulähedastel aladel. Et karstunud loopealseid on palju, on nende osa põhjavee toitumises kahtlemata väga oluline.

Põhjavee toitumise ja kaitse seisukohalt võib ka karstunud loopealsetel olla kas kohalik või ulatuslik tähtsus. Kohaliku tähtsusega loopealsed on levinud kõrgustike ja orgude nõlvadel karstivee väljavooluala lähedal, aga samuti rannikul. Ulatusliku tähtsusega loopealsed asuvad kohalikust erosioonibaasist kaugel.

Kohaliku tähtsusega loopealsete reostamine ei ohusta põhjaveet pinnasevee kihist allpool; pinnasevee reostus hõlmab siin väikest ala. Küll aga võib reostus mõjuda siin äärmiselt negatiivselt



Joon. 3. Karstilehtrite kaudu toimuva põhjavee toitumise tüüpide skeeme Eestis.

allikatele ja allikaojadele, mis toituvad pinnaseveest. Seal, kus pinnasevett joogiks ei kasutata, ei ole kohaliku tähtsusega loopealsete kaitsmine reostuse eest nii aktuaalne kui ulatusliku tähtsusega loopealsete puhul.

Lähtudes põhjaveevaru puhta veega täiendamise vajadusest, tuleks tingimata kaitsta ulatusliku tähtsusega karstunud loopealseid pinnavee maapealse ärajuhtimise eest. Soovitav oleks nad metsastada, mille tulemusena põhjavee toitumine lumeveest suureneks.

Loopealsete kuivendamine nõlvadel on mitmel pool tugevasti suurendanud põhjavee äravoolu, mille tagajärjel on alanenud selle



Joon. 4. Kuksema karstiala kevadise suurvee ajal. *Ü. Heinsalu foto.*

tase (Kink, 1975). Ilmselt on loopealsete kuivendamine soovitatav vaid seal, kus sellest tulenev põhjaveetaseme alanemine ei hõlma suurt ala ja on amplituudilt väike.

Kui ulatusliku tähtsusega loopealsete lähedal leidub puhast pinna- või pinnasevett, mida on vaja ala kuivendamisel ära juhtida, tuleks põhjaveevaru suurendamiseks ehitada infiltratsiooniväljakud. Seejuures on soovitatav rajada kraavid nii, et need lõikuksid võimalikult sagedamini tektooniliste rikkevöönditega, eriti aga nende kõige enam karstunud kohtadega, kus tingimused vee neeldumiseks on kõige soodsamad. See eeldab loomulikult kraavitatava ala geoloogilise ehituse head tundmist ja sellekohaste detailsete kaartide olemasolu. Infiltratsiooniväljakuid tuleks ehitada eriti seal, kus puhast kuivendusevett ei saa ära juhtida eesvoolu puudumise tõttu. Infiltratsiooniväljakute mõjupiirkonnas tuleb piirata väetiste ja mürkkemikaalide kasutamist, et vältida põhjavee reostumist.

Põhjaveevaru täiendamiseks peaks sobima ka metsakuivendus- ja rabavesi, kui see ei ole saastatud väetiste ega mürkkemikaalidega. Kahjuks ei ole rabavee karsti juhtimise tähtsust alati õigesti hinnatud. Näiteks voolasid varem Savalduma raba kevadveed Savalduma küla piirkonda, moodustades siinsel loopealsel suure



Joon. 5. Savalduma karstijärv kevadel. Ü. Heinsalu foto.

järve (Kildema, Valler, 1959). Selle vesi kadus pikkamööda karstivormide kaudu, täiendades oluliselt Pandivere kõrgustiku loode-osa põhjaveevaru (joon. 5). Nüüd on Savalduma raba veed juhitud kraavidega mujale.

Karstilõhede kaudu täieneb põhjaveevaru paljude jõesängide, ojade ja kraavide neis lõikudes, mis ulatuvad aluspõhjani või selle sisse, juhul kui põhjaveetase on jõe, oja või kraavi põhjast sügavamal. Seejuures ulatub neelduva vee hulk kohati kuni mitmesaja liitrini sekundis. Väikesi veekadusid, mida sageli on raske täpselt määrata, tuleb ette arvatavasti tihti. Näiteks esialgseil andmeil on ainuüksi Pandivere kõrgustikul kraavide, ojade ja jõgede vett neelavaid lõike mitukümmend, neist suure neelamisvõimega 15. See näitab veel kord, kui oluline on vältida puhastamata heitvee juhtimist veekogudesse. Pinnavee kaitse on ühtlasi ka põhjavee kaitse.

Põhjavee kaitse huvides tuleks välja selgitada kõik vett neelavad voolusängide lõigud ja suuremad neeldumiskohad ning määrata, kas neil on kohalik või ulatuslik tähtsus. Seda tuleks esmajoonel teha halva kvaliteediga pinnavee voolusängides.

Lõhe-karstivee varu täieneb ka kvaternaari setetes leiduvast põhjaveest mattunud karstilehtrite ja -lõhede kohal, mida kohati

on üsna palju (Heinsalu, 1967). Eriti soodsad tingimused selleks on neil mattunud karstialadel, kus pinnakate koosneb ainult kruusadest ja liivadest (näiteks Aravetel, Selikülas jm.). Kui neid setteid lahutab karstunud aluspõhjast 2—3 m paksune moreen, ei takista see alati pinnasevee äravoolu karstiõõnsustesse. Mattunud karsti «elustumise» ja arengu tulemusena jääajajärgsel ajal on moreenikiht karstilehtrite kohal kohati vajunud, lõhenenud ning muutunud vett läbilaskvaks. Seal, kus mattunud karstivormid on suured ja moreen kivine, dreenevad karstiõõnsused pinnasevett isegi siis, kui moreeni paksus on suurem kui 2—3 m.

Mattunud karstivormide kui pinnasevett dreenevate «akende» esinemise võimalust tuleb arvestada põhjavett reostavate rajatiste asukoha planeerimisel.

KIRJANDUS

Heinsalu, U. Karstinähtuste levik ja omapära Eestis. — Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi uurimused VII. Antropogeeni geoloogia. Tallinn, 1961, lk. 159—166.

Heinsalu, U. Karst Eestis. — «Eesti Loodus», 1967, nr. 9, lk. 542—547.

Kildema, K., Valler, V. Karstinähtustest Savaldumas. — «Eesti Loodus», 1959, nr. 4, lk. 235—237.

Kink, H. Põhjavee voolust liigniisketele maadele. — Maaparandus. Teaduslik-tehnilisi töid. Tallinn, 1975, lk. 47—53.

ЗНАЧЕНИЕ КАРСТА В ПОПОЛНЕНИИ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЭСТОНИИ

Ю. Хейнсалу

Резюме

В Северной Эстонии известно более 150 карстовых воронок или их групп, поглощающих значительное количество воды. Водопоглощающая способность отдельных воронок часто составляет несколько литров в секунду; в некоторых местах группы воронок могут поглощать несколько сот литров воды в секунду.

В зависимости от условия стока и разгрузки карстовых вод их питание через карстовые воронки может иметь местное или общее значение. При местном питании поглощенная в карстовых воронках вода выходит через короткое расстояние в виде источников. В этом случае запасы карстовых вод увеличиваются только на участке подземной реки. Там, где часть поглощенной воды проникает в горизонты подземных вод, находящихся ниже грунтовых, питание имеет общее значение. В этом случае расход источников подземной реки меньше расхода поглощенных в карстовых воронках воды. Питание общего значения происходит

также в местах, где поглощенная вода не имеет близкого очага разгрузки.

Для увеличения запасов подземных вод в местах, где питание подземных вод имеет общее значение, надо спускать чистую поверхностную воду в карстовые воронки. Необходимо защищать последние от заполнения камнями и землей, чтобы сохранить их водопоглощающую способность. Там, где питание подземных вод через карстовые воронки имеет местное значение, в карстовые полости можно спускать низкокачественные поверхностные воды.

Питание подземных вод поверхностными водами происходит интенсивно на участках закарстованных альваров и носит также местный или общий характер. С целью пополнения запасов подземных вод следует защищать от загрязнения в первую очередь альвары, имеющие общее значение. Водопоглощение на альварах можно повысить с помощью инфильтрационных площадей.

Значительное пополнение запасов подземных вод происходит через трещины и поныры в руслах рек, ручьев и канав. В интересах защиты подземных вод следует выяснить места поглощения поверхностных вод и определить их значение: местное или общее.

THE IMPORTANCE OF KARST FORMATIONS IN REPLENISHING ESTONIAN GROUND WATER RESERVES

Ü. Heinsalu

Summary

In North Estonia there are over 150 groups of karst cavities or single sinkholes which engulf plenty of water. Often the intake of a sink may be only a few litres a second, but many of the larger groups of sinkholes can take in hundreds of litres a second.

Depending on the conditions of drainage of karst waters, the replenishment of ground water reserves through an influx of karst waters may be of either local or regional importance. In the first case, the water engulfed by sinkholes will again flow out on the surface through springs after a short distance. Here surface water increases the reserves of karst water only in the area under which the subterranean river runs. Where part of the water engulfed into the subterranean river course penetrates through joints farther down to deeper water-bearing beds, the discharge of springs is smaller than the amount of water taken in by the karst cavities, and the inflow is of regional importance. The same is the case where the water engulfed by sinkholes has no drainage field nearby.

In order to increase the ground water reserves, it is necessary to conduct clean surface water into sinkholes especially in those places where the inflow of water is of regional importance. At the same time the sinkholes should be protected against filling to preserve their power of intake. Where the influx is only of local importance, conducting low-quality surface water into sinkholes can be allowed.

The increase of ground water through inflow is intensive in karsted alvars, and here, too, it may be of either local or regional importance. To replenish the reserves of ground water it is necessary first and foremost to protect alvars of regional importance from draining surface waters. It would be advisable to create infiltration fields there to intensify the inflow of surface water to the ground water horizon.

Essential influx takes place through karst joints in many sections of river and brook beds and ditches. For the protection of ground water, it is necessary to find out those sections of water courses that engulf water as well as the places where inflow is considerable, and to determine their local or regional importance.

EESTI MINERAALVEED JA NENDE KASUTAMINE

P. Vingisaar

Üldandmeid

Mineraalvesi on selline looduslik (põhja- või pinna)vesi, mis oma toimelt inimorganismisse soodsalt erineb magedast veest kas mineraal- (harvem orgaaniliste) komponentide (ioonid, molekulid) ja gaaside suurema sisalduse või (ja) mingite füüsikaliste omaduste (kõrge temperatuur, radioaktiivsus) tõttu (Иванов, Невпаев, 1964). Mageda ja mineraalvee piiritlemisel ei ole üksmeelt, seda isegi lihtsaima näitaja — üldmineralisatsiooni — osas. Paljud uurijad peavad piiriks soolade sisaldust 1 g/l ning see seisukoht kajastub mõningates välismaistes mineraalveenormides. Kuid mitmete maade, sealhulgas ka Nõukogude Liidu ariidsetes piirkondades lubatakse anda joogiveevõrku vett, milles lahustunud aineid on kuni 2 g/l. See näitab, et vesi, mille mineralisatsioon on alla 2 g/l, ei avalda inimorganismile mainimisväärset spetsiifilist toimet. Kui mineralisatsioon ületab 2 g/l, siis sellisel veel on inimorganismile juba eriline mõju ka sel juhul, kui ta mingit spetsiifilist komponenti ei sisalda. Seepärast peetakse NSV Liidus mineraalveeks vett mineralisatsiooniga 2 ja enam grammi liitri kohta (ГОСТ 13273-73). Joogiks lubatakse kasutada vett, mille mineralisatsioon on kuni 12 g/l, sealjuures eristatakse ravivett (8—12 g/l) ja ravi-lauavett (2—8 g/l). Esimest kasutatakse ainult arsti ettekirjutuse kohaselt, teist võib pruukida peale selle ka laua-veena, kuid mitte regulaarselt.

Mineraalvees, eriti joogiks tarvitatavas (nagu ka magedas joogiveses), on reglementeeritud peale kasulike elementide ka organismile kahjulike elementide sisaldust. Piiratakse eeskätt raskete metallide, lämmastikühendite ja orgaaniliste ainete sisaldust. Ka peab mineraalvesi olema bakterioloogiliselt puhas.

Mineraalvete ravitoime ei ole üheselt määratav nende keemilise koostise ja füüsikaliste omaduste kaudu. Iga vee kasutamisala

on välja kujunenud pikaajalise tarvitamise tulemusena. Uue mineraalvee leiukoha avastamisel selgitatakse kõigepealt, millise tuntud veega uus mineraalvesi kõige enam sarnaneb, ning eeldatakse, et ta võib olla kasutatav võrreldavaga analoogilisteks eesmärkideks. Nimetatud põhjustel ei ole seni ühtset mineraalvete klassifikatsiooni raviomaduste alusel, küll aga rühmitatakse neid temperatuuri, radioaktiivsuse ja keemilise koostise põhjal. Seni avastatud Eesti mineraalveed pole radioaktiivsed, nad kuuluvad külmade vete klassi. Seetõttu edaspidi, mineraalvete kvaliteedi kirjeldamisel, on eristatud neid ainult keemilise koostise järgi.

Eesti mineraalveed avastati suhteliselt hiljuti. Nende esmasleid oli 1958. aastal Pärnu puuraugust 500 m sügavuselt. Töid tegid meie vabariigi Geoloogia Valitsuse töötajad Helga Vares ja Veniamin Tšeban. Hiljem on avastanud uusi leiukohti Geoloogia Valitsuse töötajad T. Jõgi, O. Keerup, K. Kulikov, R. Perens, V. Petersell, P. Rimmel, V. Tassa, H. Tuisk, P. Vingisaar ja A. Väärsi. Leiukohtadest väärtuslikumad — Häädemeeste, Ikla ja Värska — on detailselt uuritud ja eksploatatsiooniks ette valmistatud V. Tassa ja P. Vingisaare poolt. Otsimis-uurimistööd jätkuvad praegu ja tõenäoliselt ka tulevikus.

Mineraalvete levik

Käesolevaks ajaks on selgunud mineraalvett sisaldavad põhjaveekihid ja peamised alad, kust seda otsida. Seni on mineraalvett leitud pärnu, ordoviitsiumi-kambriumi, kambriumi-vendi ja kristalse aluskorra veekihihist.

Pärnu põhjaveekihist on mineraalvett leitud Kagu-Eesti lõunaosas, kus vettkandvad liivakivid lasuvad sügavamal kui 250 m vett mitteläbilaskvate narva lademe domeriitide, savide ja aleuroliitide all. Selles piirkonnas on ka lamavad siluri-ordoviitsiumi karbonaatsed kivimid veetud ja moodustavad 120—140 m paksuse isoleeriva lasundi pärnu ja ordoviitsiumi-kambriumi veekihi vahel.

Oletatakse (Vingisaar, Viigand, 1976; Вингисаар, 1974), et pärnu veekihi on Kagu-Eestis kaks mineraalveeala, eraldatud teineteisest Otepää ja Haanja kõrgustiku kohal oleva põhja—lõuna-suunalise mageveevööndiga. Neist idapoolses, mida võiks piiritleda Räpina—Lepassaare—Merimäe joonega, asub ainus seni tuntud leiukoht Värska (tabel 1). Läänepoolselt alalt, mille pii-riks oleks Tsirguliina—Tohvri—Tsooru joon ja mis lõunas jätkub Läti NSV-s, on lünklikke andmeid Laanemetsa puuraugust, mille põhjal aga kindlalt saab eeldada mineraalvee olemasolu. Mõlemal alal valdab kloriid-sulfaatne naatrium-kaltsiumiline vesi üld-mineralisatsiooniga 2—5 g/l piires (tabel 2), mis lõuna suunas suureneb. Senised andmed vee kemismist lubavad oletada, et Eesti NSV territooriumil on sellest veekihihist oodata segatüübilist

Üldandmeid Eesti mineraalvete kohta

Leiukoht, puurauk	Mineraalveekihi lasumissügavus puuraugu suud- mest, m	Voolu- hulk, l/s	Veetase maapin- nast, m	Vee üld- mine- rali- sati- sioon, g/l	Märkusi
	Kogu kihi või avatud interval- li paksus, m	Vee- pinna alane- mine, m	Abs. kõrgus, m		
1	2	3	4	5	6

I. Pärnu (kesk-alamdevoni) põhjaveekiht

Värskä-I, puurauk 1	$\frac{259-314}{55}$	$\frac{17,1}{10,7}$	$\frac{+12,8}{46}$	4,6	Proovitud kogu veekiht
Värskä-I, puurauk 2	$\frac{260-285}{25+}$	$\frac{3,0}{7,2}$	$\frac{+8,5}{47}$	4,0	Proovitud vee- kihi ülaosa (puurauk vil- limistehhi juures)
Laanemetsa	$\frac{276-346}{70}$	$\frac{2,5}{4,4}$	$\frac{?}{55}$	2,0	Andmed vee koostise kohta kaudsed

II. Ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekiht

Ruhnu	$\frac{707-784}{77}$	$\frac{13,5}{23,2}$	$\frac{+25}{31}$	17,1	Koos kamb- riumi-vendi veekomplek- siga
Ikla	$\frac{645-658}{13+}$	$\frac{8,4}{32,7}$	$\frac{+33,7}{40}$	14,0	
Häädemeeste	$\frac{538-597}{59}$	$\frac{6,0}{29,3}$	$\frac{+3,6}{20}$	5,0	Vee kõlblikkus raviveeks määramata
Võru	$\frac{488-537}{49}$	$\frac{2,2}{12,1}$	$\frac{24,7}{58}$	3,0	
Värskä-II, puurauk 1	$\frac{451-463}{12+}$	$\frac{4,8}{18,3}$	$\frac{+20}{53}$	2,2	
Petseri	$\frac{445-483}{38}$	$\frac{7,6}{14,1}$	$\frac{+17}{60}$	4,3	

III. Kambriumi-vendi veekompleks

Kõngisepa	$\frac{528-543}{15}$	$\frac{0,1}{14,1}$	$\frac{+14,5}{17}$	2,0	
Häädemeeste	$\frac{602-632}{30}$	$\frac{5,3}{27,1}$	$\frac{+28,3}{45}$	3,2	

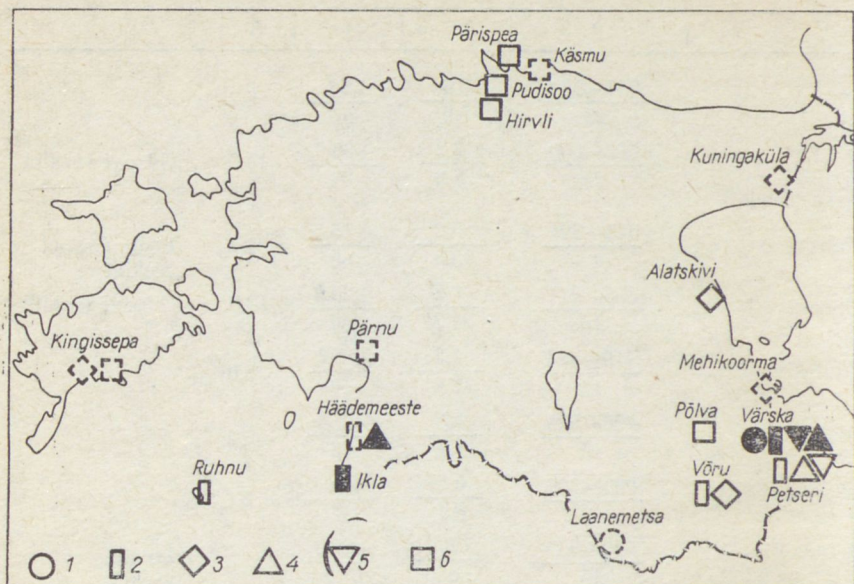
1	2	3	4	5	6
Võru	$\frac{555-584}{29}$	$\frac{0,6}{6,9}$	$\frac{25,1}{57}$	9,2	
Värska-III, puurauk 3	$\frac{572-600}{28}$	$\frac{2,2}{28,8}$	$\frac{+30,6}{68}$	15,7	Gdoovi veekiht
Petseri	$\frac{515-521}{6}$	$\frac{5,2}{13,5}$	$\frac{+15,5}{58}$	9,8	Lomonossovi veekiht
Petseri	$\frac{555-571}{16}$	$\frac{1,2}{21,3}$	$\frac{+23,0}{66}$	13,6	Gdoovi veekiht
Alatskivi	$\frac{410-428}{18}$	$\frac{1,3}{19,6}$	$\frac{+8,2}{?}$	5,0	
Mehikoorma	$\frac{495-514}{19}$	$\frac{0,5}{8,8}$	$\frac{+9,6}{42}$	2,4	
Kuningaküla	$\frac{287-306}{19}$	$\frac{6,1}{5,6}$	$\frac{19,0}{8}$	2,1	
Värska-IV, puurauk 4	$\frac{520-535}{15}$	$\frac{12,5}{18,6}$	$\frac{+20,1}{51,9}$	5,9	Lomonossovi veekiht

IV. Kristalse aluskorra põhjaveekompleks

Kingissepa	$\frac{543-572}{29}$	$\frac{0,14}{64,2}$	$\frac{+14,2}{16}$	3,7	
Pärnu	$\frac{491-565}{74}$	$\frac{0,17}{13,8}$	$\frac{+11,1}{13}$	21,7	
Põlva	$\frac{546-600}{54}$	$\frac{0,05}{48,5}$	$\frac{+3,5}{59}$	15,3	
Pudisoo	$\frac{148-204}{56}$	$\frac{0,08}{?}$	$\frac{10,0}{-6}$	10,7	
Hirvli	$\frac{210-264}{54}$	$\frac{0,1}{36,6}$	$\frac{55,8}{-7}$	11,6	
Pärispea (Viinistu)	$\frac{157-551}{394}$	$\frac{1,1}{28,5}$	$\frac{14,0}{-5}$	20,4	
Käsmu	$\frac{127-187}{60}$	?	?	4,6	

Märkus. Sõredas kirjas on detailselt uuritud leiukohad. +-märk 2. veerus pakuse taga tähendab, et veekiht on puuraugus avatud osaliselt. Kuna kristalse aluskorra puhul on eelõeldu kehtiv kõigi puuraukude kohta, on siin +-märk ära jäetud.

+-märk 4. veerus veetaseme ees tähendab, et veepind tõuseb üle maapinna, s. t. puurauk on iseoolava veega.



Eesti NSV mineraalveeleiukohad. (Tingmärgid näitavad, millisest veekihist on mineraalvesi leitud).

1 — pärnu; 2 — ordoviitsiumi-kambriumi; 3 — kambriumi-vendi, sealhulgas 4 — lomonosovi; 5 — gdoovi; 6 — kristalsest aluskorrast.

Katkendjoonega märk näitab eeldatavat või vähe uuritud leiukohta, pideva joonega märk leiukohta, mille põhilised näitajad on selgitatud, täidetud märk — detailsest uuritud leiukohta.

mineraalvett, mis sisaldab kloori ja sulfaati, samuti naatriumi ja kaltsiumi peaaegu võrdse hulgal. Selline veetüüp on Eestis seni unikaalne ja soovitatud on seda muu hulgas sapi-, sapiteede- ja maksahaiguste raviks. Allpool lasuvad põhjaveekihi sisaldavad vaid kloriidset vett, mis mõnikord on kõrge broomisaldusega.

Ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekihi mineraalveed on suhteliselt paremini tuntud ja nende leviku seaduspärasused on küllaltki selgeks saanud. Üldine lahustunud ainete sisaldus vees ületab 1 g piiri lasumissügavusel umbes 400 m, millest lõuna pool on eeldusi leida mineraalvett. Kuues praeguseks teadaolevas leiukohas ongi veekihi lasuv pind maapinnast 450—700 m sügavusel. Mineraalveevööndi keskosa on Pandivere kõrgustikult laskuv mageda vee vool tõrjunud meie vabariigi lõunapiiri taha. Seepärast tuleb rääkida kahest mineraalveealast. Edelapoolse ala põhjapiir, milleks ligikaudu on vee 2 g/l mineralisatsiooni isojoon, kulgeb läbi Rannametsa—Mõisaküla—Jäärja, hõlmates ka Kihnu, Ruhnu ja Abruka saare ning Sõrve poolsaare. Ala lõunasektoris lõuna pool Hädemeeste—Lanksaare joont, samuti Ruhnu saarel leidub broomimineraalvett soolade sisaldusega üle 5 g/l, mis Iklani suureneb 14 g/l, Ruhnus 17 g/l.

Kagu-Eestis võib ordoviitsiumi-kambriumi veekihist mineraalvett leida lõuna pool Hargla—Väimela—Värskas joont. Selle tõestuseks on suhteliselt lahja mineraalvee avastamine Võrus ja Värskas (vastavalt 3,2 ja 2,2 g/l). On küllalt tõenäoline, et lõuna pool Rõuget ja Vastseliinat võib leida broomimineraalvett soolade sisaldusega umbes 5 g/l. Sellele viitab ka Petseri puuraugus (paar kilomeetrit Petseri raudteejaamast Eesti NSV-s piiri lähedal) avastatud vesi, mille mineralisatsioon on 4,3 g/l.

Ordoviitsiumi-kambriumi põhjavesi on Lõuna-Eestis küllalt püsiva koostisega. Vesi on alati kloriidne, katioonidest valdab edelas naatrium, kagus on viimase kõrval tuntav kaltsiumi- ja magneesiumisisaldus.

Uuritud mineraalvetest on Värskas-II ja tema hiljuti avastatud Võru analoog vähese mineralisatsiooniga ja neid soovitatakse juua seedetrakti krooniliste haiguste korral. Väga hea vastuvõtu osaliseks on saanud Värskas-II leiukohta vesi lauaveena. Ka Petseri vett on soovitatud samaks otstarbeks, peale selle veel mõnede ainevahetushaiguste raviks. Võimalik, et selliseks osutub ka Häädemeeste ordoviitsiumi-kambriumi põhjavesi, mille raviomadusi seni ei ole uuritud.

Ikla broomimineraalvett saab kasutada vannidena mitme haiguse ravimiseks (tabel 4) analoogiliselt tuntud Staraja Russa, Jari (Tjumeni obl.) ja Tura (Sverdlovski obl.) mineraalvetega.

Ruhnu saarel, kus ordoviitsiumi-kambriumi veekihi lamamis puudub isoleeriv sinisavilasund, on kirjeldatav põhjaveekiht ühendatud lamava kambriumi-vendi veekompleksiga. Sellest ühisest kambriumi veekompleksist saadi Ikla veega sarnast, kuid enam mineraliseerunud ja veelgi broomirikamat vett.

Kambriumi-vendi veekompleksist on mineraalvett avastatud peamiselt Ida-Eestist, kuigi ka Eesti NSV edelaosast on kaks leiukohta teada. Idapoolsed ilmingud koonduvad Peipsi-Pihkva madaliku ümber, millest põhja pool on mineraalvee esinemist oletatud kuni Narva-Jõesuuni (Verte, 1961, 1963). Veekompleksi lasumiks on Mandri-Eestis mitmekümne meetri paksune sinisavilasund (lontova kihistu), lamamiks aga kristalse aluskorra kivimite ülemine, tugevalt porsunud vöönd. Keemiliselt tüübilt on kambriumi-vendi kompleksi mineraalvesi kloriidne; katioonidest valdab naatrium, lõuna poole suureneb kaltsiumi, vähemal määral magneesiumi osatähtsus. Enamasti on tegemist broomikate mineraalvetega, välja arvatud põhjapoolsed vähem mineraliseerunud veed.

Ida-Eestis on kambriumi-vendi veekompleks jaotatud kotlini kihistu nn. laminariitsavidega kaheks küllalt iseseisvaks veekihiks (lomonossovi ja gdoovi).

Lomonossovi põhjaveekihti on uuritud Värskas ja Petseri puuraugus. Viimases lasub see 515—521 m sügavusel. Veepind tõuseb 15,5 m kõrgusele üle puuraugu suudme, vooluhulk on kihi tühisest paksusest hoolimata märkimisväärne (tabel 1). Vesi on kloriidne

Eesti mineraalvete üldine keemiline koostis

Leiukoht	Sügavus, m	Katioonid, mg/l			Anioonid, mg/l			Vee keemiline tüüp: g/l; ekv-%
		K ⁺ +Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl [']	SO ₄ ^{''}	HCO ₃ [']	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

I. Pärnu põhjaveekiht

Värsk-I	259—314	710,2	59,1	733,8	1191,3	1697,0	183,0	$M_{4,6} \frac{SO_4 \ 49 \ Cl \ 47}{Ca \ 51 \ Na \ 42}$
---------	---------	-------	------	-------	--------	--------	-------	---

II. Ordoviitsiumi-kambriumi põhjaveekiht

Ruhnu	707—784	5157,0	306,9	931,0	10320,0	151,0	115,9	$M_{17,1} \frac{Cl \ 98}{Na \ 74 \ Ca \ 16 \ Mg \ 10}$
Ikla	645—658	4257,3	325,5	647,7	8388,9	148,1	158,6	$M_{14,0} \frac{Cl \ 97}{Na \ 75 \ Ca \ 13 \ Mg \ 11}$
Võru	488—537	995,3	58,6	152,8	1869,1	24,0	122,0	$M_{3,2} \frac{Cl \ 95}{Na \ 77 \ Ca \ 14}$
Värsk-II	451—463	661,1	36,5	124,2	1246,4	22,6	109,8	$M_{2,2} \frac{Cl \ 94}{Na \ 76 \ Ca \ 17}$
Petseri	445—483	1266,8	94,9	274,5	2508,9	57,2	97,6	$M_{4,3} \frac{Cl \ 96}{Na \ 74 \ Ca \ 18 \ Mg \ 10}$

III. Kambriumi-vendi veekompleks

Kingissepa	528—543	715,9	17,6	30,9	1070,8	16,0	219,7	$M_{2,0} \frac{Cl \ 88}{Na \ 91}$
Hääde-meeste	602—632	1048,3	42,1	106,1	1754,5	35,0	219,6	$M_{3,2} \frac{Cl \ 92}{Na \ 83 \ Ca \ 10}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Võru	555—584	2674,4	207,7	540,0	5554,8	18,0	134,2	$M_{9,2}$ $\frac{\text{Cl } 98}{\text{Na } 72 \text{ Ca } 17 \text{ Mg } 11}$
Alatskivi	410—428	1113,3	86,5	623,4	2983,7	21,0	109,8	$M_{5,0}$ $\frac{\text{Cl } 97}{\text{Na } 54 \text{ Ca } 37}$
Mehikoorma	495—514	753,8	39,4	104,0	1346,3	52,7	122,0	$M_{2,4}$ $\frac{\text{Cl } 92}{\text{Na } 78 \text{ Ca } 13}$
Värskas-III	572—600	4571,3	394,2	891,4	9457,9	227,1	146,4	$M_{15,7}$ $\frac{\text{Cl } 97}{\text{Na } 71 \text{ Ca } 16 \text{ Mg } 12}$
Petseri	515—521	2794,3	231,0	601,2	5719,2	374,9	85,4	$M_{9,8}$ $\frac{\text{Cl } 95}{\text{Na } 71 \text{ Ca } 18 \text{ Mg } 11}$
Petseri	555—571	4011,5	304,0	741,5	8155,1	189,7	122,0	$M_{13,6}$ $\frac{\text{Cl } 97}{\text{Na } 74 \text{ Ca } 16 \text{ Mg } 10}$
Värskas-IV	520—535	1744,5	110,8	328,7	3329,4	218,1	122,0	$M_{5,9}$ $\frac{\text{Cl } 93}{(\text{Na}+\text{K}) 75 \text{ Ca } 19}$

IV. Kristalse aluskorra põhjaveekompleks

Kingissepa	543—572	1009,3	68,8	417,1	2181,2	20,0	79,3	$M_{3,7}$ $\frac{\text{Cl } 97}{\text{Na } 69 \text{ Ca } 22}$
Pärnu	491—565	3896,3	333,4	3674,9	12412,0	16,0	?	$M_{21,7}$ $\frac{\text{Cl } 100}{\text{Na } 48 \text{ Ca } 44}$
Põlva	546—600	4257,7	359,0	1100,4	9413,1	110,7	42,7	$M_{15,3}$ $\frac{\text{Cl } 99}{\text{Na } 68 \text{ Ca } 21 \text{ Mg } 11}$
Pudisoo	148—204	1520,5	132,9	2091,4	6428,4	2,0	30,5	$M_{10,7}$ $\frac{\text{Cl } 100}{\text{Ca } 57 \text{ Na } 37}$
Hirvli	210—264	2102,0	238,7	1918,8	7313,0	24,7	33,6	$M_{11,6}$ $\frac{\text{Cl } 100}{\text{Ca } 46 \text{ Na } 44}$
Pärispea	157—551	3498,0	331,2	3665,5	12704,8	—	109,8	$M_{20,4}$ $\frac{\text{Cl } 99}{\text{Ca } 50 \text{ Na } 42}$

naatriumiline (tabel 2), üldmineralisatsioon 9,8 g/l, sisaldab 30 mg/l broomi, kõlbab joogiveena ainevahetus- ja seedetraktihaiguste raviks, vannidena aga närvisüsteemi- jt. haiguste raviks. Värskas saadi lomonossovi põhjaveekihist kloriidset naatriumilist vett mineralisatsiooniga 5,9 g/l (Вингисаар, Таска, 1976). Selle vee avastamine mitmekesistab veelgi tulevase Värska sanatooriumi looduslikke ravikomponente (Вингисаар, 1975).

Edela-Eestist on lomonossovi veekihist teada Häädemeeeste mineraalveeleiukoht. 602—632 m sügavuselt saadav vesi üldmineralisatsiooniga umbes 3 g/l on kloriidne naatriumiline (tabelid 2 ja 4) ja seda soovitatakse joogiks seedetraktihaiguste ravil. Seda villitakse pudelitesse ja turustatakse lauaveena «Häädemeeeste».

Gdoovi põhjaveekihti on eraldi proovitud lähestikku asuvaist Petseri ja Värska puuraukudest, vastavalt 555—571 m ja 572—600 m sügavuselt, ning leitud mineraalvett soolsusega 13,6 ja 15,7 g/l, broomisisaldusega 39 ja 42 mg/l. Mõlemad sobivad kasutamiseks vanniveena samade haiguste raviks mis Petseri puuraugus lomonossovi kihist saadav vesi (tabelid 3 ja 4).

Võrus ja Alatskivil saadi gdoovi veekihist eelkirjeldatutega sarnast, kuigi vähem mineraliseerunud (vastavalt 9,2 ja 5,0 g/l), broomikat vett (broomi mõlemas vees 26 mg/l). Keemiliselt tüübilt on need kloriidsed kaltsium-naatriumilised. Erinevalt enamikust Lõuna-Eesti mineraalveeleiukohtadest jääb Võrus veetase maa-koha suuremast absoluutsest kõrgusest tingituna puurkaevu suudmest küllalt sügavale (25 m). Mujal on enamasti tegemist tugeva iseveoluga (tabel 1).

Vähe mineraliseerunud vett (2 mg/l), mis sobib peamiselt lauaveena kasutamiseks, on leitud Kingissepas (528—543 m sügavusel) ja Kirde-Eestis Kuningakülas (287—306 m).

Kristalne aluskord sisaldab põhjavett tõenäoliselt ainult ülaosas, kus porsumisest tingituna on tard- ja moondekivimite tihedus vähenenud ning lõhed lahtised. Lasuvast vendi liivakivide põhjaveest on aluskorra lõhedes esinev vesi eraldatud nn. porsumiskooriku kõige enam muundunud osaga, kus kristalsed kivimid on suures osas savidega asendunud. Seal, kus selline savine koorik puudub, on aluskorra vesi lasuva põhjaveega sarnane.

Aluskorrakivimite veeandvus on harilikult väga vähene, puurkaevude deebit on tavaliselt alla 0,1 l/s veepinna mitmekümne-meetrisel alandamisel. Aluskorra vee hüdrodünaamilisi ja hüdrokeemilisi seaduspärasusi me veel ei tunne, seepärast ei ole teada ka mineraalvee levikut põhjustavad tegurid. Seletub see mitteteadmine andmestiku vähesusega. Viimasel ajal on suhteliselt detailsel aluskorra geoloogilisel uurimisel leitud mitmeid mineraalvee ilminguid Põhja-Eestist Tallinna ja Rakvere vahelt, mis nagu viitaksid seni arvatust suuremale mineraalvee levikule aluskorras. Nende ilmingute vähene uuritus ei võimalda veel neid mineraalveeleiukohtade nimistusse võtta.

Geoloogiliselt enam uuritud Põhja-Eestis on mineraalveerik- kaimaks osutunud piirkond Jägala ja Käsnu vahel. Siin on alus- korrast (selle minimaalse lasumissügavuse alal!) leitud väga erineva mineralisatsiooniga (4—20 g/l) kloriidset kaltsium-naat- riumilist broomirikast vett (Hirvli, Pudisoo, Pärisea jt. — vt. tabelid 2 ja 3).

Lõuna-Eestis, kus aluskorda ulatuvad üksikud hüdrokeoloogi- liselt katsetatud puuraugud, on mineraalvett avastatud Kingis- sepa, Pärnus ja Põlvas. Kingissepa vesi on vähese mineralisat- siooniga (3,7 g/l), kuid ei ole välistatud, et see on lasuva mage- dama (2 g/l — vt. eespool) veega segunemise tulemus. Analoogilise konstruksiooniga Pärnu puuraugus avastati algul vesi mine- ralisatsiooniga 4,2 g/l, hiljem aga tõestati, et vee tegelik minerali- satsioon aluskorras oli 21,7 g/l. Eespool märgitud veetüüp tekkis aluskorra soolase ja kambriumi-vendi mageda vee segunemisel puuraugu konstruksioonivigadest tingituna. Hilisemad katsed saada mineraalvett Pärnus on ebaõnnestunud tõenäoliselt alus- korra keerulise geoloogilise ehituse tõttu. Vesi avastati gneisside ja neid lõikava graniidi kontaktil; hilisemad puuraugud on sattu- nud gneissidesse, milles mineraalvett ei ole leitud.

Hiljuti avastati esmakordselt mineraalvesi Kagu-Eesti alus- korrast, nimelt Põlva puuraugus 546 m sügavusel. Vesi tõuseb üle puuraugu suudme, kuigi vooluhulk on väga vähene. Keemiliselt tüübilt on vesi kloriidne kaltsium-naatriumiline üldmineralisat- siooniga 15,3 g/l.

Mineraalvee otsimisel kristalsest aluskorrast on palju raskusi viimase keerulise geoloogilise ehituse ja sellega seotud lünkliku veesisalduse, suure lasumissügavuse ning puuraukude vähese deebiti tõttu. Sellele vaatamata on aluskord mineraalvee seisu- kohalt väga perspektiivne, sest temas sisalduvad veetüübid on muutlikumad kui settekivimite küllalt stabiilse koostisega mine- raalveed. Kindlasti annab aluskord tulevikus palju võimalusi ravi- vete valiku rikastamiseks. Erilist huvi peaks pakkuma perspektiiv saada väga kõrgelt hinnatavat radoonivett Eesti aluskorrast. Radoonivett on leitud Ukraina ja Valgevene aluskorra kergetel, neist viimane on nii kivimiliselt kui geoloogiliselt arenguloolt Eesti aluskorra sarnane. G. Bogomolovi ja O. Špakovi (Богомолов, Шпаков, 1974) andmeil on radoonivesi seotud kataklaseerunud ja müloniidistunud biotiitgraniitide ja graniidistunud biotiitgneissi- dega, kusjuures kivimite radioaktiivsus on tühine ega ületa fooni- list.

Mineraalvete kvalitatiivne iseloomustus

Keemilise koostise alusel võib Eesti mineraalveed jagada kahte gruppi: spetsiifiliste komponentidega ja ilma nendeta. Esimese grupi esindajaiks on broomi üle 25 mg/l sisaldavad veed — Ikla,

Petseri, Pärисpea, Ruhnu, Värсka-III jt., eeldatav on ka joodi- ja rauarikaste, võib-olla ka väävelvesinikku sisaldavate Kemerі mine-raalvee tüüpi vete avastamine, millele on viidanud juba A. Verte (1961, 1963). Eesti NSV-s ei ole erilisi geoloogilisi eeldusi leida kõrgenenud süsihappegaasi-, arseeni-, orgaaniliste ühendite, räni- ja boorisaldusega vett. Enamik meie mineraalvetest kuulub spetsiifiliste komponentideta vete gruppi, kus ravifaktoriks on lahustunud ainete üldsisaldus.

Tabelis 4 on Eesti mineraalveed ja nende analoogid Nõukogude Liidu kuurortidest grupeeritud kasutamisala ja -viiside järgi. Soolasemad neist — Pärnu, Pärисpea, Ruhnu, Värсka-III, Põlva ning veidi vähem mineraliseerunud Ikla ja Petseri mineraalvesi gdoovi veekihist — on sarnased tuntud Staraja Russa, Palanga, Truskavetsi (puuraugust nr. 3) jt. mineraalvetega, mida on pikema aja jooksul edukalt kasutatud ravivannidena peamiselt luu-liigessüsteemi- ja piirdenärvisüsteemihaiguste korral.

Võru ja Petseri (Iomonossovi kihist) mineraalveed — soolade sisaldus 9—10 g/l — sobivad joomiseks peamiselt seedetrakti-haiguste korral ja ka vannideks varem nimetatud haiguste ravi-misel. Nende üldtuntud analoogid on Leedu mineraalveed «Birute» ja «Vytautas».

Eesti kõige tavalisemad vähe mineraliseerunud veed, kloriidsed nagu kõik eelmisedki, sobivad joogiks krooniliste seedetrakti-haiguste ravil. Need on Värсka-II, Häädemeeeste, samuti Võru ja Petseri (ordoviitsiumi-kambriumi kihist), Alatskivi ja hiljuti avastatud Värсka-IV mineraalvesi (Вингисаар, Тасса, 1976). Kahe esimese leiukoha vesi on tootmises lauaveena ja sellistena ka tunnustuse leidnud.

Omaette gruppi kuulub meil seni ainsana tuntud kloriid-sulfaatne Värсka-I mineraalvesi, mis sobib nii lauaveeks kui ka ravi-(joogi)veeks seedetrakti-, sapiteede, sapipõie- ja maksahai-guste puhul (Вингисаар, 1974, 1975).

Mineraalvete iseloomustamisel ei pääse mööda ka nende lahjendamise problemist. Tihti katsetatakse enam mineralisee-runud ja mageda vee segudega teadlikult, mõnikord tekivad need puuraugus tehniliste rikete tagajärjel. Eespool oli juba nimetatud Pärnu mineraalvett. Umbes taoline juhus oli ka Pärисpeal, kui ühes puuraugus oli aluskorra vesi segunenud kambriumi-vendi mageda põhjaveega. Tulemuseks oli kloriidne naatrium-kaltsiumi-line (Ca — 51 ekv-%, Na — 38 ekv-%) vesi mineralisatsiooniga 2,9 g/l. Selle vee koostist kirjeldades on märkinud Kurorto-loogia ja Füsioteraapia Keskinstituut eriti soodsa nähtusena kõrget kaltsiumisisaldust vähese üldmineralisatsiooni taustal. Selle alusel kõrvutas instituut segatud Pärисpea vee tuntud Belaja Gorka (Voroneži obl.) mineraalveega, hoolimata viimase suure-mast soolsusest (9,1 g/l). Belaja Gorka vett kasutatakse juba kaua ja edukalt joogiks seedetrakti krooniliste põletikuliste hai-guste ravis. Värсka-II mineraalvett kasutab Tartu õlletehas

Mõnede mikroelementide sisaldus Eesti mineraalvetes

Leiukoht, puurauk	Vee üldmine- ralisatsioon, g/l	Mikroelementide sisaldus vees, mg/l					
		Br'	J'	F'	Pb ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺
Värska-I	4,6	1,8	—	2,0			—
Värska-II	2,2	9,6	0,1	0,8			
Värska-III	15,7	42,6	0,2		—	—	—
Võru	3,2	11,6	—	1,0			—
Võru	9,2	26,1	—	0,8			—
Ruhnu	17,1	48,0	0,1				
Ikla	14,0	31,4	—	1,0	0,01	0,02	
Petseri	4,3	8,4	0,2	0,1	0,04	0,01	—
"	9,8	30,3	—	0,1	0,02	0,02	0,03
"	13,6	38,8	0,2	0,2	—	0,005	—
Häädemeeste	3,2	5,3	—	1,6	—	—	—
Pärispea	20,4	106	0,6	0,2			
Pudisoo	10,7	61,2	0,8	0,4			
Hirvli	11,6	51,0	0,2	0,1	0,02		

Märkus. Kriips tähendab ionisisaldust alla analüüsi tundlikkuse piiri. Kui mingit märki ega arvu ei ole, siis pole selle iooni sisaldust määratud.

Eesti mineraalvete analoogid tuntumaist NSV Liidu kuurortidest ja nende kasutamine

Kuurort, puurkaevu number, vee kommertsnimetus	Mineraalveed-analoogid		Eesti mineraalveed	
	Vee üld-minera-lisatsi-on, g/l	Kasutamisala Kurortoloogia ja Füsioteraapia Keskinstituudi andmeil	Leiukoht, puurkaev	Vee üld-minerali-satsioon, g/l
Staraja Russa, Novgorodi obl., «Muravjovi»	19,9	Ravivannidena luu-liigessüsteemi krooniliste haiguste, piirdenärvisüsteemi-, günekoloogiliste ja mõnede südame-veresoonkonnahaiguste korral	Värskas-III Pärisea	15,7
Staraja Russa, nr. 3	19,5			20,4
Palanga	19,2			
Truskavets, Lvovi obl., nr. 3	16,4	Inhalatsioonidena ülemiste hingamisteede haiguste raviks	Ruhnu Pärnu	17,1
Soligališ, Kostroma obl.	15,1			21,7
Krasnoussolsk, Baškiiri ANSV	20,7			
Tura, Sverdlovski obl.		Ravivannidena luu-liigessüsteemi-, piirdenärvisüsteemi-, günekoloogiliste ja mõnede teiste haiguste raviks	Ikla Petseri	14,0
Jar, Tjumeni obl.				13,6
Druskininkai, Leedu NSV, «Birute»	7,9			
Nižniže Sergi, Sverdlovski obl.	7,1	Joogina seedetraktihaiguste raviks, peamiselt alahappesuse korral, samuti mõnede ainevahetushaiguste raviks	Võru Pärisea — 2 korda lahjendatult	9,2
Birštonas, Leedu NSV, «Vytautas»	8,6	Vannidena analoogiliselt eelmistega	Petseri	10,2
Mirgorod, Ukraina NSV	2,8	Joogina seedetrakti krooniliste haiguste raviks, peamiselt alahappesuse korral, mõnede ainevahetushaiguste raviks Lauaveena	Värskas-II	2,2
Ostrog, Ukraina NSV	2,3		Häädemeeste	3,0
Minsk, Valgevene NSV, nr. 2	4,8		Võru	3,2
			Alatskivi	5,0
			Petseri	4,3
Kašin, Kalinini obl., nr. 14	4,4	Joogina seedetrakti-, sapipõie-, sapiteede- ja maksahaiguste raviks. Lauaveena	Värskas-I	4,6
Iževsk, Udmurdi ANSV	4,9			

(nimetus «Värška»)* kahekordselt lahjendatuna oma puurkaevu mageda, suhteliselt karedama ja fluoririkka veega. Tulemuseks on meeldiva maitsega lauavesi, millel on mõningane profülaktiline toime hambahaiguste vältimisel. Mõni aasta tagasi toodeti «Ikla-20», mis saadi Ikla mineraalvee viiekordsel lahjendamisel.

Mineraalvete kasutamine

Eesti mineraalvete kasutamine algas 1968. aastal, mil võeti tootmisse «Värška» ja «Ikla-20». «Värška» toodang suurenes 1973. a. pärast mineraalveetsehhi rekonstrueerimist 6 miljoni pudelini. 1975. a. lasti välja juba 13,6 miljonit pudelit «Värskat», sellest ligi 9 miljonit realiseeriti väljaspool Eestit. See näitab «Värška» head mainet üleliidulisel turul.

Värška leiukohta kasutas ka Räpina Sovhoostehnikumi Toolamaa tsehh. See väikeettevõte laskis välja naturaalseid «Värška-1» ja «Värška-2», mille järele oli päris suur nõudmine. Enamikule tarbijaist jäid need veed vähese toodangu tõttu tundmatuks.

1973. a. valmis Värška sovhoosil mineraalvee villimise tsehh, mis järgmisel aastal saavutas projekteeritud võimsuse — 3 milj. pudelit. Ka see tsehh kasutab Värška-II leiukoha vett (etiketil «Värška-2 originaal») naturaalselt, vesi on saanud väga hea vastuvõtu osaliseks nii meil kui ka väljaspool Eestit.

Ikla mineraalvee kasutamist alustas 1968. a. Pärnu Õlletehas. Et vesi oma suure soolsuse tõttu joogiks naturaalselt ei sobi, turustati seda tugevasti lahjendatult (1 : 4) «Ikla-20» nimetuse all. Viimase kõrval valmistati piiratud koguses (1—2% toodangust) enam mineraliseerunud segu (1 : 1) «Ikla-50» Pärnu sanatooriumile. Ikla mineraalvee asemel hakkas Pärnu Õlletehas kasutama tunduvalt lähemalt saadavat ja naturaalselt lauaveeks sobivat Häädemeeste mineraalvett. «Häädemeeste» tootmine algas 1970. a. ja küündis 1975. a. 2 miljoni pudelini.

Tabel 5 näitab Eesti mineraalvete senist kasutamist. On täiesti ilmne, et lauamineraalveed, eeskätt Värška-II leiukoha vesi on kindlalt juurdunud tootmisse ja leidnud oma koha meie karastusjookide turul. 1980. aastaks on planeeritud neid välja lasta 23,5 miljonit pooleliitrist pudelit. Tõenäoliselt peaks nüüd areng suunduma sortimendi mitmekesistamisele. Eeskätt tuleks taastada järkjärgult Värška-I kasutamine. On see ju heade raviomadustega vesi ning oma mõrkja maitsega meeldiks kindlasti ka lauaveena osale tarbijaist (tõenäoliselt küll mitte nii paljudele kui «neutraalse» maitsega Värška-II).

Mis vannivettesse puutub, siis nende kasutamine ei ole veel alanud. Tõenäoliselt saab esimeseks tarbijaks rajatav Värška

* Jutumärkides on toodetavate või toodetud vete kommertsnimetused.

Tabel 5

Mineraalvee tootmine Eesti NSV-s

Mineraalvee leiukoht	Tootja ettevõte	Vee kommertsnimetus	Mineraalvee toodang, milj. 0,5-liitrist pudelit								
			1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1980
Värskas-II	Tartu Eksperimentaalõlletehas	«Värskas» (1 : 1 lahjendatud)	0,1	0,9	1,1	1,3	1,6	6,0	10,0	13,6	18,0
"	Värskas sovhoos	«Värskas-2 originaal»	—	—	—	—	—	0,93	3,0	4,0	4,0
Värskas-I	Räpina Sovhoostehnikumi Toolamaa tsehh	«Värskas-1»	—	0,24	0,16	0,15	0,13	0,1	0,02	—	—
Värskas-II		«Värskas-2»									
Ikla	Pärnu Õlletehas	«Ikla-20» «Ikla-50»	0,006	0,65	0,66	0,05	0,05	0,03	—	—	—
Häädemeeste	Pärnu Õlletehas	«Häädemeeste»	—	—	0,06	0,79	0,90	1,47	1,70	2,0	1,5
Kokku			0,1	1,79	1,98	2,29	2,68	8,53	14,72	19,6	23,5

sanatoorium, kus võetakse kasutusele Värskas-III mineraalvesi. Kuid ka kaugema perspektiivi määramisel on arvestatud juba mineraalvett. Nii on Ikla küla ümbrus võetud arvele võimaliku tulevase kuurordialana.

Joogimineraalvee tootmisel ei kasutata ära mainimisväärtset osa olemasolevast uuritud varust ja ressursside ammendamist karta ei ole. Tuleb ainult hoolitseda puurkaevude suudmete eest, et kaevud oleksid suletud ja ümbrus vajalikus sanitaarses seisukorras. Kui tulevikus võetakse kasutusele enam mineraliseerunud veed ravivannideks, suureneb veetarve tunduvalt. Tulevaste ravi- late täielikuks varustamiseks mineraalveega tuleb teha veel geoloogilisi uurimistöid.

Enam mineraliseerunud veed võivad konstruktsioonivigadega ja sulgemata puurkaevude kaudu saastada pinnast ja magedat põhjavett (Vingisaar, 1975). Näiteks kannatas Ruhnu saarel osa vanast parkmetsast ja sooldus ühe talu kaev. Põhjuseks oli sügavpuuraugu avamine (küsitluse andmeil võeti vett metsapõlengu kustutamiseks), hiljem ei suudetud enam kohapealsete vahenditega tugevasurvelist puurauku sulgeda ning selleks tuli välja kutsuda geoloogid. Kui puuraugud on aga nõuetekohaselt suletud või tarbija puudumisel likvideeritud, ei ole karta mingit kahjulikku mõju ümbritsevale keskkonnale ega ka väärtusliku looduse- vara raiskamist.

KIRJANDUS

Verte, A. Ravimineraalvetest Eesti NSV-s. — «Eesti Loodus», 1961, nr. 2, lk. 65—70.

Verte, A. Eesti NSV mineraalvetest. — Kurortoloogilised uurimused, 2. Tallinn, 1963, lk. 25—38.

Vingisaar, P. Põhjavesi. Kuidas me teda kasutame. — «Eesti Loodus», 1975, nr. 1, lk. 1—5; nr. 2, lk. 65—68.

Vingisaar, P., Viigand, Alide. Pärnu põhjaveekihi hüdrokeemilisest tsonaalsusest Kagu-Eestis. — Geoloogilised märkmed, 3. Tallinn, 1976, lk. 93—103.

Богомолов Г. В., Шпаков О. Н. Гидрогеология Белорусского кристаллического массива, Минск, 1974. 157 с.

Вингисаар П. А. О формировании минеральных вод пярнуско-кемерского водоносного комплекса Эстонии. — Материалы семинара по гидрохимии подземных вод Прибалтики и Белоруссии. Вильнюс, 1974, с. 14—18.

Вингисаар П. Месторождение минеральных вод Вярска (Эстонская ССР). — «Изв. АН ЭССР. Хим. Геол.», 1975, № 4, с. 279—286.

Вингисаар П., Таска В. Новая минеральная вода месторождения Вярска. — «Изв. АН ЭССР. Хим. Геол.», 1976, № 4, с. 352—353.

Иванов В. В., Невраев Г. А. Классификация подземных минеральных вод. М., 1964. 167 с.

ЭСТОНСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

П. Вингисаар

Резюме.

Минеральные воды обнаружены в Эстонии в следующих водоносных горизонтах и комплексах (сверху вниз): в пярнуском, ордовикско-кембрийском, кембро-вендском, протерозойско-архейском. Приведены основные гидрогеологические данные по месторождениям и проявлениям (табл. 1), гидрохимические сведения (табл. 2 и 3) и сравнение с известными минеральными лечебными водами СССР (табл. 4).

Рассмотрены основные закономерности формирования и распространения минеральных вод Эстонии и оценены предпосылки дальнейших исследований. Установлено, что наиболее перспективна для обнаружения минеральных вод разнообразных типов кора выветривания кристаллического фундамента (протерозойско-архейский водоносный комплекс). Опираясь на данные Г. Богомолова и О. Шпакова (1974) по Белорусскому массиву и геолого-петрографическому и гидрогеологическому сходству последнего с фундаментом Эстонии, высказано предположение о возможности наличия в породах фундамента Эстонии радоновых минеральных вод.

Дан обзор качества эстонских минеральных вод и выяснены возможности промышленного производства питьевых минеральных вод (табл. 5; в млн. 0,5 л бутылках).

ESTONIAN MINERAL WATERS AND THEIR EXPLOITATION

P. Vingisaar

Summary

The article presents the main quantitative (Table 1) and qualitative (Tables 2 and 3) data concerning the mineral waters discovered on the territory of the Estonian S.S.R. A description is given of their distribution in the aquifers where they have been found: in the water-bearing horizon of the Pärnu, Ordovician-Cambrian and Cambrian-Vendian formations, and in that of the crystalline basement (Fig. 1). The main regularities noticeable in their distribution are pointed out. The greatest prospects for finding different types of mineral water are contained in the

crystalline basement which has been investigated less than the other formations.

Estonian mineral waters can be used for either drinking or for curative baths. The industrial output of the former type of mineral waters started in 1968 and reached 19.6 million bottles (calculated in half-litre containers) by 1975 (Table 5). The waters containing a higher concentration of mineral substances, which are suitable for curative baths, have remained unused so far. The first establishment to make use of them will be a sanatorium which is being built at Värskä. For this purpose curative mud and four types of mineral water have been investigated.

MAAPARANDUS JA PÕHJAVEE KAITSE

H. Kink

Põllumajanduse arendamine ja toodangu suurendamine ei ole Eestis võimalik maade kuivendamise ja niisutamiseta. Veerežiimi reguleerimisel tuleb aga arvestada konkreetseid, igale paigasele omaseid looduslikke tingimusi, eriti ülemise põhjaveekihi varu ja kaitstust. Kõige rohkem väheneb ülemise põhjaveekihi varu sel juhul, kui kuivendussüsteemide ehitamisel, eriti kraavide kaevamisel aluspõhjakiivimitesse (joonis), ei arvestata hüdrogeoloogilisi tingimusi.

Põhjavee suurtel toitealadel nagu Pandivere kõrgustikul, tektooniliste rikete ja karstipiirkondades järgneb aluspõhja avamisele maaparandusrajatistega põhjaveetaseme kiire alanemine ümbruskonnas. Nii mõjus Ambla, Jägala, Soodla, Preedi ja Jäniõie ning Vorsti oja ülemjooksude süvendamine põhjaveetasemele kuni 2 km kaugusele.

Põhja-Eesti lavamaal on aluspõhjakoõrgendikke ümbritsev lauskuivendus alandanud põhjaveetaset 2—3 m Kohila—Hageri, Tuhala—Kuivajõe, Pae, Kuimetsa, Kõbala, Päinurme, Pärnu-Jaagupi, Vändra jt. piirkondades.

Põhjavee surve ja väljavoolu piirkonnas vett avavate kuivendussüsteemide ehitamisele järgneb intensiivne tehisäravool ($q=4-5$ l/s·ha või 1 l/s·m), seega suur puhta vee tulutu ärajuhtimine (Kink, 1975 a). Viimasega on kaasnenud kohati ka arteesiavee taseme alanemine. Näiteks enne Kuuda oja ehk Pühajõe (Teenuse jõe vasakpoolne lisajõgi) süvendamist oli arteesiavee tase selles paigases 2 m maapinnast kõrgemal, pärast süvendamist alanen aga 6 meetrit.

Maaparandusehitiste rajamise üheks negatiivseks tagajärjeks on põhjaveetaseme lokaalne alanemine, mis võib muuta keskkonnatingimusi ja mõjutada omakorda põllumajandusliku tootmise produktiivsust. Nii on uuritud rajoonides vahetult pärast maade kuivendamist veevaeseks või kuivaks jäänud 30—50% maaparandusobjektidel paiknevatest või nende lähedal asuvatest kaevudest. Ka on kuivanud rohkesti allikaid.



Tehisallikas, mis tekkis pärast kraavi kaavamist lubjakivikihtidesse. H. Kingu foto.

Et vältida põhjaveevaru liigset vähendamist maade kuivendamisel, tuleks eriti karstipiirkondades juhinduda põhimõttest, et aluspõhjast ärajuhitava põhjavee hulk (tehisäravool) peaks olema võrdne varu taastamiseks maasse juhitava veehulgaga (Kink, 1975 b). Põhjaveevaru aitaks taastada karstilehtrite säilitamine toitealadel, mistõttu tuleks vältida nende täitmist kultuurtehnilistel töödel.

Põhjaveevaru taastaks oluliselt kuivendusega ärajuhitava vee suunamine kurisutesse või vertikaalse drenaaži ehitamine. Neid küllaltki radikaalseid võtteid ei ole seni võimalik olnud rakendada kuivendatud maadelt ärajuhitava vee reostatuse tõttu. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi ja Geoloogia Valitsuse laboratooriumides 1973.—1975. a. analüüsitud kraavivee proovides oli palju nitraat- ja sulfaatioone aprilli- ja maikuuks (Kink, 1975 c). Kuid 1973/74. a. talvel oli Saaremaal dreniveesi rohkem saastunud kui kraavi- ja jõevesi, sest pinnas seal peaaegu ei külmunud ning põlde väetati. Veejuhtmetes oli ilmselt tegemist suurema lahjendusega. Suhteliselt puhas oli maaparandusvesi sügisel, kui taimed olid suurema osa väetisest ära kasutanud. Järelikult ei tohiks nõrga reostuskaitstusega piirkondades külvata mineraalväetisi lennukilt ega lumele ja külmunud pinnasele. Karstilehtrite

kasutamist komplitseerib veelgi see, et neisse võidakse koos maaparandusveega juhtida ka heitvett.

Põhjaveevaru vähendab puurkaevuvee kasutamine niisutamiseks. Sel juhul tuleb arvestada paigase üldist maaparanduskoormust. Niisutada põhjaveega võib ainult seal, kus põhjaveevaru on rikkalik. Siinjuures tuleb kindlasti arvestada olemasolevat ja prognooset tehisaravoolu.

Põhjaveevaru vähendamisse on vaja eriti ettevaatlikult suhtuda neis Eesti piirkondades, kus on intensiivselt arenenud põllumajanduslik tootmine ja põhjavesi on looduslikult halvasti kaitsitud (näiteks Pandivere kõrgustikul ja Saaremaal). Rannikupiirkondades asendab magedat põhjavett selle taseme alandamisel merevesi ja soolaka põhjavee vöönd nihkub sisemaa poole. Saaremaal on soolakas põhjavesi viimase 10 aasta jooksul nihkunud sisemaa poole ligi 10 kilomeetrit (Савицкая, Вингисаар, 1974).

On levinud arvamus, et metsakuivendus ei vähenda põhjaveevaru väikese kuivendusintensiivsuse tõttu. Kahjuks on metsakuivenduse eesvoole rajatud sellistesse piirkondadesse, kus põhjaveevaru kaitsmise huvides põllumajanduslike maade kuivendust ei ole soovitatud. Põhjaveetase on alanenud isegi Eesti Metsainstituudi looduskaitsesektori poolt säilitamiseks soovitatud märgaladel, sest nende piirile või neist läbi on kaevatud sügavad kraavid. See on toimunud juba Nigula Riiklikul Looduskaitsealal, Tolkuse ja Nätsi rabas jm.

Uheks oluliseks ja väga vajalikuks põhjavee kaitse abinõuks kuivenduse projekteerimisel on hüdrogeoloogiliste lähteandmete hankimine ja kasutamine. Maaparandusotstarbelisi hüdrogeoloogilisi detailuuringuid ei ole tehtud seni optimaalsel ajal. Melioratiivhüdrogeoloogilisi uurimistöid on õige teha ainult vegetatsiooni-perioodil, et teada saada põllumajanduslikuks tootmiseks optimaalset veerežiimi. Talvistel hüdrogeoloogilistel uuringutel ei ole see võimalik. Sageli jääb maa, kus uuringud on tehtud talvel, pärast kuivendussüsteemi ehitamist märjaks või alaneb seal põhjaveetase ülemäära.

Maaparanduse ja põllumajandusliku tootmise mõjul on Põhja-Eestis vähenenud ülemise põhjaveekihi varu ja halvenenud selle vee kvaliteet. Kui ka edaspidi ei arvestata põllumajanduse plaanisel hüdrogeoloogilisi tingimusi, siis võib aastaks 2000 kujuneda olukord, et kohati väheneb ülemise põhjaveekihi varu suuresti. Seepärast on vaja maaparanduse ja põllumajanduse tootmiskomplekside plaanisel tingimata arvestada ka geoloogilisi ja hüdrogeoloogilisi tegureid.

KIRJANDUS

Kink, H. Põhjavee voolust liigniisketele maadele. — Teaduslik-tehnilisi töid. Maaparandus. Tallinn, 1975 a, lk. 47—53.

Kink, H. Maaparandus ja põhjavesi. — «Eesti Loodus», 1975 b, nr. 3, lk. 129—132.

Kink, H. Kuivendatud maadelt ärajuhitava vee kvaliteedist Saaremaal. — Teaduslik-tehnilisi töid. Maaparandus. Tallinn, 1975 c, lk. 53—59.

Савицкая Л. О., Вингисаар П. А. О сочетании естественных и техногенных факторов формирования гидрохимической зональности подземных вод островов Эстонии (на примере о. Сааремаа). — В кн.: Материалы семинара по гидрохимии подземных вод Прибалтики и Белоруссии. Вильнюс, 1974, с. 11—14.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Х. Кинк

Резюме

При осушении земель необходимо учитывать состояние запасов подземных вод первого сверху водоносного горизонта и их защищенность. В результате прокладки в карбонатных породах каналов уровень подземных вод на прилегающих землях понижается, а сток их увеличивается. В связи с этим высыхают мелкие колодцы и родники. Поскольку отводимые осушением воды часто загрязнены удобрениями, их использование для восстановления запасов подземных вод затруднено. Истощению первого сверху водоносного горизонта иногда способствует использование подземных вод для орошения без учета общей мелиоративной нагрузки района. Уменьшают запасы подземных вод и лесосушительные водоотводные каналы.

При планировании, проектировании и строительстве водохозяйственных мероприятий для охраны подземных вод необходимо лучше использовать гидрогеологические данные.

LAND IMPROVEMENT AND GROUND WATER CONSERVATION

H. Kink

Summary

In land drainage the reserves of the upper ground water horizon and the degree to which these are protected against pollution must be taken into consideration. Ditches dug in limestones will lead to the diminution of the ground water resources in the surrounding area. The construction of drainage systems which lay open veins of ground water will cause its intensive outflow. This, in turn, will lead to the drying up of springs and storage wells. It is not easy to replenish the ground water reserves

with water drained from improved lands since the latter are polluted with fertilizers. The reserves of ground water are also diminished where water is drawn from boreholes for purposes of land irrigation, without taking into consideration the general amount of water drained in the district as a result of land improvement. A considerable role in reducing the ground water resources is also played by the deep ditches dug for purposes of forest draining. In order to protect our ground water reserves, the data provided by hydrogeological investigation should be taken into account in the planning, designing and building hydrotechnical constructions.

PÖLLUMAJANDUS JA VEEKAITSE

A. Maastik

Suured tööstusettevõtted ja linnad on keskkonna saastajatena tuntud juba ammu. Põllumajandus muutus veemajanduse murelapseks alles hiljuti seoses tootmise industrialiseerimise, kemiseerimise ja kontsentreerimisega.

Põllumajandusreostust käsitatakse käesolevas töös kui maa-reostust tervikuna, mille hulka arvatakse nii põllumajandusliku tootmisega otseselt või kaudselt (põllumajandussaaduste töötlemine maal asuvates ettevõtetes) kaasnev reostus kui ka maa-asulate olmesaastus olenemata sellest, kui suur osa nende elanikkonnast põllumajandusega tegeleb.

1. Reostuse iseloom

Põllumajandusliku päritoluga veereostuse põhiliseks tekitajaks on surnud orgaaniline aine oma hapnikutarbega. Reovedelikus sisalduva orgaanilise aine lagunemiseks vajalikku hapnikuhulka iseloomustatakse biokeemilise hapnikutarbega (BHT); tavaliselt määratakse viie ööpäeva kestel kuluv hapnik — BHT_5 (mg/l). BHT_5 iseloomustab reovedeliku kontsentratsiooni, reostuse suurus sõltub aga ka reovedeliku hulgast. Hästi ülevaatlik on reostustoi-
met hinnata inimekvivalentides (ie), s. o. avaldada see niisama suurt olmereostust tekitava inimhulga kaudu. Keskmiselt loetakse inimekvivalendi väärtuseks 54 grammi hapnikutarvet ööpäevas:

$$1 \text{ ie} = 54 \text{ g } BHT_5/\text{ööp.}$$

Peale hapnikutarbe on oluline tähtsus reovedelikus sisalduvaid aineid: lämmastikul, fosforil ja kaaliumil, mis pinnavette sattudes põhjustavad veetaimestiku vohamise (veekogude eutrofeerumise). Lagunev taimemass võtab veest hapnikku, tagajärjeks on nn. sekundaarne reostumine. Hõlpsasti pääsevad põhjavette mullas hästi liikuvad nitraadid. Ülemäärane nitraatlämmas-

tiku kontsentratsioon (>10 mg/l) joogivees ohustab nii inimesi (eriti imikuid) kui loomi.

Reostust põhjustavad ka haigusbakterid ja soolenugiliste munad, õlid ja küttevedelikud, mürgid (taimekaitsevahendid, desinfektsioonilahused) ja sünteetilised pesemisvahendid.

2. Reostusallikad

Reostust võib liigitada piiritletud kollektist pärinevaks punkt-reostuseks ja ulatuslikke maa-alasid haaravaks hajareostuseks.

Punktreostust põhjustab peamiselt loomakasvatus ja põllumajanduslikku toorainet töötlev tööstus, hajareostus kaasneb põhiselt taimekasvatusega.

2.1 Punktreostus

Peamisi punktreostuskoldeid on loomakasvatusfarmid, kust tekib mitmeid vett ohustavaid heitmeid:

- 1) loomade väljaheited;
- 2) tehnoloogiline reovesi;
- 3) silomahl;
- 4) lõpnud loomad;
- 5) mehhanismidest (näit. lüpsiseadmete kompressorid) maha-valguv õli.

Taimekasvatusega seotud punktreostusobjektidest nimetatagu mitmesuguseid hoidlaid (mineraalväetistele, ammoniaakveele, mürkkemikaalidele, vedelkütustele) ning masinate hoiu-, pesemis- ja remondikohti (õlireostus).

Maal on rohkesti põllumajandussaadusi töötlevaid ettevõtteid: meiereisid, tärklis-, piiritus- ja konservivabrikuid ning veinitehaseid, mille reostav toime võib väga suur olla.

Maa-asulad on enamasti väikesed ja olmereovett eraldub neist suhteliselt vähe, kuid ebasoodsates tingimustes võib see pinna- ja põhjavee kvaliteeti siiski tunduvalt halvendada.

Järgnevalt käsitletakse lähemalt neid reostusallikaid, mis on keskkonnale ohtlikumad ja mille kohta on rohkem uurimisandmeid.

2.1.1. Loomade väljaheited

Loomade väljaheidete reostuspotentsiaal sõltub kasutatavast sõnniku eemaldamise tehnoloogiast. Kui uriin seotakse rohke allapanuga ja sõnnik eemaldatakse tahedana, siis ei ole veereostuse oht väiksemate lautade juures kuigi suur. Siiski on üsna oluline, mis saab sõnnikust pärast laudast väljaajamist. Sageli ei ole

sõnniku paigutamiseks veekindlat alust, et saaks virtsa koguda veetihedatesse kaevudesse, millest see tuleks korrapäraselt välja vedada ja põllule laotada. Sõnnikust nõrguv ja vihmaga väljapestav virts valgub laiali ja võib jõuda pinna- või põhjavette. Mida suurem laut, seda rohkem virtsa ja seda suurem on ka reostusohu.

Suurfarmides tuleb allapanust enamasti loobuda, eriti on see nii nn. sea- ja linnuvabrikutes. Väljaheited eemaldatakse vedelal kujul — lágana, mille keskkonnaohtlikkus on tahedast sõnnikust palju suurem. Suurema ohtlikkuse põhjuseks on ühest küljest voolavus, teisest küljest — laudasõnnikut desinfitseeriva eksotermilise komposteerumisprotsessi puudumine. Lágas säilivad hästi nii haigusbakterid kui ka soolenugiliste munad, millest tuleneb tema infektsiooniohtlikkus. Kui taheda sõnniku käärimisel eraldub vaid ammoniaaki ja süsihappegaasi, siis vedel lág laguneb anaeroobselt ja reostab keskkonda ka haisuga (metaan, väävelvesinik jt. haisvad ühendid).

Loomade väljaheidete hulga ja koostise kohta on kirjanduses rohkesti andmeid (Amberger, 1972; Bardtke, Jeserich, 1972; Berglund jt., 1964; Brink, 1972; Kohen, 1970; Leuthier, 1968; Loehr, 1969; Максимовский, 1974; Мацьковьяк, 1973; Surun, 1972, jt.). Need kõiguvad aga laiades piirides, mis on tõenäoliselt tingitud erinevast veehulgast ja ka söötmisest. Ekskrementide keskmine hulk (kg/lü ööpäevas) on järgmine:

Loomaliik	Ekskremeente	Sellest uriini
Lüpsilehmad	45	15
Noorveised	45	11
Sead	37	22
Linnud	37	—

Orienteerivate hinnangute andmiseks võib ekskrementide keskmiseks ööpäevakoguseks lugeda sõltumata loomaliigist 40—45 kg, aastas aga 16 tonni loomühiku* kohta. Nagu näha, kujunevad ekskrementide hulga suurfarmides aukartustäratavalt suureks.

Kirjandusandmete analüüsi ja mõningate Tartus tehtud mõõtmiste (Маастик, Тынисберг, 1972) alusel võib lugeda väljaheidete keskmiseks potentsiaalseks reostuskoormuseks loomühiku kohta

lüpsilehmadel — 16 ie,
muudel veistel — 12 ie,
sigadel — 21 ie.

Lindlate reostuskoormuseks võib H. Leuthieri (1968) järgi võtta puurikanalates 75 ie/lü ja põrandakanalates 7 ie/lü, kusjuures ühe loomühiku moodustab 240 munakana või 340 broilerit.

* 1 loomühik (lü)=500 kg elusmassi; 1 lehm=1 lü, 1 noorloom=0,55 lü, 1 vasikas=0,2 lü, 1 emis=0,4 lü, 1 põrsastega emis=0,5 lü, 1 nuumik=0,15 lü, 1 võõrdpõrsas=0,05 lü.

Virtsa eraldub 20—30% veise- ja 50—60% seaekskrementidest, seega võib virtsa võimalikuks reostuskoormuseks lugeda lüpsilehmadel keskmiselt 3—5 ie/lü, muudel veistel 2,5—3,0 ie/lü ja sigadel 10—12 ie/lü.

2.1.2. Tehnoloogiline ja olmereovesi

Igast farmist voolab ära suurem või väiksem hulk tehnoloogilist reovett. Seda tekib lüpsivarustuse pesemisel, sigalate ja vasi-kalautade söödaköökides, tapatsehhiides (linnuvabrikud) või hädatapuruumides ning ruumide pesemisel ja desinfitseerimisel. Lisandub olmereovesi personali käimlatest, duširuumidest jm.

Tehnoloogilise reovee kohta on kirjanduses andmeid vähe. Et saada puhastusseadmete projekteerimiseks vajalikke lähteandmeid, uuriti 3—13 ööpäeva kestnud mõõtmistsüklite vältel mitme lüpsifarmi piimaruumide heitvett (Варенди, Маастик, 1975). Mõõdeti nii ööpäevast vooluhulka kui ka reostuskoormust BHT₅ järgi. Selgus, et reostuse suurus sõltub lüpsitehnoloogiast. Kannu-ja torusselüpsi korral võib reostuskoormuseks võtta 0,2—0,3 ie lehma kohta ööpäevas. Et lüpsiseadmete pesemisest satub vette enam-vähem ühepalju piima, võib 100—230-kohalise lüpsilauda tehnoloogilise reovee reostuskoormuseks pidada 2,5—3,0 kg BHT₅/ööp. ehk 50—60 ie.

Lüpsiplatsiga lautades on reostus tunduvalt suurem, sest pesuvee hulka satub rohkesti väljaheiteid. Kahes laudas tehtud mõõtmiste põhjal kujunes reostuskoormuseks 2—3 ie lehma kohta ööpäevas, samasuguseid andmeid on saadud ka Ameerika Ühendriikides (Zall, 1972). Tuhandepealise lüpsifarmi tehnoloogilise reovee puhastamine muutub üsna suureks probleemiks — reostuskoormus vastab 2000—3000 elanikuga asulale; reovee suure kontsentratsiooni (BHT₅=1000—5000 mg/l) tõttu on seda raskem puhastada kui olmereovett (keskmine BHT₅=350 mg/l).

Sigalate söödaköökide heitvee reostust on mõõdetud vaid Ulenurme sigalas 1970. a. Ühe sea (60 kg) kohta eraldus umbes 6 l vett ööpäevas, sellest ligi pool söödavalmistamisest ja pool kartulipesust. Reostus sea kohta oli 31 g BHT₅/ööp., s. o. 0,58 ie, loomühiku kohta aga 4,8 ie.

Lindlates võib arvestada tapmisest tulenevaks reostuseks 70 ie loomühiku ja puurilindlate põrandate pesust 1 ie 130 linnu kohta (Leuthier, 1968).

Hädatapmisel satub kanalisatsiooni kogu veri ja reostuskoormus on suur: iga veise kohta 200 ja väikelooma (siga, lammas) kohta 100 ie (Randolf, 1973).

Tehnoloogilise reovee keemilisest koostisest on vähe teada. P. Wedekindi ja D. Süssenbachi (Мацьковьяк, 1973) andmeil sisaldab lüpsifarmide reovesi keskmiselt 0,084% lämmastikku, 0,09% P₂O₅ ja 0,173% K₂O.

2.1.3. Silomahl

Märgsilo mahl on kontsentreeritumaid reovedelikke põllumajanduses. Selle lagunemiskiirus on suhkrutesisalduse tõttu suur ja $BHT_5 = 30\,000 - 90\,000$ mg/l. Uks liiter haljassööda- või rohusilo mahla võrdub reostustoimelt keskmiselt 1,5 inimekvivalendiga (Henriksson, 1961). Mahla väljavool algab juba sileerimispäeval ja kestab kuni 3 nädalat. Esimestel päevadel on see väga intensiivne: teise või kolmanda ööpäeva kestel eraldub 20–30% kogu mahlahulgast (Berglund jt., 1964). Mahla hulk sõltub sileeritava massi veesisaldusest järgmiselt (Brink, 1972; Henriksson, 1961):

veesisaldus, %	90	85	80	75	70
kuivainesisaldus, %	10	15	20	25	30
eraldub mahla (% sileeritavast materjalist)	40	30	20	10	0

Silomahla käsitsemisvõimalusi on põhjalikult uuritud Rootsis (Henriksson, 1961; Berglund jt., 1964). Selle bioloogiline puhasdamine ei tule erakordselt kõrge kontsentratsiooni ja lühiajalise eraldumise tõttu kõne alla. Ka pinnasesse ei või seda immutada, sest silomahl püsib seal aastaid ja valgub aegamööda laiali, reostades põhjavett (Brink, 1972). Ainus reaalne moodus silomahla keskkonda reostamata kahjutuks teha on põllule laotamine. Laotusnorm ei tohi olla suur: mulda kahjustamata võib hektarile anda kuni 25 m^3 mahla (Berglund jt., 1964), kusjuures happesuse ($\text{pH} = 4 - 5$) alandamiseks soovitatakse mahla eelnevalt segada läga või virtsaga vahekorras 1 : 1. Taimetoitainete keskmine sisaldus haljassööda- ja rohusilo mahlas on järgmine (Berglund jt., 1964; Henriksson, 1961): 0,2% lämmastikku, 0,5% kaaliumi ja 0,07% fosforit.

2.2. Hajareostus

Hajareostust põhjustavad orgaanilised ja mineraalväetised ning taimekaitsevahendid. Reostuse määr sõltub paljudest teguritest ja selle suurus on arvuliselt väga raske hinnata. Küll aga võimaldab probleemi tundmine tootmistegevust arukalt juhtida.

Väetistega ebaratsionaalne ümberkäimine toob kaasa mitte ainult veereostuse, vaid ka suure otsese kahju. Lumele või külmunud maale laotatud tahedast sõnnikust läheb V. Masso andmeil kaduma umbes pool lämmastikust ja veerand fosforist; on andmeid, et sulamisveega on ära uhitud isegi 80% väetisest (Зарыбаев, 1974).

Et praegu laotatakse Eestis vähemalt pool sõnnikust talvel, võib sellest tingitud lämmastikukadu olla vähemalt veerand ja

fosforikadu kaheksandik aastas kasutatava sõnniku lämmastiku- ja fosforisisaldusest. Läga osakaalu kasvamisega need arvud suurenevad.

Mineraalväetisi satub vette eriti siis, kui neid laotatakse lennukilt või tuulise ilmaga.

Ülemäärane või ebaõigel ajal väetamine ohustab ka põhjavett. Mullas on eriti liikuv nitraatlämmastik. Kui taimed ei suuda seda ära kasutada, pestakse see sademetega põhjavette. Fosfor on vähe-liikuv ja pääseb vette erosiooni teel koos huumusmullaga.

Taimekaitsevahendid satuvad vette pindmise äravooluga ja lohaka hoidmise või kasutamise tagajärjel (mahutite pesemine, pritsimine või tolmutamine veekogude lähedal). Mullas on pestitsiidid väheliikuvad ja põhjavett oluliselt ei ohusta.

3. Reostuskoormus

Veevaru kvaliteedi prognoosimisel on olulisi faktoreid vaatlusaluse piirkonna reostuskoormus.

Punktreostusallikate reostuskoormust on Eesti NSV-s seni detailiselt uuritud Kingissepa (1973), Paide (1974) ja Rakvere (1974) rajoonis, mis kõik paiknevad põhjavee kaitstuse poolest ebasoodsas piirkonnas. Ekspert hinnangu tasemel määrati reostuskoormus biokeemilise hapnikutarbe järgi, mis tekiks, kui kõik reoained vette pääseksid, ja tõenäoline reostuskoormus uurimistööde ajal, s. o. reostuskoormus nendest reovedelikest, mis hoidlate ning kanalisatsioonisüsteemide puudumise või halva tehnilise seisundi tõttu laiali valguvad. Tõenäolise reostuskoormuse hindamiseks külastati välitöödel praktiliselt kõiki reostusobjekte ja selgitati nende tehniline seisund veekaitse seisukohast.

Asulates tehti kindlaks elanike arv, tööstusettevõtted ning kanalisatsiooni ja reoveepuhastuse olukord. Selgitati tööstusettevõtete ööpäevatoodang või töödeldava tooraine hulk ja töötajate arv.

Peatähelepanu pöörati põllumajandusele, eriti loomakasvatusele kui peamisele reostusallikale. Kõikide farmide kohta täideti välitöödel perfokaardid, millele joonistati skeem ja kanti järgmised andmed:

- majandi ja farmi (lauda) nimetus ning asukoht, loomade (loomakohtade) arv liikide kaupa; laiendamise või likvideerimise kavad;
- suurkaevude asukoht, sügavus, tehniline seisund, vee kvaliteet. Vee kvaliteeti hinnati küsitluse ja mineralisatsiooni mõõtmise teel; kahtlastel juhtumitel võeti veeproovid keemiliseks analüüsiks;
- sõnniku eemaldamise tehnoloogia. Hoidlate ja virtsakaevude konstruktsioon, tehniline seisund, hooldatus, kas virts pääseb voolama;

- silohoidlate suurus, konstruktsioon, seisund (mahlapidavus), silo liik (märg või kuiv), mis saab silomahlast;
- kuhu voolab tehnoloogiline reovesi. Kogumiskaevude, kanalisatsiooni ja reoveepuhastite olemasolu, seisund ja hooldatus;
- õlireostuse olemasolu (lüpsiseadmeist, õlihoidlaist);
- pinnase iseloom, maapinna reljeef, aluspõhja sügavus ja karstinähtused (küsitluse järgi);
- farmi (lauda) kaugus lähimast elamust, vee kvaliteet naaberkaevudes;
- lähema veekogu kaugus ja kas sinna pääseb reovedelik.

Kogutud andmed süstematiseeriti majandite ja rajoonide kaupa. Sõnnikuhoiulad ja virtsakaevud loeti korrast ära olevaiks, kui virts pääses ära voolama. Tehnoloogilise reovee kogumise kaevud liigitati korrasolevaiks ja hooldatavaiks (kui vesi korrapäraselt ära veeti) ning mittehooldatavaiks, kui nad üle ajasid. Vett mittepidavad kaevud arvati korrast ära olevaiks.

Selgus, et täiesti korras sõnnikuhoiulaid ja virtsakaeve on vaid uutel sigalatel. Uutel veiselautadel on sillutatud sõnnikulaadimisplatsid, millest paljud on aga külgliseinteta ning virts valgub laiali. Vanemate lautade juures aetakse sõnnik tavaliselt lihtsalt maa peale.

Praegu kasutatavate silohoidlate konstruktsioon on enamasti selline, et nad mahla ei pea. Olemasolevatest mahlakaevudest mingit kasu ei ole: nad on pisikesed ega ole veekindlad.

Ka õlireostust on üsna paljude lautade (peamiselt lüpsilautade) juures. Oliloik lauda seina ääres jahutusseadme väljalaskeoru otsa all on tavaline nähtus. Sellest tingitud reostuse suurus on raske hinnata, reostamist vältida aga väga lihtne — piisab korralikust kogumisnõust.

Tehniliselt korrasolevaiks loeti korralikus pumbamajas olevad puurkaevud. Rohkesti on kaevusid, mida mööda reovedelikud põhjavette pääsevad.

Iga uuritud objekti kohta arvutati ööpäevane reostuskoormus inimekvivalentides üksikute komponentide (virts, silomahl, tehnoloogiline reovesi, olmereovesi) kaupa. Muutliku tootmisrežiimiga tööstusettevõtetele (meiereid, kala- jt. konservitööstused jt.) määrati reostuskoormus tippkoormuse korral. Kõige raskem on selgitada ööpäevast reostuskoormust silomahlast, sest umbes kaks kuud (juuli, august) kestva sileerimishooaja kestel täidetakse hoidlaid igas kohas eri ajal. Kui võrrelda ühe tonni rohusilo (mahla $20\% = 200 \text{ m}^3$, $\text{BHT}_5 = 75\,000 \text{ mg/l}$) mahla summaarset biokeemilist hapnikutarvet ühe elaniku kahe kuu olmereovee hapnikutarbega, saab keskmiseks reostuskoormuseks 5 ie. On aga ka teada, et maksimaalse mahlavoolu päeval eraldub 20–30% mahlast ja siis suureneb ühe silotonni ööpäevane reostuskoormus 70 inimekvivalentini (14 korda keskmisest suuremaks). Sileerimishooaegse ööpäevase reostuskoormuse arvutamisel võeti märgsilo reostuseks 10 ie tonni kohta, mis on kahe kuu keskmisest kaks

korda suurem, et arvestada mahla eraldumise ebaühtlust. See arv on pigem ala- kui ülehinnatud, lokaalne reostus on sellest territoriaalsest keskmisest muidugi suurem.

Kirjeldatud moel tehtud arvutustest saadi järgmine reostuskomponentide «pingerida» uuritud rajoonides (tabel):

- 1) silomahl,
- 2) virts,
- 3) maatööstus,
- 4) linna- ja alevitööstus,
- 5) linna- ja alevielanikkond,
- 6) farmide tehnoloogiline reovesi,
- 7) maaelanikkond.

Kui loomakasvatusest tingitud reostus jagada loomühikute arvuga, saab erireostuse ie/lü. See osutus kõigis kolmes rajoonis praktiliselt ühesuuruseks: keskmiselt 3,6 ie/lü. Täiendavate andmete saamiseni on selle arvu kaudu võimalik hinnata loomakasvatuse reostust ka teistes rajoonides. Majandite kaupa kõigub erireostus suurtes piirides, see iseloomustab farmide tehnilist seisundit ja suhtumist veekaitsele. Sileerimishooajal on erireostus märksa suurem ja rajooniti erinevam. See sõltub vaid silotegemise mahust, sest hoidlad ei pea kusagil mahla. Silomahla toime ei piirdu küll üksnes sileerimishooajaga (kaks kuud), sest reoaine püsib pinnases pikka aega.

4. Põllumajandusreostuse mõjust põhjaveele

Eespool arvutati reostuskoormused nendest reovedelikest, mis laiali valguvad. Kui suur osa neist jõuab pinna- või põhjavette, ei ole teada. Osa reovedelikest kahtlemata seotakse aeratsioonivöös, kuid suurte vedeliku hulkade puhul (farmid) ei saa see osa küll suur olla.

Pinnaveereostust on ette tulnud rohkesti, sealhulgas lausalist silomahla või virtsa voolamist veekogudesse, mille tagajärjel on hukkunud massiliselt kalu. Reostamise tõttu on jõevee lämmastikusisaldus suurvee ajal tunduvalt suurem kui madalveeperioodil.

Põhjavee reostamist näitab paljude puur- ja salvkaevude vee halb kvaliteet.

Mõne üksiku reostunud kaevu saasteallikat ei saanud kindlaks teha. Leidus aga ka hea veega kaeve äärmiselt ebasanitaarsete farmide lähedal, mille põhjavett reostav toime oli väljaspool kahtlust (paljandunud paas, karst). Ilmselt ei sattunud need kaevud reostunud põhjavee leviku suunale (enamikus pinnastes on filtratsioonivool laminaarne ja reostus levib aeglaselt laieneva koonlana).

Kaevude reostumise põhjuseks võib olla nii nende halb tehniline seisund kui ka pinnakatte väike paksus.

Punktallikatest pärineva töenäolise reostuskoormuse jaotus Kingissepa
(1973), Paide ja Rakvere (1974) rajoonis

Reostusallikas	Osatähtsus, %					
	Väljaspool sileerimishooaega			Sileerimishooajal		
	Kingissepa raj.	Paide raj.	Rakvere raj.	Kingissepa raj.	Paide raj.	Rakvere raj.
Loomakasvatus	48,1	59,9	36,5	78,3	87,8	77,0
selest silomahl	—	—	—	58,1	69,6	63,7
virts	43,2	54,7	32,0	18,1	16,6	11,6
tehnol. reovesi	4,9	5,2	4,5	2,1	1,6	1,7
Tööstusettevõtted	42,3	31,3	53,9	17,7	9,5	19,6
selest linnades ja						
alevites	21,3	10,2	22,8	8,9	3,1	8,3
maal	21,0	21,1	31,1	8,8	6,4	11,3
Elanikkond	9,6	8,8	9,6	4,0	2,7	3,4
selest linnades ja						
alevites	5,9	5,4	6,2	2,5	1,6	2,2
maal	3,7	3,4	3,4	1,5	1,1	1,2
Maareostus kokku	72,8	84,4	71,0	88,6	95,3	89,5
Loomakasvatuse eri- reostus, ie/lü	3,5 (1,9—5,2)	3,6 (2,1—5,0)	3,7 (1,2—6,5)	12,0 (4,4—21)	15,5 (2,7—54)	20 (7,5—40)

Saaremaal ilmnes eriti selgesti kaevude reostumise sõltuvus pinnakatte paksusest (analüüsiti 156 kaevu vett):

pinnakatte paksus, m	<5	sealhulgas	<2	>5
kaevusid üldhulgas, %	74		46	26
reostunud kaevu analüüsitude üldhulgas, %	92		56	8

Pinnakatte kaitsev funktsioon on Paide rajoonis esialgseil andmel analoogiline; Rakvere rajoonis on see vähem sedastatav, mis on tingitud nähtavasti piirkonna suuremast karstumusest.

5. Kuidas reostust vältida?

Eespool esitatud reostuskoormuse hinnang ei saa olla täpne, küll aga annab see ettekujutuse reostuskomponentide osakaalust ja seega ka sellest, mida peaks reostuse vähendamiseks või vältimiseks ette võtma.

Siloreostuse vältimisele on juba asutud. Hoidlate projekte parandatakse nii, et osa hoidlast jääb allapoole maapinda ja mahl ei pääse hoidlast välja. Põhjaveele reostusohlikes piirkondades peab hoidla olema veekindel ja mahl tuleb süstemaatiliselt välja vedada.

Farmireostuse vältimiseks on kõige kindlam rakendada sellist tehnoloogiat, mille puhul reovedelike maht viiakse miinimumini ning heitmete desinfitseerimine ja efektiivne põllumajanduslik kasutamine on garanteeritud. Selleks tuleb suurfarmides sõnniku laudast väljaajamise ja sageli plaanipäratu laialivedamise (nii nagu ilm, teed ja põllud lubavad) asemel heitmed töödelda spetsiaalses tsehhis. Enne on aga vaja teha rohkesti uuringuid.

Ka tehnoloogiliste ja tootmisreovete kahjutukstegemine peab arenema sellist teed, mille puhul vees sisalduvad ained utiliseeritakse, vett kasutatakse maksimaalselt suletud ringis ja loodust ei koormata heitproduktidega. Töö selles suunas käib tärklis- ja pärmitööstuses ning on algamas piima töötlevates ettevõtetes (Kirt jt., 1973).

Olmereovee puhastamine ei ole enam suur probleem, sest Eesti NSV-s on välja töötatud ja evitatud mitmed üsnagi efektiivsed puhastusseadmed. Puudu jääb veel kohuse- ja asjatundlikku suhtumist nende ehitamisse, korrashoidu ja majandamisse. Viimast parandab loodetavasti kogu Eestit hõlmav puhastite teenindamise süsteem (koondis «Eesti Põllumajandustehnika»). Kui ka puhastusseadmete ehitamine koondataks ühe organisatsiooni kätte, saaks lahti oskamatuses tingitud ehitusvigadestki. Mõnus rahulolu saavutatuga seiskab progressi, seepärast ei tohi lugeda lõpetatuks tööd puhastite konstruktsiooni kallal; see peab jätkuma nende töökindluse ja efektiivsuse suurendamise suunas.

Põllumajandusreostust saab oluliselt vähendada, kui sellele pöörata vajalikku tähelepanu. Sellekohase tegevuse tähtsust rõhutas oma aruandekõnes NLKP XXV kongressil NLKP Keskkomitee peasekretär L. Brežnev.

KIRJANDUS

Amberger, A. Belastung und Entlastung der Oberflächengewässer durch die Landwirtschaft. — «Landwirtschaftliche Forschung», 1972, Sonderheft 27/1, S. 13—24.

Bardtke, D., Jeserich, D. Einfluss von Abfällen und Ausscheidungen der tierischen Produktion auf Wasser und Gewässer. — «Berichte über Landwirtschaft», 1972, Bd. 50, N 3, S. 666—674.

Berglund, S., Djurberg, L., Hedrén, A. Djurhållningen och vattenvården i jordbruket. — «Meddelande från Jordbrukstekniska Institutet», 1964, nr. 306, 143 s.

Brink, N. Vattenföroreningar från jordbruket. — Praktisk miljökunskap. Vattenmiljön. Stockholm, 1972. S. 354—374.

Henriksson, R. Lantgårdens avloppsvatten. — Statens Forskningsanstalt för Landmannabyggnader. Meddelande, nr 52. Lund, 1961. 64 s.

Kirt, E., Ilus, A., Velter, H., Maastik, A. Kartulitärklise heitveest saab toota väärtuslikku loomasööta. — «Sotsialistlik Põllumajandus», 1973, nr. 20, lk. 942—945.

Kohen, É. La pollution de l'eau de surface d'origine agricole. — «Agriculture», 1970, t. 27, N 1, p. 15—18.

Leuthier, H. Das Abwasser im landwirtschaftlichen Grossbetrieb. Menge und Beschaffenheit. Leipzig, S. Hirzel Verlag, 1968. 138 S.

Loehr, R. Animal wastes — a national problem. — «Journ. Sanit. Eng. Div. Proc. ASCE», 1969, vol. 95, N 2, p. 189—221.

Randolf, R. Kanalisation und Abwasserbehandlung. 3. Auflage. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen, 1973. 470 S.

Surun, J. Les problèmes de l'eau dans les industries agricoles et alimentaires. — «Bull. techn. d'inform. Min. agr.», 1972, N 267, p. 287—311.

Zall, R. Characteristics of milking center waste effluent from NY State dairy farms. — «J. Milk and Food Technology», 1972, vol. 35, N 1, p. 53—55.

Варенди Т., Маастик А. Исследование загрязненности и очистки сточных вод от производства и переработки молока. — Сб. научн. трудов Эст. с.-х. акад., 98. Вопросы мелиорации и водного хозяйства IV. Тарту, 1975, с. 63—71.

Зарубаев Н. В. К вопросу о влиянии удобрений на качество воды в водоприемниках. — Труды Ленгипроводхоза, 3. Охрана водоземельных ресурсов и использование сточных вод в сельском хозяйстве. Л., 1974, с. 76—81.

Маастик А., Тынисберг Э. О водохозяйственных проблемах индустриального животноводства. — Сб. научн. трудов Эст. с.-х. акад., т. 81. Вопросы мелиорации и водного хозяйства III. Тарту, 1972, с. 16—23.

Максимовский Н. С. Концентрация сточных вод свиноферм и их использование. — Экспресс-информация. Сер. 4, вып. 9. М., 1974, с. 17—24.

Мацьковяк Ч. Очистка и сельскохозяйственное использование экскрементов животных в хозяйствах промышленного типа. Реферативный обзор. Центральная сельскохозяйственная библиотека. Варшава, 1973. 110 + 17 с.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ОХРАНА ВОД

А. Маастик

Резюме

Рассматриваются сельскохозяйственные источники загрязнения природных вод, к которым отнесены как непосредственно (животноводческие фермы и пр.), так и косвенно (расположенные в селе предприятия, перерабатывающие сельскохозяйственное сырье) связанные с сельскохозяйственным производством объекты, а также сельские населенные пункты. Описываются характер и степень загрязнения силосным соком, экскрементами животных, технологическими сточными водами ферм, а также от удобрения сельскохозяйственных угодий. На основании полевых исследований приводятся результаты составления баланса вероятной загрязнительной нагрузки по БПК₅ трех преимущественно сельскохозяйственных районов Эстонской ССР. Большая часть этой нагрузки обусловлена силосным соком, затем навозной жижей, сельскими промышленными предприятиями, промышленностью городов и их населением, технологическими сточными водами животноводческих ферм и жителями сельских населенных мест.

AGRICULTURE AND WATER POLLUTION

A. Maastik

Summary

The article deals with agricultural sources of water pollution. The results of estimating the probable pollution balance of three districts in Estonia are given. Field investigations were carried out with the object of determining the role of animal husbandry in the pollution balance.

KARSTI LEVIKU JA KARSTIVEE KEEMILISE KOOSTISE KUJUNEMISE ISEÄRASUSI PANDIVERE KÖRGUSTIKU LÄÄNEOSAS

R. Perens, G. Eltermann

Eesti NSV-s on keskkonnakaitse probleemidest tähtsal kohal maaparandustöödest tingitud põhjaveetaseme alanemine ja põhjavee suurenev reostatus. Seepärast on hüdrogeoloogide uuringud ja prognoosid väga olulised loodusliku keskkonna kasutamise ratsionaalsel ja teaduslikult põhjendatud planeerimisel, aga samuti selle kaitstes (Гидрогеология СССР, 1966).

Lähtudes rahvamajanduse komplekssetest vajadustest ning põhjavee kasutamise ja kaitse aktuaalsetest probleemidest, tehakse praegusajal melioratsioonitarbelsi hüdrogeoloogilisi uurimistöid Pandivere kõrgustikul ja seda ümbritsevail aladel. Seejuures tuleb kõrgustiku piirkonnas erilist tähelepanu osutada seal ulatuslikult levinud karstile, mis võimaldab põhjavee reostumist suuremas ulatuses kui mujal Eestis.

Karsti levik Pandivere kõrgustikul Roosna-Alliku—Kiltsi—Porkuni—Liigvalla vahel näitab, et vett neelavad karstilehtrid puuduvad õhukese pinnakattega aladel ja loopealsetel. Uuritud alal on neid seal, kus kvaternaari setete paksus kõigub 2—12 meetrini. Enamasti on karstilehtrite ümbruses pinnakatte paksus 4—8 m.

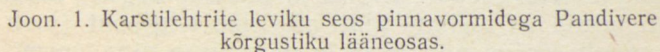
Karstivormide seost pinnavormidega on lühidalt iseloomustatud järgnevalt.

I. Moreentasandiku karst.

Karstilehtrid paiknevad moreentasandikel korrapäratult või on orienteeritud loode—kagu suunas (joon. 1, I ja V).

II. Loopealsetevaheliste piklike ja kitsaste nõgude karst.

Karstivormid on levinud alati piki nõo telgjoont (joon. 1, II). Nad on sageli seotud positiivse ja negatiivse pinnavormi kontaktiga. Langatuslehtrid on kas orienteeritud jooneliselt või on nende levik kaootiline. Jooneline karstilehtrite levik on iseloomulik voojate seljandike ja ooside jalamitele ning loopealsetevahelistele



1 — karst moreentasandikul (Ellivere karstjala); II — karst loopealsetevahelises nōs (Melli karstjala); III — väikeste nõgude ja voolunõvade karst (Ammuta karstjala); IV — positiivsete pinnavormide jalamite karst (Ramma karstjala); V — moreentasandiku karst kaootilise karstilehtreite levikuga (Pikevere karstjala).

1 — turvas; 2 — järvelubi; 3 — saviliiv; 4 — liivsavi; 5 — kruus; 6 — moreen; 7 — kruus, veerised, rahnud; 8 — lubjakivi; 9 — karstilehtre; 10 — astang; 11 — pinnakatte paksus, m; 12 — reljeefi languse suund; 13 — vooajast seljandik.

piklikele nõgudele. Kohati võib jälgida seda ka tasandikel. Karst on enamasti seotud tektooniliste riketega — lõhede, lõhede ristumiskohtade ja lõhevöönditega, kuid kaootilise paigutuse korral ei saa lõhesid markeerida. Kahtlemata jälgib karstivormide jooneline asetus loopealsetevahelisel alal või tasandikul rikkevööndeid ja näitab nende orientatsiooni. Uuritud alale on iseloomulik see, et karstilehtrid markeerivad põhiliselt loode—kagu-suunalisi rikkeid.

II. Väikeste nõgude ja voolunõvade karst.

Tõenäoliselt on väikesed nõod põhiliselt termokarstilise tekkega. Karstivormid asuvad peaaegu eranditult nõgude serval. Voolunõvades ja väikestes nõgudes leidub karstilehtreid sageli (joon. 1, III).

IV. Positiivsete pinnavormide jalamitega seotud karst.

Uuritud alal on positiivseteks pinnavormideks otsamoreenid, piklikud voorjad loode—kagu-suunalised seljandikud ja oosid. Otsamoreenide puhul on karstivormid lokaliseerunud harilikult proksimaalselt, asudes otsamoreeni nõlva jalamil või selle ees nõos. Voorjate pinnavormide korral on karstivormid enamasti jalamiosal, mis on liigestatud termokarstiliste süvenditega või liustiku sulavee voolunõgudega. Sama on iseloomulik ka oosidele (joon. 1, IV).

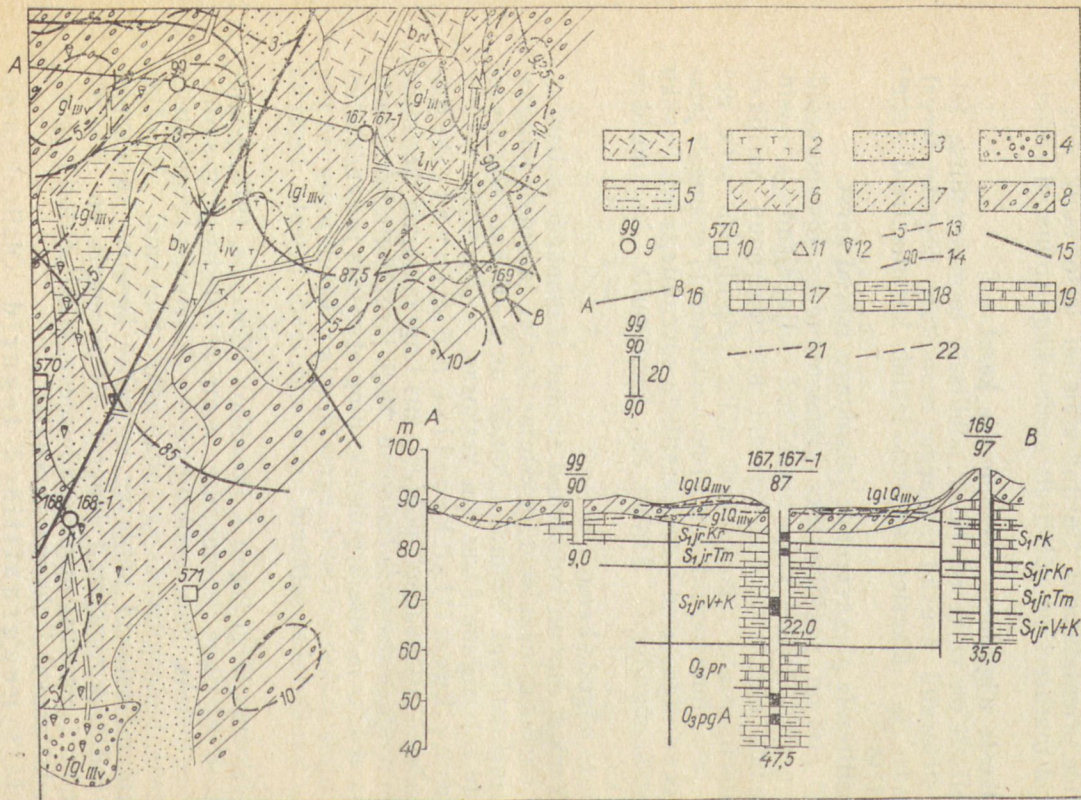
V. Suurte nõgude karst.

Suured nõod, mis on kujunenud surnud jääpankade sulamisel, kujutavad harilikult ovaalseid lohkvorme lainjal, lamedate küngetega moreentasandikul. Nõgude läbimõõt on 2—6 km. Karstivormid asuvad nii nõgude ääres kui keskosas.

Põhjavee keemilist koostist mõjutavate tegurite all mõeldakse tavaliselt põhjusi, mis tingivad tema keemilist koostist muutvate protsesside iseloomu. Mõju järgi liigitatakse need tegurid peamisteks ja teisejärgulisteks ning otsesteks ja kaudseteks. Otsesteks nimetatakse selliseid tegureid, mis vahetult mõjuvad vee koostisele; kaudseteks selliseid, mis mõjuvad otseste tegurite kaudu.

Mõju iseloomu järgi jagab J. Posohhov (Посохов, 1975) põhjavee keemilise koostise kujunemise tegurid füüsilis-geograafilisteks, geoloogilisteks, hüdrogeoloogilisteks, füüsikalisk-keemilisteks, füüsikalisteks, bioloogilisteks ja kunstlikeks. Suuremal või vähemal määral mõjustavad põhjavee keemilise koostise kujunemist uuritaval alal kõik nimetatud tegurid. Detailsemalt on üksikute tegurite mõju iseärasusi uurinud käesoleva artikli autorid Järva-Jaani lähedal asuval Kuksema karstialal.

Füüsilis-geograafilised tegurid. Olulised karstivee keemilise koostise kujunemise tegurid on reljeef ja hüdrograafilise võrgu iseloom. Kuksema karstiala asub äravooluta nõos, mis on soodustanud sademe- ja sulavee infiltreerumist ning karstivormide tekkimist. Kuksema karstialal neelduv vesi on pärit heinamaadelt ja põldudelt ning Järva-Jaani piimakombinaadist.



Joon. 2. Kuksema karstivälja skemaatiline geoloogiline kaart ja läbilõige.

Kaardil: 1 — turvas; 2 — järvekriit; 3 — liiv; 4 — kruus; 5 — saviliiv; 6 — orgaanilist ainet sisaldav saviliiv; 7 — liivsavi; 8 — liivsavi lubjakiviklibuga; 9 — puurauk; 10 — kaev; 11 — allikas; 12 — kurisu; 13 — kvaternaari setete samapakusjoon; 14 — hüdroisohüps; 15 — tektooniline rike; 16 — geoloogilise läbilõike joon.

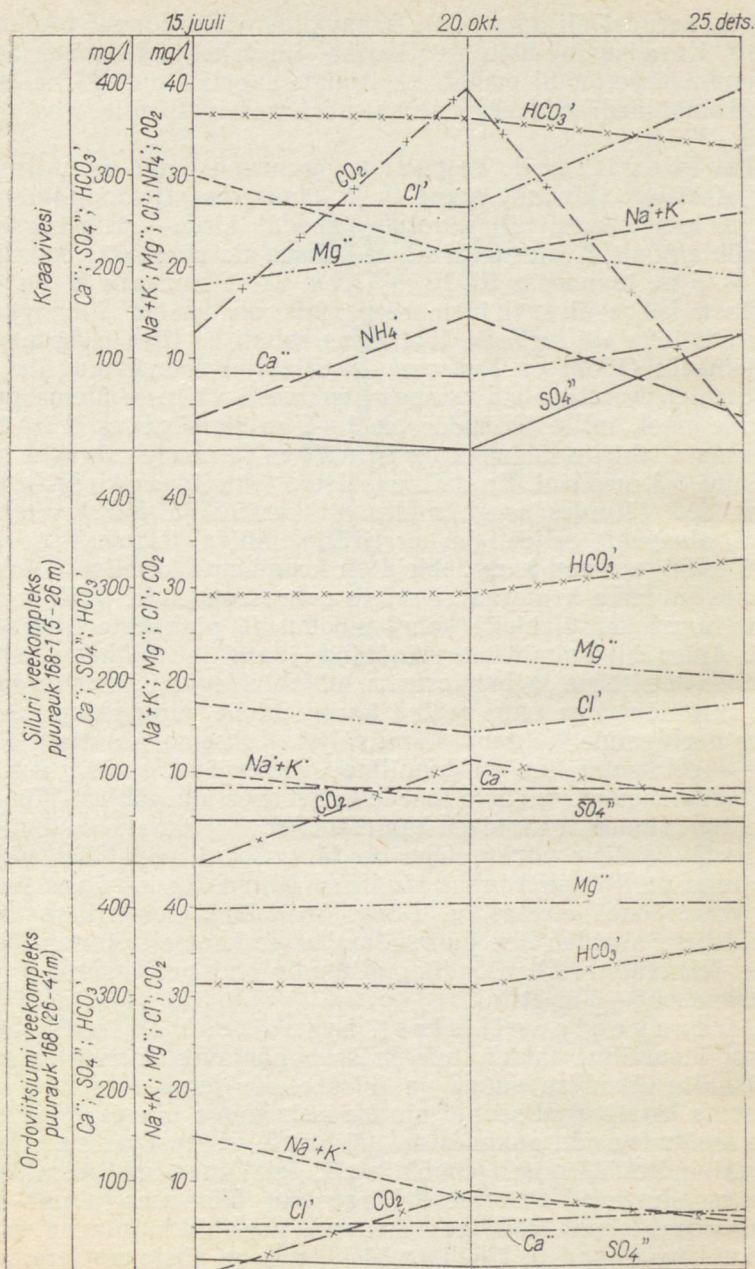
Läbilõikel: 17 — lubjakivi; 18 — savikas ja mergiline lubjakivi; 19 — dolomiit; 20 — puurauk (üleväl: lugejas — puurangu number, nimetajas — absoluutne kõrgus, m; all — puurangu sügavus, m; must intervall — vettkandev kiht); 21 — siluri vettkandva kompleksi piesomeetiline tase; 22 — ordoviitsiumi vettkandva kompleksi piesomeetiline tase.

1975. a. kevadel oli karstialale kraavipidi voolava vee vooluhulk 350 l/s. Kevadsuvine üleujutus kestab siin vahel südasuveni. Suvisel madalveeperioodil voolab karstialale sageli ainult Järva-Jaani piimakombinaadi heitveega reostatud kraavivesi, mille vooluhulk on 15—20 l/s.

Geoloogilised tegurid jagunevad oma mõju iseloomult otsesteks (kivimite koostis) ja kaudseteks (tektooniline ehitus). Kuksema karstiväli kujutab lamedat kirde—edela-suunalist aluspõhja nõgu. Kvaternaari setete paksus ala põhjaosas on valdavalt 3—5 m, lõunaosas 5—10 m (joon. 2). Pinnakatteks on siin enamasti kerge liivsavi ja moreen, mis on kaetud limnoglatsiaalse saviliiva või turbaga, lõunaosas kohati ka liiva ja kruusaga. Ü. Heinsalu (1967) on Kuksema karstiväljal loendanud üle 100 karstilehtri. Karstilehtrid esinevad enamasti väikeste ümmarguste lohkuide näol, mille läbimõõt on 1—5 m ja sügavus 0,5—1 m. Suuremate lehtrite läbimõõt on kuni 70 m ja nende sügavus ulatub kuni 3,3 meetrini. Enamik ovaalseid lehtreid on kirde—edela-suunalised, jälgides seega mattunud karstivälja üldist orientatsiooni, aluspõhja reljeefi ja karstivälja läbiva tektoonilise rikke suunda. Sügavamad karstilehtrid on koondunud karstivälja keskel asuvale suurema kvaternaari setete paksusega alale. Võib arvata, et mattunud karstilehtrite kohal moodustab pinnakate loodusliku filtri. Aluspõhjakivimid on esindatud juuru ja raikküla lademe mudajas-detriitsete ja biomorfsete lubjakividega. Viimastes leiduvate karstilõhedega ongi seotud karstilehtrite kujunemine ja pinna-vee neeldumine Kuksema karstiväljal. Kuksema karstiala läbib kirde—edela-suunaline tektooniline rikkevöönd, mis avaldub arvatavasti samasuunaliste lõhede esinemises aluspõhjas. Viimaste kohal on kujunenud ovaalsed karstilehtrid.

Geofüüsikaliste uuringutega on Järva-Jaani asula lõunaserval puuraugu nr. 169 piirkonnas kindlaks tehtud loode—kagu-suunalise rikkevööndi olemasolu. Peale madalama elektrilise näiv-eritakistuse avaldub see puursüdamiku erakordselt suures lõheliisuses. Nimetatud rikkevööndi amplituud ulatub puuraukude nr. 167 ja 169 vahel 5—6 meetrini.

Hüdrogeoloogilistest teguritest on eriti tähtis hüdrodünaamiline faktor, mis määrab põhjavee horisontaalse ja vertikaalse liikumise suuna ja kiiruse. Kvaternaari setetega on Kuksema karstiväljal seotud ajutise iseloomuga ülavesi. Vooluhulkade mõõtmine puuraukudes on näidanud, et vesi paikneb aluspõhjakivimites äärmiselt ebaühtlaselt, kusjuures vett sisaldavad kihid moodustavad Pandivere kõrgustiku lääneosas ainult 15% siluri-ordoviitsiumi läbilõike paksusest. Veekihid kujutavad endast üksikuid karstunud ja lõhelisi vöösid, mis on üksteisest eraldatud kuni 20 m paksuste veepidemetega. Viimased põhjustavad ka olulisi erinevusi veekihtide veetasemetes ja vähendavad pinnasevee ja ülemiste põhjaveekihtide vee keemilise koostise mõju sügavamate kihtide vee keemilisele koostisele.



Joon. 3. Pinna- ja põhjavees sisalduvate makrokomponentide ajaline muutlikkus Kuksema karstialal.

Siluri ja ordoviitsiumi vettkandvate komplekside vee üldine liikumissuund kajastub ka Kuksema karstiväljal. Siluri vettkandva kompleksi veetaseme absoluutne kõrgus väheneb kirdest edela suunas 92,5 meetrilt kuni 85 meetrini. Ordoviitsiumi vettkandva kompleksi survele põhjavee tase on nii ajas kui ruumis vähem muutlik. Tema plesomeetriline tase on ala lõunaosas aasta ringi üle maapinna ja ulatub suvisel madalveeperioodil peaaegu 5 m siluri vettkandva kompleksi veetasemest kõrgemale.

Füüsikalise-keemiliste tegurite hulka kuuluvad keemiliste elementide omadused, hapendavad-taandavad tingimused, soolade lahustumine, erineva koostisega vete segunemine ja katioonide vahetus.

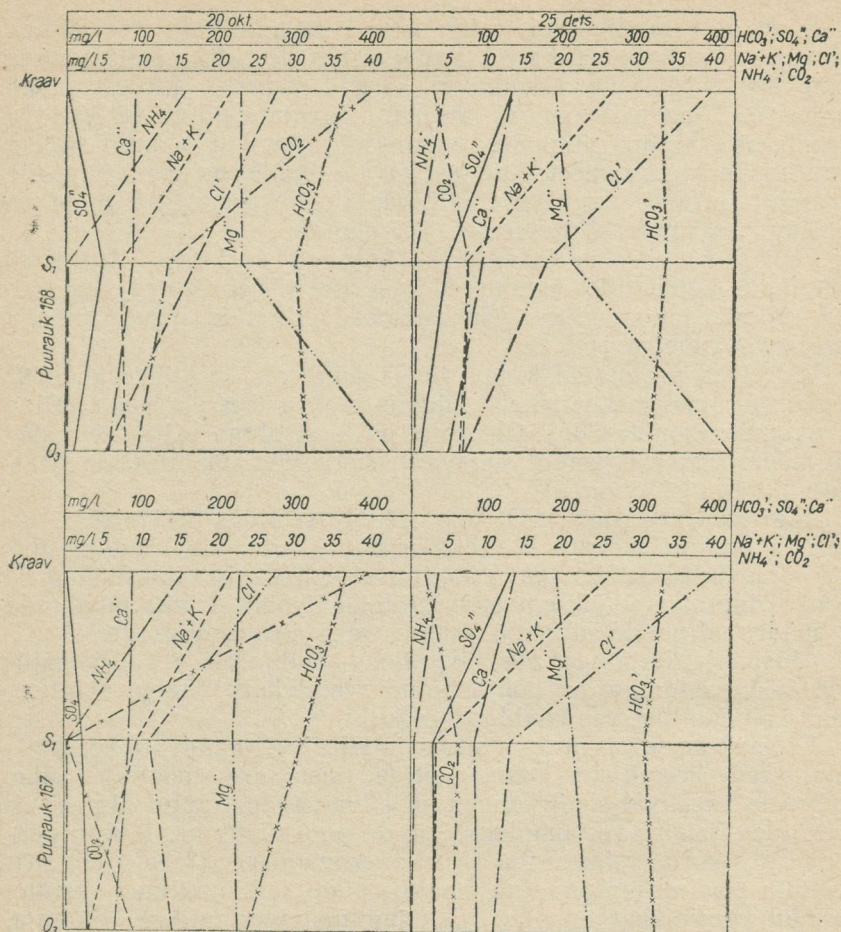
Võrreldes neeldunud kraavivee ja põhjavee keemilise koostise sesoonseid muutusi, ilmneb suhteliselt hea korrelatsioon kõige liikuvamate ionide Na^+ ja Cl^- osas, mille sisaldus põhjavees kor-dab mõnevõrra laugemalt vastavate kraavivee komponentide sisalduse muutumist (joon. 3).

Kuigi ka Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--} ja HCO_3^- -sisaldus kraavivees on eri kuudel olnud üsna kõikum, ei kajastu ionide sisalduse muutused põhjavee koostises (joon. 3). Ilmselt on see tingitud nimetatud ionide tunduvalt väiksemast migratsioonivõimest, mis omakorda on määratud nende suurema valentsuse ja ionraadiusega.

Aluspõhja karbonaatsete kivimite — lubjakivide ja dolomiitide — lahustumine on põhjustanud vesinikkarbonaatse magneesium-kaltsiumilise vee laialdase leviku.

Üldiselt erinevad ordoviitsiumi ja siluri vettkandvate komplekside veed keemiliste komponentide sisalduse poolest vähe. Kuksema karstivälja piirkonnas on silmapaistev erand Mg^{++} -sisaldus ordoviitsiumi veekompleksis, mida puuraugus nr. 168 on peaaegu kaks korda rohkem kui siluri veekompleksis (tabel; joon. 4). Seetõttu vesinikkarbonaatne magneesium-kaltsiumiline veetüüp asendub vesinikkarbonaatse kaltsium-magneesiumilise tüübiga, mis kinnitab A. Verte seisukohti (Bepre, 1965) Eesti NSV põhjavee keemilise koostise kujunemise üldistest seaduspärasustest. Selline muutus võib olla põhjustatud geoloogilises läbilõikes esinevatest dolomiitidest ja dolomiidistunud lubjakividest, mille lahustumisel satub vette hulgaliselt magneesiumioone. Suur tähtsus on tõenäoliselt ka katioonide vahetusprotsessil, mille tulemusena osa vees leiduvaid kaltsiumioone asendub kivimite magneesiumi vahetusiionidega. Toimub põhjavee moondumine.

Mineralisatsiooni ja keemilise tüübi poolest erineb Kuksema karstialal neelduv vesi vähe Järva-Jaani allikate veest, kust ta uuritaval perioodil põhiliselt pärines. Kuid ebameeldiv ammoniaagi ja väävelvesiniku lõhn, valkjashall värvus ja suur ammooniumioonisisaldus osutavad kraavivee ulatuslikule reostatusele. Orgaanilise aine, peamiselt valkude lagunemisest tekkiva NH_4^+ ja vaba CO_2 sisaldus oli selles 1975. aasta oktoobris vastavalt 15,0 ja 39,6 mg/l.



Joon. 4. Pinna- ja põhjavees sisalduvate makrokomponentide levik Kuksema karstialal.

Pinnakatte ja aluspõhjakivimite läbimisel muutub neeldunud vee keemiline koostis. Näiteks väheneb Na⁺-sisaldus 21,1-lt kuni 7,0 ja Ca²⁺-sisaldus 131,5-lt kuni 88,4 milligrammini liitris. Sama ilmneb ka anioonidesisalduse võrdlemisel (joon. 4).

Seaduspärane on samuti hapendatavuse vähenemine. Võrreldes kraavivee hapendatavusega, mis muutub 2,3—9,3 mg O₂/l piirides, on põhjavee hapendatavus (seega ka orgaanilise aine sisaldus) suhteliselt väike (valdavalt 1—2 mg O₂/l), kusjuures hapendatavuse kõikumine, välja arvatud puuraugus nr. 167, ei ületa 1,2 mg O₂/l.

Kuksema karstiaala kraavi- ja põhjavee keemiline koostis

Proovi võt- mise koht	Proovitud intervall	Geoloogiline indeks	Proovi võtmise aeg	Minerali- satsioon, g/l	Katioonid, mg/l				Anioonid mg/l					Üldine karedus, mg- ekv/l	pH	Vaba CO ₂ , mg/l	Hapen- datavus, mg O ₂ /l	Kurlovi valem	
					Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻						
Kuksema kraav	—	—	15. 07. 75	0,07	30,1	4,0	87,4	18,1	27,0	19,3	0	<0,01	366,1	5,85	7,3	13,2	2,3	M _{0,37}	HCO ₃ 84 Ca 61 Mg 21
			20. 10. 75	0,35	20,9	15,0	78,6	22,6	26,6	2,0	0	0	360,0	5,78	6,9	39,6	4,3	M _{0,35}	HCO ₃ 88 Ca 58 Mg 28
			25. 12. 75	0,53	26,1	3,5	131,5	18,7	39,4	129,2	0	<0,01	323,4	8,1	7,8	2,2	9,3	M _{0,53}	HCO ₃ 55 SO ₄ 28 Ca 72
Puurauk nr. 168-1	5—26	S ₁ rk— S ₁ jrV+K	29. 07. 75	0,35	9,9	0	88,4	22,6	17,7	48,1	0	0	292,9	6,27	7,9	0	1,0	M _{0,35}	HCO ₃ 72 Ca 66 Mg 28
			20. 10. 75	0,34	6,9	0	88,4	22,6	14,2	46,5	0	0,15	292,9	6,27	7,4	13,2	1,4	M _{0,34}	HCO ₃ 73 Ca 67 Mg 28
			25. 12. 75	0,35	7,0	0,1	88,4	20,5	17,7	46,1	0	<0,01	329,5	6,20	7,6	6,6	1,2	M _{0,35}	HCO ₃ 79 Ca 69 Mg 28
Puurauk nr. 168	26—46	S ₁ jrV+K— —O ₃ pr	15. 07. 75	0,28	14,9	0	46,3	39,9	5,3	14,0	0	<0,01	317,3	5,59	8,2	0	1,0	M _{0,28}	HCO ₃ 84 Mg 52 Ca 37
			20. 10. 75	0,29	7,8	0	49,1	41,7	5,3	8,0	0	0	311,2	5,88	7,8	8,8	1,3	M _{0,29}	HCO ₃ 82 Mg 55 Ca 39
			25. 12. 75	0,30	6,1	0,1	47,3	41,7	7,1	10,0	0	0	360,0	5,79	7,8	5,5	1,3	M _{0,30}	HCO ₃ 94 Mg 58 Ca 39
Puurauk nr. 167-1	5—22	S ₁ jrKr— —S ₁ jrV+K	25. 07. 75	0,31	6,2	0	79,6	23,2	10,6	31,4	0	0	292,9	5,88	8,0	0	0,6	M _{0,31}	HCO ₃ 78 Ca 65 Mg 31
			20. 10. 75	0,31	9,2	0	78,6	21,4	10,6	27,8	0	0,01	305,1	5,68	7,3	8,8	1,4	M _{0,31}	HCO ₃ 82 Ca 65 Mg 29
			25. 12. 75	0,31	2,9	0,1	78,6	21,2	12,4	27,6	6,0	<0,01	305,1	5,64	7,7	6,6	1,2	M _{0,32}	HCO ₃ 80 Ca 68 Mg 31
Puurauk nr. 167	22,0—47,5	S ₁ jrV+K— —O ₃ pgA	15. 07. 75	0,32	15,2	<0,1	77,0	20,5	12,4	39,1	1,0	<0,01	280,7	5,53	7,7	0	0	M _{0,32}	HCO ₃ 74 Ca 62 Mg 28
			20. 10. 75	0,27	3,2	0,1	64,7	22,7	14,2	30,9	0	0	231,9	5,10	7,8	0	5,1	M _{0,27}	HCO ₃ 72 Ca 62 Mg 36
			25. 12. 75	0,32	8,2	0,1	85,2	23,1	10,6	29,6	0	0,015	317,3	6,15	7,9	5,5	1,0	M _{0,31}	HCO ₃ 81 Ca 68 Mg 31
Kaev nr. 570	3,0—6,5	S ₁ rk	15. 07. 75	0,39	16,3	<0,1	98,6	21,2	17,7	70,8	0	<0,01	280,7	6,66	8,2	—	4,4	M _{0,39}	HCO ₃ 62 Ca 67 Mg 24
			20. 10. 75	0,47	16,8	0	129,7	23,8	21,3	67,1	16,0	0	427,1	8,43	7,3	0	3,8	M _{0,47}	HCO ₃ 76 Ca 71 Mg 21
			25. 12. 75	0,49	12,1	0,1	132,5	22,5	28,4	59,7	0	0,015	445,4	8,46	7,5	8,8	4,0	M _{0,49}	HCO ₃ 78 Ca 74 Mg 21
Kaev nr. 571	5—15	S ₁ rk—S ₁ jrKr	15. 07. 75	0,37	14,7	<0,1	94,6	21,8	14,2	50,6	0	0	335,6	6,51	7,8	2,2	0,7	M _{0,37}	HCO ₃ 77 Ca 66 Mg 25
			20. 10. 75	0,33	15,9	0	94,2	23,8	14,2	45,7	0	0	366,1	6,66	7,5	—	1,4	M _{0,38}	HCO ₃ 82 Ca 64 Mg 27
			25. 12. 75	0,41	4,5	0,1	108,8	24,9	16,0	54,3	0	0	390,5	7,48	7,7	6,6	2,9	M _{0,41}	HCO ₃ 80 Ca 71 Mg 27

Vaba CO₂ suhteliselt suur sisaldus kraavivees põhjustab aluspõhjakiivimite lahustumist, mille tagajärjel omakorda suureneb vesinikkarbonaatiooni sisaldus põhjavees. Nii ulatub HCO₃'-sisaldus enamasti üle 300 mg/l, kaevus nr. 570 isegi kuni 445,4 mg/l (tabel).

Bioloogilistest teguritest on tähtsaimad vees leiduvad mikroorganismid. Oma elutegevuseks vajavad need orgaanilist ainet, mida reostunud kraavivees on küllaldaselt. Suur hulk aeroobseid ja anaeroobseid baktereid elab ka pinnaseveekihtides. Ammonifikaatorid on bakterid, mis produtseerivad ammoniaaki valke sisaldava orgaanilise aine lagundamise teel. Nitrifikaatorid hapendavad ammoniaagi nitritite ja nitraatideni. Denitrifikaatorid lagundavad nitriteid ja nitraate, kusjuures eraldub vaba lämmastik. Millised protsessid on ülekaalus Kuksema karstialal, pole käesoleval ajal päris selge. NH₄' puudumine või suhteliselt väike sisaldus põhjavees võib olla põhjustatud ammoniumiooni hapendumisest bakterite toimel. Ilmselt ei ole see protsess arenenud kuigi kaugele, sest selle lõpp-produkt NO₃' näol enamikus põhjaveeproovides puudub. Tõenäoliselt adsorbeerub kvaternaari setetes ka ammoniumioon. Samuti on teada, et vaatamata NO₃' suurele potentsiaalsele migratsioonivõimele omastavad taimed ta tihti täielikult või ta kaob denitrifikatsiooni tagajärjel.

Kunstlikud tegurid põhjavee keemilise koostise kujunemisel on seotud inimtegevusega, mis Kuksema karstialal seisneb kunstliku hüdrograafilise võrgu loomises. Kunagine Kuksema oja on süvendatud kraaviks, millesse juhitakse ka Järva-Jaani piimakombinaadi heitvesi. Selle negatiivsed tagajärjed avalduvad eelkõige ümberkaudsete madalate šahtkaevude vee keemilises koostises. Nii on pärast heitvee juhtimist karstialale halvenenud Varivere küla lahtiste kaevude vee kvaliteet. Kaevus nr. 570 ületab peaaegu kõikide komponentide sisaldus põhjavee loodusliku fooni, vee üldine karedus aga mõnikord isegi lubatud ülempiiri.

Oluliselt mõjustavad põhjavee keemilise koostise kujunemist maaparandustööd. Sügavate kraavide lõikumisel aluspõhja lõhelistesse karstunud kivimitesse neeldub kohati pinnavesi vahetult aluspõhja veekihtidesse, põhjustades põhjavee kvaliteedi halvenemist. Seepärast on ka Kuksema karstiväljal suuremaid maaparandustöid peetud ebasoovitavaks.

Eeltoodu kokkuvõtteks võib teha mõningad järeldused.

1. Karstilehtrid Pandivere kõrgustiku lääneosas on valdavalt levinud piirkondades, kus kvaternaari setete paksus ületab 3—4 meetrit.

2. Kvaternaari setteid ja aluspõhja pindmisi kihte läbides muutub neeldunud kraavivee koostis märgatavalt, nimelt väheneb tunduvalt kõigi makrokomponentide sisaldus.

3. Ka karstialadel võivad põhjaveekihi olla eraldatud regionaalsete või kohalike veepidemetega, mis avaldavad olulist mõju põhjavee keemilise koostise kujunemisele. Seepärast on Kuksema

karstiväljal neelduvast kraaviveest kõige rohkem mõjutatud lahtised kaevud, mõnevõrra vähem siluri puuraukude vesi, kuna ordoviitsiumi vettkandva kompleksini kraavivee mõju ei ulatu.

4. Et uuritud läbilõikes esinevad pinnasevett neelavad ja tugevalt surveelised veekihid ning siluri ja ordoviitsiumi vettkandvate komplekside vesi erineb keemilise tüübi poolest, siis võib arvata, et tektoonilised rikkevööndid Kuksema karstiväljal erilist mõju põhjavee keemilise koostise kujunemisele ei avalda. Tõenäoliselt on tektoonilise faktori puhul määrav vertikaalsete lõhede avatus.

5. Geoloogilis-hüdrogeoloogiliste tingimuste ning karsti suure mitmekesisuse tõttu on edasistel uuringutel vaja pöörata suuremat tähelepanu karstivee kujunemisele, sest see on suure praktilise tähtsusega põhjavee kaitse seisukohalt.

KIRJANDUS

Heinsalu, U. Karst Eestis. — «Eesti Loodus», 1967, nr. 9, lk. 542—547.

Вепре А. И. Подземные воды Эстонской ССР и условия их формирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-минер. наук. Л.—Таллин, 1965. 35 с.

Гидрогеология СССР. Т. 30. Эстонская ССР. М., 1966. 302 с.

Посохов Е. В. Общая гидрогеохимия. Л., 1975. 208 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРСТА И ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КАРСТОВЫХ ВОД В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПАНДИВЕРЕСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Р. Перенс, Г. Эльтерманн

Резюме

В связи с развитием промышленности и сельского хозяйства среди проблем защиты среды наибольшее значение приобрела все возрастающая загрязненность подземных вод. При этом особое внимание следует уделять развитию карста, который также способствует загрязнению. Распространение карста в западной части Пандивереской возвышенности связано со следующими формами рельефа: 1) с моренными равнинами, 2) продольными и узкими межалъварными ложбинами, 3) мелкими ложбинами и ложбинами стока, 4) подножьями положительных форм рельефа, 5) крупными ложбинами. Мощность четвертичных отложений в районе развития карстовых воронок обычно превышает 3—4 м.

Влияние карста на химический состав подземных вод изучалось авторами на карстовом поле Куксема. Выяснилось, что при инфильтрации через четвертичные отложения и верхние слои

дочетвертичных пород в составе поглощенной воды происходят заметные изменения, которые приводят к значительному уменьшению содержания всех макрокомпонентов. Водоносные слои отделены водоупором, оказывающим значительное влияние на формирование химического состава подземных вод. Поскольку пьезометрические уровни и химический тип воды силурийского и ордовикского водоносных комплексов различны, можно полагать, что тектонические нарушения в пределах карстового поля Куксема не оказывают существенного влияния на формирование химического состава подземных вод. Учитывая разнообразие карстопроявлений, в дальнейшем следует уделять больше внимания изучению формирования химического состава карстовых вод, которое имеет практическое значение для решения вопросов охраны подземных вод.

PECULIARITIES OF THE DISTRIBUTION OF KARST FORMATIONS AND OF THE DEVELOPMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF KARST WATERS IN THE WESTERN PART OF THE PANDIVERE UPLAND

R. Perens, G. Eltermann

Summary

Owing to the intensive development of our industry and agriculture, the increasing pollution of ground water has become one of the most important problems of environment conservation. Here great attention should be paid to karst areas which make it possible for ground waters to be contaminated on an extensive scale. Karst areas in the western part of the Pandivere Upland are connected with the following land formations: 1) moraine plains, 2) narrow oblong depressions between alvars, 3) small hollows and thalwegs, 4) feet of positive land formations, 5) large depressions. The thickness of Quaternary sediments in the areas of karst cavities usually exceeds 3—4 metres.

The influence of the karst on the chemical composition of ground waters was investigated in the Kuksema karst area, where the chemical composition of the surface water engulfed by the karst cavities is changed in filtering through the Quaternary sediments. The ground water horizons are separated by waterproof beds which prevent the penetration of pollution into the deeper water horizons.

NIISUTUSPERIOODI ÄRAVOOLU MÄÄRAMINE EESTI NSV ALLIKALISE TOITUMISEGA JÕGEDEL

K. Arukaevu

Põllukultuuride niisutamisel, samuti kalakasvatustes on sageli otstarbekas kasutada allikalise toitumisega ojasid ja jõgesid. Allikate äravoolurežiim erineb enamasti tunduvalt jõgede režiimist ning sobivat analoogpeeli (analoogilise äravooluga hüdroloogia-vaatlusposti) allikate äravoolu üldistamiseks jõepeelide hulgas tavaliselt ei leidu. Et ka allikate äravoolurežiim on mitmesugune, siis võib uurimata allikalise toitumisega oja või jõe äravoolu määramisel nn. analoogpunkti meetodil saada ebarahuldavaid tulemusi. Esitatavas selgitatakse allikalise toitumisega veejuhtme äravoolu määramist.

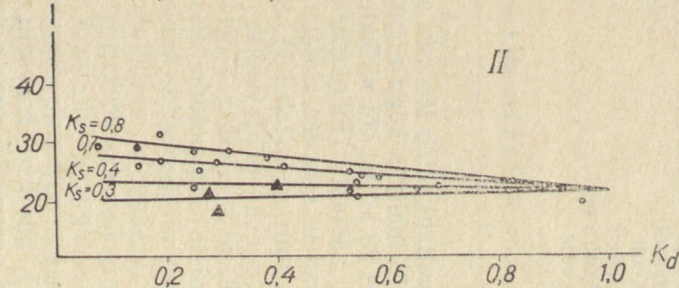
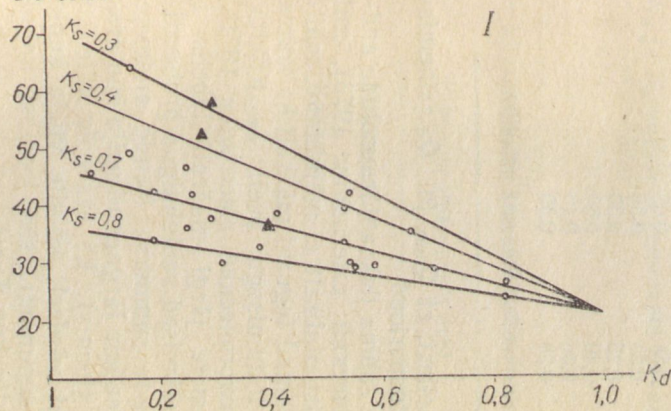
Allikalise veejuhtme äravoolu moodustab, eriti kevadise suurvee ajal, peale põhjavee ka pinnavesi. Pinna- ja põhjavee hulk ja suhe olenevad nii veejuhtme arvutuslävendi topograafilise valgla kui ka põhjavee valgla suurusest ning nende füüsilis-geograafilisest ja geoloogilisest ehitusest. Kevadise suurvee alanemise aegsete hüdrograafide põhjal saab väita, et nõrga põhjaveelise toitumise korral voolab põhiline osa pinnaveest kevadise suurvee ajal ära umbes ühe kuu jooksul pärast suurvee maksimumi. Seega võib allikalise veejuhtme pinnavee osatähtsust kevadise suurvee äravoolus iseloomustada teguriga $K_s = \frac{Q_s}{Q_{\max}}$,

kus $Q_{\max}$ on allikalise veejuhtme suurveeaegne maksimaalne dekaadikeskmise vooluhulk;

Q_s — allikalise veejuhtme vooluhulk (dekaadikeskmise), mis on määratud üks kuu pärast maksimumvooluhulga esinemist.

Allikate toiteveevaru peegeldab äravoolu vähenemise intensiivsus Q_s esinemisajale järgnenud perioodil. Selle iseloomustajaks võiks olla tegur $K_d = \frac{Q_d}{Q_s}$, kus Q_d on allikalise veejuhtme dekaadikeskmise vooluhulk neli kuud pärast suurveevalli tippu

% kevadsuve
äravoolust



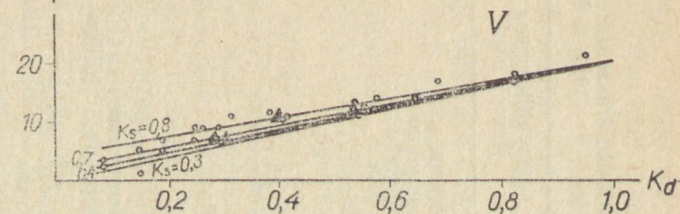
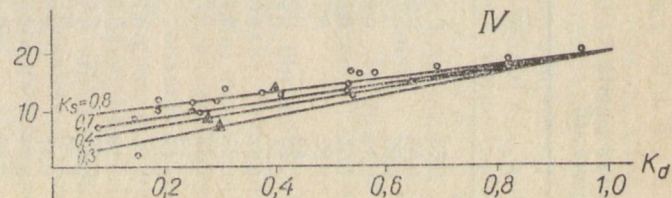
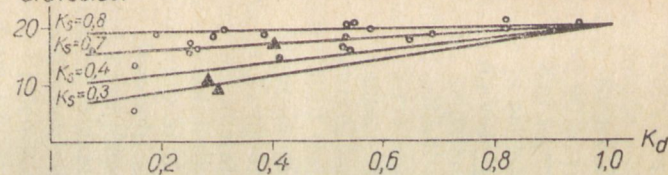
○ 1 ▲ 2

Kevadsuvekuude äravoolu sõltuvus teguritest K_d ja K_s
allikalise toitega veejuhtmetel.

I — allikad; 2 — jõepeelid.

I — kevadise suurvee kuu; II — 1. kuu pärast kevadist suurvett; III — 2. kuu pärast kevadist suurvett; IV — 3. kuu pärast kevadist suurvett; V — 4. kuu pärast kevadist suurvett.

% kevadsuve
äravoolust



Tabel 1

Allikalist äravoolu iseloomustavad tegurid K_d ja K_s
1971. a. äravoolu andmeil

Allika, allikarühma või jõepeeli nimi	K_d	K_s
Rummu	0,53	0,45
Lossialune	0,58	0,60
Väljaalune	0,65	0,45
Värvi	0,31	0,80
Sopa	0,95	0,70
Võllingu	0,82	0,75
Lavi	0,82	0,85
Luiga	0,15	0,55
Külmaveski	0,53	0,60
Sigalehte	0,26	0,70
Mõdriku	0,38	0,75
Vetiku	0,19	0,85
Aravete	0,15	0,30
Tammsaare II	0,29	0,70
Tammsaare I	0,19	0,60
Aegviidu-Siniallikas	0,25	0,65
Purila	0,08	0,60
Roosna-Alliku	0,41	0,60
Korba	0,54	0,40
Vodja	0,69	0,70
Prandi	0,54	0,65
Kooli	0,55	0,80
Räägu	0,25	0,30
Kükita peel	0,40	0,60
Vodja „	0,30	0,45
Sämi „	0,28	0,30

($Q_{\max}$). Q_d valikul tuleb lähtuda sellest, et $Q_{\max}$ ja Q_d esinemis-
aegade vahele mahuks kogu niisutusperiood.

Kasutades 23 allika või allikate rühma dekaadiäravoolude and-
meid 1971. aastast (Гидрологический ежегодник 1973), mil
sademed kevadise suurvee alanemist oluliselt ei mõjutanud, mää-
rati K_d ja K_s suurused (tabel 1). Samad tegurid määrati ka kolme
suhteliselt tugeva põhjaveelise toitumisega peeli — Kükita,
Vodja ja Sämi — kohta (Гидрологический ежегодник 1971).

Kuukeskmiste äravoolude andmete järgi määrati tabelis 1
toodud allikate või jõepeelide kuukeskmised vooluhulgad protsenti-
des viie kuu keskmiste vooluhulkade summast. Nende andmete
alusel leiti kevadise suurveeku ja sellele järgnenud nelja kuu ära-
voolu sõltuvus teguritest K_d ja K_s (joonis). Et äravoolu täieliku
reguleerimise korral jaotub äravool võrdselt kõigile viiele kuule
(iga kuu 20% viie kuu äravoolu summast), siis joonisel antud
seoste sirged peavad lõikuma punktis, kus $K_d=1$.

Tabelis 1 toodud allikatest on 18 allika (mille $K_d \geq 0,20$) kuu-äravoolude keskmine relatiivne hälve joonisel toodud seosest $\pm 6\%$. Suurveekuul ja sellele järgnenud kuul on maksimaalsed hälbed 90% juhtudel kuni 10% ja ülejäänud kolmel kuul kuni 15%. Kui teguri K_d väärtus on alla 0,20, siis on allika toiteveevaru väike ja selliste allikate äravoolu võib määrata jões asuva sama K_s ja K_d väärtusega tugipeeli järgi.

Et selgitada tegurite K_d ja K_s muutumist aja jooksul, määrati mõnel allikal nad erinevate aastate kohta. Lähteandmetena kasutati kirjandusandmeid (Ресурсы..., 1972; Гидрологический ежегодник 1973). Selgus, et K_d suuruste erinevused ei ole siis suured, kui suvine allikaline äravool ei ole vihmadest oluliselt mõjutatud (tabel 2).

Hüdroloogiliselt uurimata allikate korral piisab parameetrite K_d ja K_s määramiseks vooluhulkade mõõtmisest kahel-kolmel niisugusel aastal, millal suurvee alanemise ajal olulisi sademeid ei ole. Vooluhulka tuleks mõõta allika kevadise maksimumäravoolu ajal ning 3. ja 12. dekaadil pärast suurveevalli tippu.

Äravoolu analoogsu uurimata allikalise veejuhtme ja uuritud allika või jõepeeli lävendites tuleks kindlaks teha tegurite K_d ja K_s suuruse alusel. Kui allika vooluhulki mõõdeti suhteliselt veerikkal kevadsuvel, siis allikalise äravoolu määramiseks veevaesel kevadsuvel tuleb kasutada uuritud analoogallika (mille K_d ja K_s väärtused on ligilähedased uuritava allika vastavatele parameetritele) K_d ja K_s väärtusi veevaesel kevadel.

Tabel 2

Allikalist äravoolu iseloomustavad tegurid K_d ja K_s eri aastatel

Allika või allikarühma nimi	Aasta	K_d	K_s
Järniku	1965	0,69	0,85
"	1968	0,61	0,65
Väljaalune	1966	0,52	0,55
"	1968	0,64	0,70
"	1971	0,65	0,45
Luiga	1959	0,15	0,90
"	1967	0,14	0,80
"	1971	0,15	0,55
Ulvi	1959	0,25	0,85
"	1963	0,31	0,40
"	1967	0,23	0,95
Külmaveski	1959	0,67	0,85
"	1967	0,62	0,55
"	1971	0,53	0,60
Kooli	1967	0,48	0,75
"	1968	0,48	0,85
"	1971	0,55	0,80

Гидрологический ежегодник 1971. Том 1. Вып. 0—3. Л., 1973. 420 с.

Гидрологический ежегодник 1973. Том 1. Вып. 0—3. Л., 1975. 412 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 4. Вып. 1. Эстония. Л., 1972. 554 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ВОДОТОКОВ РОДНИКОВОГО ПИТАНИЯ В ПЕРИОД ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭСТОНСКОЙ ССР

К. Арукаеву

Резюме

Гидрограф стока родника в период орошения можно охарактеризовать двумя коэффициентами:

$$K_s = \frac{Q_s}{Q_{\text{макс.}}} \quad \text{и} \quad K_d = \frac{Q_d}{Q_s},$$

где $Q_{\text{макс.}}$ — максимальный среднедекадный расход воды во время весеннего половодья,

Q_s — среднедекадный расход воды, определенный через один месяц после прохождения $Q_{\text{макс.}}$,

Q_d — среднедекадный расход воды, определенный через четыре месяца после прохождения $Q_{\text{макс.}}$.

Коэффициент K_s характеризует величину поверхностного стока во время весеннего половодья, а коэффициент K_d — запасы грунтовых вод, питающих родник.

Используя данные 23 родников, на рисунке приведена связь стока за весенне-летний период по месяцам (в процентах от суммарного стока за пять месяцев) с коэффициентами K_s и K_d .

Среднее относительное отклонение стока от приведенной на рисунке связи при $K_d \geq 0,2$ равно $\pm 6\%$.

DETERMINATION OF THE DISCHARGE OF THE RIVERS FED BY SPRINGS IN THE ESTONIAN S. S. R. DURING THE IRRIGATION PERIOD

K. Arukaevu

Summary

The hydrograph of the outflow of a spring during the irrigation period can be characterized by two factors:

$$K_s = \frac{Q_s}{Q_{\max}} \quad \text{and} \quad K_d = \frac{Q_d}{Q_s},$$

where $Q_{\max}$ indicates the maximum average outflow of a ten-day period during the spring flood;

Q_s stands for the average outflow of a ten-day period a month after the maximum runoff;

Q_d represents the average outflow of a ten-day period four months after the maximum runoff.

Factor K_s characterizes the role of surface runoff of the spring flood water of a spring and factor K_d shows the influx reserve of the spring.

On the basis of data on the runoff of 23 springs, the relation between the distribution of the outflow of the springs during the spring and summer months (in percentages of the total runoff of five months) and the factors K_s and K_d have been calculated.

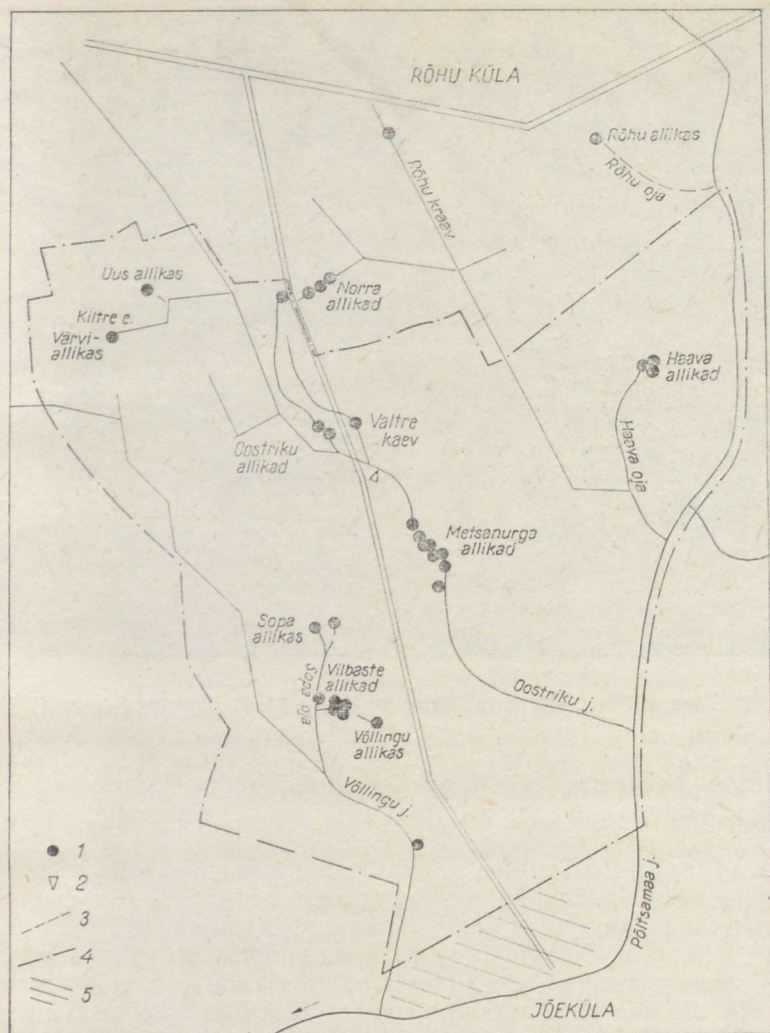
The average relative deviation of the runoff from the relation presented in the Figure (in cases where $K_d \geq 0.2$) is ± 6 per cent.

NORRA KARSTIALLIKATE PIIRKOND — PERSPEKTIIVNE LOODUSKAITSEALA

Ü. Heinsalu, A. Kuptsov

Põhja-Eesti karstivaldkond on väga rikas väikeste allikate poolest. Mittetäielikel andmeil leidub siin üle viie tuhande lõhe-karstiveega seotud allika, millest maksimaalse vooluhulgaga üle 10 l/s on vaid mõni protsent. Karstiallikaid vooluhulgaga 100—1000 l/s, s. o. G. Maksimovitši (Максимович, 1963) klassifikatsiooni järgi väga suuri, on Põhja-Eestis vaid mõnikümmend. Neist suurem osa asub Pandivere kõrgustiku nõlvadel, moodustades siin koos paljude vähemate allikatega vööndi, mis paikneb kõrgustiku laest 30—60 m madalamal, 70—100 m üle merepinna. Pandivere karstiallikate vööndist saab alguse hulk jõgesid (Eipre, 1967).

Pandivere kõrgustiku põhjaveega seotud nõlvaallikatest toituvate jõgede tähtsus on Eesti veeprobleemide seisukohalt väga suur. Seetõttu on Pandivere allikaid ja teisi karstinähtusi pikemat aega uurinud geoloogid, hüdrogeoloogid, hüdroloogid, bioloogid ja teised teadlased (Vilbaste, 1936; Каск, 1963; Валлер, 1966; Heinsalu, 1967 a, b; Песуры..., 1972; Тимм, Järvekülge, 1975). On selgunud, et väga suuri allikaid leidub kõigil kõrgustiku nõlvadel ning et nad paiknevad enamasti rühmiti, moodustades allikate alasid mõne kuni mõnekümne allikaga ja allikate frondi pikkusega kuni 0,5 km. Lähestikku asuvate allikate alad moodustavad omakorda allikate piirkonna. Kõige suurem ja huvitavam allikate piirkond Pandivere kõrgustikul on Norra allikate piirkond pindalaga ligikaudu 30 km² (joon. 1). See asub soostunud tasandikul kõrgustiku laugel lõuna-nõlval Koeru metskonna maadel ning nende ja Udeva sovhoosi maade piiril. Enamik piirkonnast on metsa all. Siin on rohkesti mitmesuguse režiimi ja toitumisega allikaid, allikaojasid ja -jõgesid, millest osa kuulub Eesti kõige veerikkamate hulka. Enamik neist ei ole inimtegevuse mõjul oluliselt muutunud. Metsakuiven-dust on allikate piirkonnas küll juba tehtud, kuid allikate ümbrus on põhiliselt jäänud looduslikku seisundisse. Jõed ja ojad on enamasti süvendamata ja puhta veega. Inimasustus on väga hõre,



Joon. 1. Norra piirkonna allikate ja allikajõgede skemaatiline kaart.

1 — allikas; 2 — hüdroloogiline vaatluspost; 3 — ajutine oja; 4 — soovitatav looduskaitseala piir; 5 — kalakasvatuseks sobiv koht.

kunagised põllu- ja heinamaalapid on juba osalt metsastunud või metsastumas.

Lähtudes Norra piirkonna allikate, allikaojade ja -jõgede erilistest teaduslikust väärtusest, nende loodusliku ilme, vooluhulga, hüdrokeemilise režiimi säilitamise ning nende pikaajalise ja võimalikult mitmekülgse uurimise vajadusest, tegi Eesti NSV



Joon. 2. Rummallikas Norra allikate piirkonnast. *U. Heinsalu foto.*

Teaduste Akadeemia Looduskaitse Komisjon 1975. aastal ettepaneku asutada siin riiklik looduskaitseala. Kaitseala eesmärk oleks

1) säilitada looduslikus seisundis keskkonna ja selle muutuste uurimise ning looduslike veeressursside prognoosimise huvides, aga samuti kalamajanduslikul ja õppeotstarbel kõik Norra piirkonna allikad, allikaojad ja -jões koos nende ümbruskonnaga;

2) demonstreerida veekaitse ja kalamajanduse huvide ühtsust, sest allikate piirkonnast lõuna poole Jõekülla tuleb rajamisele Eesti NSV Kalamajanduse Valitsuse tiigimajand, mis hakkab kasutama Völlingu jõe, hiljem aga ka teiste lähedaste allikajõgede vett.

Kaitseala oleks ühtlasi jõeforelli ning metsloomade ja veelindude reservaat.

1975. aasta juulis uurisid artikli autorid üksikasjalikult Norra allikate piirkonna hüdrograafiat ning allikate levikut ja iseärasusi. Selgus, et siin paikneb 11 mitmesuguse suurusega allikaterühma, mis toidavad nelja Põltsamaa jõe parempoolset lisajõge ning Rõhu peakraavi. Nende maaapealsete valglate pindala on kokku 62 km²; maa-alused valglad ei ole praegu veel määratavad andmete vähesuse tõttu.

Viimastel aastakümnetel on Norra allikate piirkonnast põhja ja loode pool tehtud ulatuslikke kuivendustöid, mistõttu Oostriku ja Völlingu jõgi saavad osa vett hüdrograafilisest tehisvõrgust.

Vaadeldava territooriumi võib jagada viieks vesikonnaks, millest neli on looduslikud, üks aga tehisvesikond. Järgnevalt on allikaid, allikaojasid ja -jõesid käsitletud nende vesikondade järgi.

1. Rõhu oja vesikond. Rõhu külast lääne pool, Udeva—Preedi maanteest paremal, on 20—40 m laiune ja 1 m sügavune rohtunud põhjaga nõgu. Kevaditi on selles ajutisi allikaid, mis täidavad nõo veega ning annavad alguse Rõhu oja. Suvel jääb oja kuivaks, kuid nõo keskelt, kus on kõige sügavam, vesi ei kao. Ojasäng kulgeb mööda sootasantikku, on 2—4 m lai ja selles võib kevaditi voolata mõnisada liitrit vett sekundis. Rõhu allikad muutusid ajutisteks arvatavasti pärast kuivendustöid, mis tehti neist põhja ja kirde pool.

2. Haava oja vesikond. Haava oja looduslik säng saab alguse samanimeliselt allikate alalt, mis asub Nahkanuia külast lõuna pool sootasantikul. Oja algusse suubub kraav, mis suvel on kuiv. Siin on kolm tõusuallikat, mis asuvad üksteisest 10—20 m kaugusel. Neist esimene paikneb keset ojasängi allikalehtris, mille läbimõõt on kuni 1 m ja sügavus 0,6 m. Teine allikas on ilusas allikajärvekeses, nn. Rummallikas, mis asub Haava oja kõrval ning on 8 m lai ja 1,2 m sügav (joon. 2). Kolmas allikas on 3 m kaugusel Haava ojast ja tema omapära seisneb selles, et vesi voolab maapinnale vertikaalset lõõri pidi, mille laius on 0,3 m ja sügavus 1 m. Kaks meetrit kirde pool on veel teine niisama lai, kuid 2,3 m sügav veega täidetud lõõr, millest vett vahetult maapinnale ei voolanud. Allikalõõrid on turba sees ja asuvad nähtavasti kirde—edela-suunalise karstunud lõhe kohal. Esimesest lõõrist tuli uurimise ajal vett 7 l/s (temperatuur 5,4°) ja see moodustas kiirevoolulise ojakese.

Haava oja kesk- ja alamjooksult allikaid ei ole teada, kuid kindlasti neid leidub, sest ülemjooksu allikate vooluhulk oli 23. juulil 1975 25 l/s, suudme lähedal aga 43 l/s.

3. Rõhu magistraalkraavi vesikond. Magistraalkraavi sügavus on kuni 2,5 m ja tema harukraavid ulatuvad kohati aluspõhja sisse ning drenivad põhjavett ulatuslikult alalt. Suvel on vesikonna üks veerikkamaid kohti Norra pargi lähedal. Siinses kraavis, mis algab Norra allikajärvest vaid mõnikümmend meetrit ida pool, on 20 väikest allikat summaarse deebitiga 10 l/s (23. juulil 1975). Vesikonna põhjapoolne osa andis samal ajal 13 l/s vett, millest peamine hulk tuli ühest tõusuallikast, mis asub 0,5 km Udeva—Preedi maanteest lõuna pool magistraalkraavi põhjas. Siin on tekkinud allikalehter läbimõõduga 2—3 m ja sügavusega 0,5 m.

Rõhu magistraalkraavis on allikaid arvatavasti rohkesti. Enne kraavi suubumist Oostriku jõkke oli tema vooluhulk 63 l/s (23. juulil 1975).



Joon. 3. Norra allikajärv — Oostriku jõe algus. *Ü. Heinsalu foto.*

4. Oostriku jõe vesikond. Oostriku jõe looduslik säng algab Norra allikajärvekesest, mis asub 18. sajandil rajatud Norra mõisa pargis (Hermann, 1976). Siin on olnud ka vesiveski. Jõe tehisvesikond kuivenduskraavide näol ulatub Norra pargist veel mitu kilomeetrit loode poole. Nimetatud järveke on paepõh-jaga, läbimõõt on 40–60 m ja sügavus kuni 1 m (joon. 3). Allikad selle põhjas on väikesed, kuid arvukad ja muutliku deebitiga. Väljavool järvest on harva üle 100 l/s. 22. juulil 1975 oli allikate deebit 26 l/s, temperatuur 7,4°.

Norra pargist lõuna pool on Oostriku jõgi väga allikaterikas, mistõttu vooluhulk järjest suureneb. Siin paikneb kaks suurt allikateala — Oostriku ja Metsanurga.

Oostriku allikatealal on kõige tähelepanuväärsem nn. Oostriku Suurallikas, mis asub Udeva—Jõeküla teest lääne pool, paarsada meetrit enne Oostriku silda (joon. 4). Siin näeme 4–5 m laiust ja 1–2 m sügavust tõusuallika lehtrit, millega algab Oostriku jõkke suubuv kuni 15 m laiune ja 300 m pikkune allikaoja. Suurallika lähedal on oja paesel põhjal veel teisigi allikalehtreid; neid leidub ka oja kõrval. Oostriku allikaoja on isegi sademetevaesel ajal väga veerikas; 24. juulil 1975 oli tema deebit 130 l/s. Oja suubub Udeva—Jõeküla teest lääne pool silla lähedal Oostriku jõkke. Siit sadakond meetrit allpool on jõel Eesti NSV Hüdrometeoroloogia-

teenistuse Valitsuse statsionaarne lävend, kus alates 1. augustist 1970 tehakse veerežiimi vaatlusi.

Üks Oostriku allikateala allikatest, nn. Valtre kaev, mis asub Oostriku Suurallika kõrval teisel pool maanteed, olevat tekkinud käesoleva sajandi algul kraavi kaevamisel. Allikat on hiljem kasutatud piima jahutamiseks. 1975. a. juuliekspeditsiooni ajal andis ta vett 4 l/s.

Metsanurga allikateala Oostriku jõel on suurim vädeldavas piirkonnas. Ta algab Oostriku sillast (Udeva—Jõeküla teel) ligikaudu 1,3 km kaugusel allavoolu ning koosneb kaheksast lehtrikujulisest allikajärvekesest ning mitmest väikesest allikast, mis paiknevad mõlemal pool jõge umbes 300 m ulatuses. Allikajärvekesed ei ole suured, kuid ilusad ja huvitavad. Kujult on nad lehtrivõi liuasarnased, lähimõõt on 5—15 m ja sügavus 1,5—2,5 m. Iga allikajärvekesel põhjas on 1—3 tõusuallikat, mille kohal liiv ja muda nõrgalt keeb. Mõne järvekesel põhjas on näha ka kitsas lehtritao-lise suudmega allikalõõr. Allikate deebit ulatus 1975. a. juulis mõne liitrini sekundis ja vee temperatuur oli 6—6,6°.

Metsanurga allikateala loodeosas paikneb Oostriku jõe vasa-kul kaldal üks väike allikalehter, mille vesi on väävelvesiniku



Joon. 4. Oostriku Suurallikas, mis on üks veerikkamaid Norra piirkonnas.
Ü. Heinsalu foto.



Joon. 5. Kiltre e. Värvi allikas Norra piirkonnast, mille vesi sisaldab rohkesti polümetalle. Ü. Heinsalu foto.

lõhnaga. Lehtri pinnal ujub paks kiht roostepruuni pudrusarnast, arvatavasti peamiselt vetikatest koosnevat massi. Allika deebit oli 23. juulil 1975 alla 0,2 l/s.

Oostriku jõe vooluhulk suurenes Udeva—Jõeküla tee sillast kuni suudmeni 90 liitri võrra sekundis, millest Metsanurga allikad andsid vähemalt 40—45 l/s (24. juulil 1975).

Oostriku silla juures suubuvad Oostriku jõkke kaks kraavi, mis kulgevad enam-vähem paralleelselt jõega. Neist vasakpoolne, mille vooluhulk enne Valtre allikat oli 14 l/s (22. juulil 1975), algab allikatest, mille asukohad jäid määramata. Parempoolne kraav, mille vooluhulk suudmes oli 48 l/s, algab Udeva lähedalt. See kraav saab suvel oma vee peamiselt Udeva ümbruskonna allikatest ja Kiltre e. Värvi allikast.

Kiltre tõusuallikas asub umbes 2 km Norra pargist lääne pool metsakuivenduskraavi kõrval. Allika lehtri läbimõõt on siin 3—4 m ja sügavus kuni 0,9 m (joon. 5). Pinnakatteks allika ümbruses on turvas, mille all on moreen. Allikat on hüütud Värvi allikaks nähtavasti sellepärast, et turvas selle ümbruses sisaldab rohkesti ookrit. Allikast algavale ojale on ehitatud lävend deebiti mõõtmiseks; 23. juulil 1975 oli see 17 l/s ja vee temperatuur 5,4°.

Kiltre allikas on unikaalne kogu Baltimaadel. 1959. aastal avastasid geoloogid V. Puura ja Marie Petersell, et selle vesi sisaldab



Joon. 6. Völlingu allikas Norra piirkonnast on üks Eesti veerikkamaid.
Ü. Heinsalu foto.

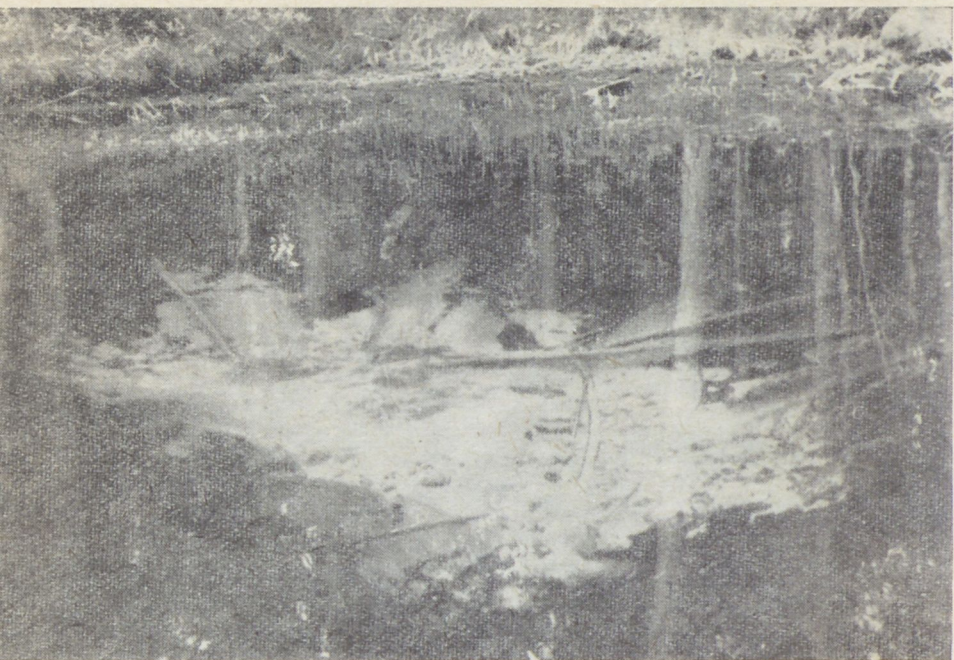
ebatavaliselt suurel hulgal polümetallilistes maakides leiduvaid elemente. B. Sudovi ja K. Tibari järgi on allika vees pliid, tsinki ja molübdeeni kuni 300, vaske kuni 100 ja arseeni kuni 0,5 mikrogrammi liitris. Ka turvas allika ümbruses ja kraavide muda kuni 2,5 km ulatuses allavoolu on nendest rikastunud (Гончаров, Пуура, Судов, 1963; Судов, Тибар, 1974 a).

Kiltre allikast umbes 600 m kirde pool asub ajutine Uus allikas, mille vesi ja muda on samuti nimetatud värviliste metallide poolest väga rikas.

Plii-, tsingi- ja vasesisaldusest tingitud hüdrogeokeemilisi anomaaliaid on Norra allikate piirkonnas veel teisigi, kuid need on nagu mujalgi Eestis palju kordi nõrgemad kui kahes mainitud kohas.

Kiltre allika geoloogilist ehitust on mitmekülgsest uuritud, et lokaliseerida hüdrogeokeemilist anomaaliat põhjustav polümetallilise maagi leiukoht aluspõhjas. Senini on õnnestunud kindlaks teha, et leiukoht peaks asuma allikast 0,6—1,6 km loode pool. Edasiste uuringutega kavatsetakse selgitada leiukoha piire ja tähtsust lähemalt (Судов, Тибар, 1974 b).

Hüdrogeokeemilised anomaaliad põhjustavad biogeokeemilisi anomaaliaid, mis pakuvad samuti suurt teaduslikku huvi. B. Sudovi



Joon. 7. Vilbaste Siniallikas Völlingu jõe põhjas. *Ü. Heinsalu foto.*

andmeil leidub Kiltre allika ümbruses kaselehtedes pliid kuni 0,01% ja vaske 0,002%, s. o. vastavalt 10–20 ja 2–4 korda rohkem kui tavaliselt.

5. Völlingu jõe vesikond. Völlingu jõgi algab samanimelise allikaga, mis on üks suuremaid Eestis. Selle deebit oli 24. juulil 1975 220 l/s, temperatuur 5,8°.

Völlingu allikas asub laugel soostunud nõlval ja kujutab endast 10–15 m laiust langeallikat. Lõhe-karstiveed voolavad siin maapinnale umbes 300 m² suurusel alal paljudest lõhedest, mis moodustavad tiheda võrgu jõe paeses põhjas. Juba mõne meetri kaugusel algusest on jõgi 10–20 cm sügav ja kiirevooluline (joon. 6).

Umbes 300 m Völlingu allikast allavoolu on suurte ja toredate tõusuallikate rühm, milledest üks on jõe põhjas, kolm aga jõest põhja pool. Nende vooluhulk oli 25. juulil 1975 130 l/s ja temperatuur 5,8–6,4°. Teeme ettepaneku nimetada see rühm Eesti teeneka allikateuurija Gustav Vilbaste nime järgi Vilbaste allikaiks.

Vilbaste allikaist nähtavasti kõige suurem on jõe põhjas. Selle kohal on 10 m laiune ja 3,15 m sügavune allikalehter, mille nõlvad on kaetud turbamullaga, põhjas aga valendab liiv (joon. 7). Põhja-



Joon. 8. Vilbaste allikajärveke Norra piirkonnas. Ü. Heinsalu foto.

vee vool ülesse on siin nii tugev, et jõe põhjas vesi «keeb», moodustades liivapilve läbimõõduga kuni 1 m. Valge põhja taustal näib allikavesi sinakana, mistõttu kirjeldatud allikat võiks nimetada ka Vilbaste Siniallikaks.

Jõe kõrval olevad allikad on kahe allikalehtri liitumisest tekkinud järvekeses, mille laius on kuni 30 m ja sügavus 2,2–2,4 m (joon. 8).

Sadakond meetrit Vilbaste allikaist lääne pool suubub Völlingu jõkke paremalt poolt Sopa oja, mis saab alguse Sopa allikast. See allikas asub metsas ja on eriti tähelepanuväärne sügavuse poolest, mis ulatub 4,8 meetrini. Sopa allikas on sügavaim Eestis. Allika kohal on 3–6-meetrise läbimõõduga omapärane järsunõlvaline veega täidetud lehter, millest voolab välja oja. Allikalehtri nõlvade ülemises osas paljandub turvas, mille paksus on ligikaudu 3 m; alumine osa on 0,5 m ulatuses liiva- ja moreenikihtides. Lehtri kõige sügavam osa on arvatavasti karstilõhe. Allikas leidub rohkesti kõdunenud puutüvesid, mis on kaldalt sisse langenud. Meie 1975. a. juuliekspeditsiooni ajal oli allika deebit 37 l/s ja temperatuur 6°.

Sopa oja vooluhulk suudmes oli 24. juulil 1975 60 l/s. Ojas suuri allikaid ei leidu, nähtavasti on ta rikas väikeste allikate

**Eesti NSV Hüdrometeoroloogiateenistuse Valitsuse poolt Norra piirkonnas
tehtud vooluhulga mõõtmised**

Asukoht	Mõõtmiste iseloom ja aasta		
	Episoodiline	Süsteemaatiline	Statsionaarne
Norra allikad	1940	1966, 1972—75	—
Oostriku jõgi suudme lähedal	1975	—	—
Oostriku jõgi Jõeküla silla lähedal (vaatluspost)	1961	1966—70	1970—75
Oostriku allikad	1940, 1975	1966	—
Valtre allikas	1940, 1975	1966	—
Metsanurga allikad	1975	—	—
Kiltre e. Värvi allikas	—	1971—75	—
Haava allikad	—	1971—75	—
Haava oja suudme lähedal	1975	—	—
Võllingu allikas	—	1971—75	—
Võllingu jõgi, 2,4 km suudmest	1975	—	—
Vilbaste allikad	1975	—	—
Sopa allikas	—	1971—75	—
Sopa oja suudme lähedal	1975	—	—
Rõhu peakraav suudme lähedal	1975	—	—

poolest. Allikaoja kõrval on vaid üks väike tõusuallikas, mille deebit oli 24. juulil 1975 1—2 l/s. Selle kohal on allikalehter sügavusega 0,7 m ja läbimõõduga kuni 5 m, kõrval aga väike allikalohk, mis ekspeditsiooni ajal oli kuiv. Lohu keskel on 1 m sügavune ja 0,5 m laiune veega täidetud allikalõõr, millest vett välja ei voolanud. Arvatavasti asuvad allikalehter ja lõõr karstilõhe kohal.

Norra piirkonna allikad ja allikalised veekogud asuvad raikküla lademe (S₁rk) avamusalal, mille paksus on siin ligikaudu 50 m. See lade koosneb kuni 8 m sügavuseni lõhelistest ja kohati kaver-noosetest dolomiitidest ja dolomiidistunud lubjakividest, mille all on juuru lademe vettpidavad savikad lubjakivid. Aluspõhjas leidub kirde—edela-suunalisi tektoonilisi rikkevööndeid, millest mõned ulatuvad arvatavasti väga sügavale, võimaldades põhjavee liikumist ühest põhjaveekihi teise. Rikkevööndite piirides on aluspõhi rohkem karstunud. Pinnakatteks on vaadeldavas piirkonnas moreen, mille paksus on 0,5—5 m ja mida katab sageli turvas. Pinnakattest tingituna on raikküla lademes olev põhjavesi väikese surve all. Piirkonna suuremad allikad on arvatavasti seotud tektooniliste rikkevööndite nende lõikudega, mis on rohkem karstunud ning kus pinnakate on õhem. Põhjavesi liigub Pandivere kõrgustiku lõuna-nõlval üldiselt põhjast lõunasse, kuid tektooniliste rikete ja hüdro-

graafilise võrgu iseärasustest tingituna võib ette tulla sellest suunast kõrvalekaldumisi. Allikad toituvad nii raikküla lademe karstiveest kui ka sügavamal asuvaist ordoviitsiumi põhjaveekihtidest.

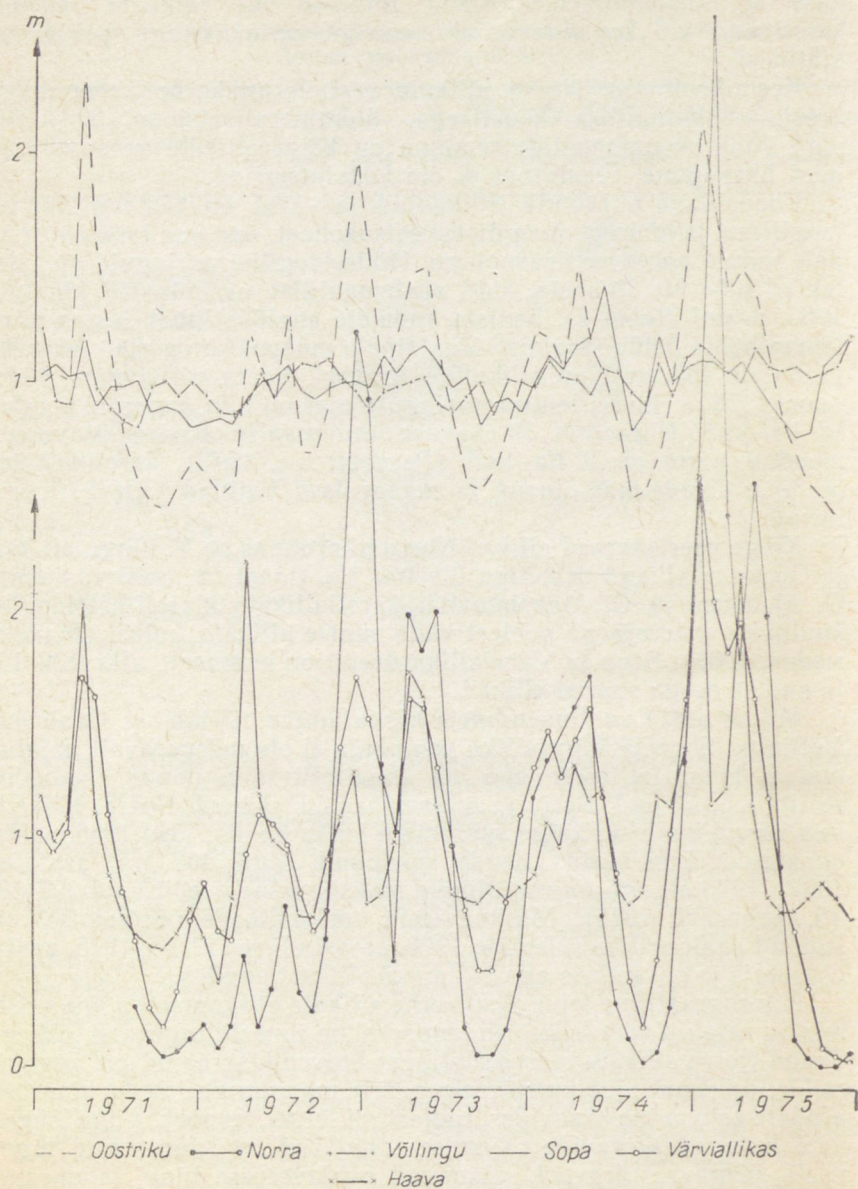
Keemiliselt on Norra allikate vesi vesinikkarbonaatse magneesium-kaltsiumilise koostisega, üldmineralisatsioon 300—360 mg/l. Makrokomponentide sisaldus on kõigi allikate vees võrdlemisi ühesugune; reostatust ei ole konstateeritud.

Vaadeldava piirkonna allikaojad ja -jõesed on tähtsad hüdroloogilisest ja hüdrogeoloogilisest seisukohast, sest nad on eriti tiheidalt seotud põhjavee äravooluga. Hüdroloogilisi uuringuid on siin tehtud juba üle 30 aasta, kuid süstemaatilist uurimistööd alustati 1966. aastal (tabel 1). Seniste andmete analüüs lubab Norra piirkonna kohta öelda järgmist. Vaatamata maapealse valgla väikesele pindalale (62 km²) on allikaline äravool Norra piirkonnas väga suur. 1975. a. juulis tehtud uuringute ajal oli siin äravoolumoodul 13 l/s · km². Piirkonna 30-päevase minimaalse suvise äravoolumooduli norm on 5 l/s · km² (Ресурсы..., 1972). Järelikult on ojade ja jõgede maa-alused ja maapealsed valglad tugevasti erinevad.

Kõige veerikkamad allikad Norra piirkonnas on Völlingu allikas ja Oostriku allikad deebitiga üle 100 l/s (tabel 2), mis vastavalt O. Meinzeri ja G. Maksimovitši karstiallikate klassifikatsioonile kuuluvad suurusjärgu poolest väga suurte allikate hulka (Максимович, 1963). Sopa ja Värvi allika deebit on enamasti alla 100 l/s ja nad on seega suured allikad.

Mitme aasta vaatlusandmete kõrvutamine näitab, et Oostriku, Völlingu, Sopa ja Värvi allika vooluhulk ei ole märgatavalt muutunud ei kvantitatiivselt ega ka kvalitatiivselt; nende looduslik režiim on säilinud. Palju veevaesemaks on jäänud Norra allikad, mis varem kuulusid kõige suuremate hulka Eestis. Veel 1966. aasta uuringute järgi ulatus nende vooluhulk kuni 468 l/s, aastatel 1972—1975 oli aga Norra allikate maksimaalne deebit vaid 296 l/s (6. veebruaril 1975). Minimaalsete vooluhulkade võrdlemisel on saadud analoogiline tulemus: 1966. aastal oli see 21 l/s, 1975. aasta oktoobris ja novembris aga väljavool allikast puudus.

Hüdrograafiline tehisevõrk Norra allikate piirkonnast põhja pool, mis on rajatud maade kuivendamiseks, on ilmselt tugevasti vähenetanud Norra allikate veerohkust, sest kuivenduskraavid on avanud raikküla lademe lõhe-karstiveele pääsu maapinnale. Seda kinnitab allikate esinemine kraavides, millest oli juttu eespool. Liiga sügavate kuivenduskraavide rajamise tagajärjel on suurenenud tugevasti põhjavee äravool, alanenud põhjaveetase ning vähenenud looduslike allikate vooluhulk. Ka juhib kraavivõrk ära suure osa lumevett, ilma et see jõuaks infiltreeruda aluspõhjakihtidesse ning täiendada põhjaveevaru. Endisest väiksem põhjaveevaru täienemine ja paremad põhjavee äravoolu tingimused on need kaks peamist faktorit, mis põhjustasid Norra allikate vooluhulga vähenemise.



Joon. 9. Norra piirkonna allikate deebiti muutlikkus m ajas (m on allika kuukeskmine deebit jagatud mõõtmisel saadud deebitiga).

Allikaliste veekogude hüdroloogilised näitajad (1971–1975)

Nimi	Deebit, l/s			K_h
	keskmine	maksi- maalne	mini- maalne	
Oostriku jõgi Jõeküla silla lähedal	326	1430	110	4,1
Norra allikad	50	296	0	>50
Võllingu allikas	206	271	130	1,3
Sopa allikas	45	67	28	1,4
Värviallikas	24	65	0	~10
Haava allikad	39	123	11	3,7

Esialgsed uuringud on näidanud, et deebiti kõikumise põhjal saab Norra piirkonnas eristada kolme tüüpi allikaid. Esimesse tüüpi kuuluksid Rõhu ja Norra allikad, mille deebit on G. Maksimovitši klassifikatsiooni järgi väga muutlik või erakordselt muutlik (Максимович, 1963). Nende deebiti kõikumise koefitsient (K_h), s. o. maksimaalse deebiti suhe minimaalsesse, on 10–100 ja rohkem. Nad toituvad ilmselt karstivee sessoonsete kõikumiste vööst (tabel 2, joon. 9). Teise tüüpi kuuluvad püsiva deebitiga Võllingu ja Sopa allikas, mille vastav koefitsient ulatub kuni kaheni ja mis toituvad peamiselt surveisest põhjaveest. Võib arvata, et ka Oostriku allikad kuuluvad sellesse tüüpi, sest nende minimaalne vooluhulk oli 1966. aastal ligi 100 l/s ning maksimaalne 187 l/s.

Kolmandasse allikatüüpi kuuluvad Kiltre e. Värviallikas ja Haava allikad, mille deebiti kõikumise koefitsient on 2–10. Need nn. muutliku deebitiga allikad on nähtavasti segatoitelised, mis saavad osa vett karstivee sessoonsete kõikumiste ja küllastumusvööst, osa aga sügavamatest surveisest põhjavee kihtidest.

Käsitletud allikad, allikaajad ja -jõed pakuvad suurt teaduslikku huvi hüdroloogia, hüdrokeoloogia, karstoloogia, värviliste metallide leiupaikade uurimise meetodika, aga ka bioloogia, kalamajanduse jt. seisukohtadelt. Seepärast on vaja kaitsta nende looduslikku seisundit ja asutada Norra piirkonnas riiklik looduskaitseala.

Norra piirkonna allikate ja allikaliste veekogude teaduslikku uurimist on vaja jätkata ja laiendada. Siin tuleks teha süstemaatilisi ja statsionaarseid hüdroloogilisi vaatlusi ning paralleelselt nendega ka põhjavee uuringuid, mis kestaksid aastakümneid. Pandivere kõrgustik kujutab teatavasti väga suurt ja tähtsat põhjavee toitumisala ja kollektorit, mille karstiveevarust oleneb suuresti Põhja- ja Kesk-Eesti veemajanduslik seisukord. Seepärast tuleks kõrgustiku põhja- ja pinnavee režiimi ja nende seoste uurimiseks ning veevarude seisukorra hindamiseks ja prognoosimiseks

rajada küllalt tihe statsionaarne hüdroloogiliste ja hüdrogeoloogiliste vaatlusjaamade ja -postide võrk. Tähtis osa selles võrgus peaks kuuluma Norra piirkonnale, kus allikaline äravool on eriti suur. Siinsete allikate veemajanduslikku tähtsust näitab juba üksnes see, et isegi 1975. a. erakordselt põuasel suvel andsid Norra piirkonna allikad kokku üle 800 l/s vett, mis moodustab ligikaudu 20% Põltsamaa jõe minimaalsest vooluhulgast.

KIRJANDUS

Eipre, T. Pandivere karstijõed ja -allikad. — «Eesti Loodus», 1967, nr. 9, lk. 548—553.

Heinsalu, U. Karst Pandivere kõrgustikul. — Rmt.: Rakvere rajoonis. Tallinn, 1967a, lk. 37—44.

Heinsalu, U. Karst Eestis. — «Eesti Loodus», 1967b, nr. 9, lk. 542—547.

Hermann, U. Norra park ja allikad. — «Eesti Loodus», 1976, nr. 1, lk. 29—30.

Timm, T., Järvekülg, A. Eesti allikad ekstreemse elupaigana ja nende kaitse. — Rmt.: Eesti loodusharulduste kaitseks. Tallinn, 1975, lk. 76—89.

Vilbaste, G. Kodumaa allikaist. — «Loodusvaatleja», 1936, nr. 6, lk. 161—167.

Валлер Л. К. О применении гидрометрической съемки для уточнения результатов оценки естественных ресурсов подземных вод интенсивного водообмена. — Материалы междуведомственного семинара по методике гидрометрической оценки подземного стока в реки. 15—19 июня 1965 г. Валдай, 1966, с. 69—81.

Гончаров Г. С., Пуура В. А., Судов Б. А. Опыт применения метода поисков по потокам рассеяния в платформенных условиях. — Методика и техника разведки, 1963, № 43, с. 42—47.

Каск А. Исследования минимального стока рек Северной Эстонии в связи с карстовым питанием. — Сб. работ по гидрологии, № 3. Л., 1963, с. 83—88.

Максимович Г. А. Основы карстоведения, I. Пермь, 1963. 444 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 4. Прибалтийский район, вып. 1. Эстония. Л., 1972. 420 с.

Судов Б. А., Тибар К. О. Гидрохимические поиски полиметаллических руд на территории Центральной Эстонии. — Материалы семинара по гидрохимии подземных вод Прибалтики и Белоруссии. Вильнюс, 1974a, с. 56—59.

Судов Б. А., Тибар К. О. Режимные гидрогеохимические исследования подземных вод для прогнозирования местоположения скрытого оруденения. — Материалы семинара по гидрохимии подземных вод Прибалтики и Белоруссии. Вильнюс, 1974b, с. 60—63.

РАЙОН КАРСТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НОРРА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАПОВЕДНИКА

Ю. Хейнсалу, А. Купцов

Резюме

Район карстовых источников Норра расположен в Северной Эстонии, на пологом и заболоченном южном склоне Пандиверской возвышенности. Площадь распространения родников составляет около 30 км², площадь поверхностного водосбора четырех

правобережных притоков р. Пылтсамаа, питающихся родниками, не превышает 65 км². Здесь можно выделить 11 обособленных групп карстовых источников, отличающихся, как правило, гидрологическим режимом, но однородными по генезису. Преобладают восходящие источники, образующие живописные озерки округлой формы радиусом до 30 м и глубиной до 4,8 м.

Наиболее обильные источники Оострику Сууралликас и Выллингус с дебитом более 100 л/с — одни из крупнейших в Эстонии. По классификации Г. А. Максимовича (1963), в основу которой положен коэффициент динамичности, в описываемом районе встречаются все группы источников.

По химическому составу воды родников гидрокарбонатные магниево-кальциевые, с общей минерализацией 300—360 мг/л; некоторые из них богаты полиметаллами. Температура воды в теплое время года колеблется в пределах 5,4—7,4°.

Источники питаются слабонапорными водами кавернозных и трещиноватых известняков и доломитов силура и ордовика Пандивереской возвышенности.

Гидрологические исследования в данном районе проводились в течение последних 30 лет; систематические наблюдения начаты с 1966 года. Установлено, что район в целом очень водообильный; так, засушливым летом 1975 года минимальный модуль стока составил 13 л/с, при среднемноголетнем модуле южного склона Пандивереской возвышенности 5 л/с.

Район карстовых источников и водотоков Норра представляет значительный научный интерес. Здесь необходимо создать заповедник с тем, чтобы сохранить естественные формы источников, их гидрологический режим и тот природный ландшафт, на котором они развиты. В районе целесообразно продолжить многолетние гидрологические режимные исследования с целью исследования естественной среды и прогнозирования водных ресурсов.

THE NORRA SOLUTION SPRING AREA — A PROMISING LOCALITY FOR A NATURE RESERVE

Ü. Heinsalu, A. Kuptsov

Summary

The Norra solution spring area, which covers a territory of about 30 sq. km, is situated on a swampy plain on the southern slope of the Pandivere Upland in North Estonia. There are 11 groups of solution springs here, which feed four tributaries on the right-hand bank of the river Põltsamaa. The springs have different hydrological regimes and mostly form beautiful small lakes with a diameter

of up to 30 metres and a depth of up to 4.8 metres. Those with the most abundant outflow discharge over 100 litres per second. As for the chemical composition of the water of the springs, it contains hydrocarbonates, magnesium and calcium, having a total salination of 300—360 mg/l. The water of some of the springs contains a high concentration of polymetals.

The springs are fed by the karst waters of the Pandivere Upland, which is made up of Ordovician and Silurian limestones and dolomites.

Hydrological investigations have been carried out in this area for thirty years. It is very rich in water; in the dry summer of 1975 the minimum discharge here was 13 l/s.

The Norra solution spring area is of great scientific interest. A nature reserve should be founded here in order to preserve the natural appearance, the hydrological regime and the original environment of the springs. It is necessary to continue the hydrological and hydrogeological investigations that have been carried out here for so many years in order to study the natural environment and elucidate the changes that have taken place in it as well as to make forecasts of the water resources.

SISUKORD

Saateks	3
<i>P. Vingisaar, V. Karise, H. Kink, A. Maastik, L. Savitskaja, L. Savitski,</i> <i>A. Viigand.</i> Eesti põhjavee seisund, kasutamine ja kaitse	7
<i>V. Belkin, L. Savitski.</i> Tallinna põhjaveega varustamise võimalustest . .	20
<i>L. Savitski, V. Belkina, L. Savitskaja, V. Tassa.</i> Põhjavee ratsionaalsemale kasutamisele Kirde-Eesti tööstusrajoonis	23
<i>E. Tšeban.</i> Põhjavee tehisvaru loomise võimalustest Eestis	30
<i>Ü. Heinsalu.</i> Karsti tähtsusest põhjaveevaru täiendamisel Eestis . . .	44
<i>P. Vingisaar.</i> Eesti mineraalveed ja nende kasutamine	54
<i>H. Kink.</i> Maaparandus ja põhjavee kaitse	72
<i>A. Maastik.</i> Põllumajandus ja veekaitse	77
<i>R. Perens, G. Eltermann.</i> Karsti leviku ja karstivee keemilise koostise kujunemise iseärasusi Pandivere kõrgustiku lääneosas	89
<i>K. Arukaevu.</i> Niisutusperioodi äravoolu määramine Eesti NSV allikalise toitumisega jõgedel	100
<i>Ü. Heinsalu, A. Kuptsov.</i> Norra karstiallikate piirkond — perspektiivne looduskaitseala	106

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
<i>П. Вингисаар, В. Каризе, Х. Кинк, А. Маастик, Л. Савицкая, Л. Савицкий, А. Вийганд.</i> Состояние, использование и охрана подземных вод Эстонии	17
<i>В. Белкин, Л. Савицкий.</i> О возможностях водоснабжения города Таллина подземными водами	22
<i>Л. Савицкий, В. Белкина, Л. Савицкая, В. Тасса.</i> К рациональному использованию подземных вод в Северо-восточном промышленном районе Эстонской ССР	27
<i>Э. Чебан.</i> О возможности создания искусственных запасов подземных вод в Эстонии	42
<i>Ю. Хейнсалу.</i> Значение карста в пополнении запасов подземных вод Эстонии	51
<i>П. Вингисаар.</i> Эстонские минеральные воды и их использование	70
<i>Х. Кинк.</i> Мелиорация и охрана подземных вод	75
<i>А. Маастик.</i> Сельское хозяйство и охрана вод	88
<i>Р. Перенс, Г. Эльтерманн.</i> Особенности распространения карста и формирования химического состава карстовых вод в западной части Пандивереской возвышенности	98
<i>К. Арукаеву.</i> Определение стока водотоков родникового питания в период орошения в условиях Эстонской ССР	104
<i>Ю. Хейнсалу, А. Купцов.</i> Район карстовых источников Норра как перспективный для создания заповедника	120

CONTENTS

Foreword	5
<i>P. Vingisaar, V. Karise, H. Kink, A. Maastik, L. Savitskaya, L. Savitsky, A. Viigand.</i> The condition, exploitation and protection of Estonian ground water reserves	18
<i>V. Belkin, L. Savitsky.</i> Possibilities of finding ground water supplies for the town of Tallinn	22
<i>L. Savitsky, V. Belkina, L. Savitskaya, V. Tassa.</i> Recommendations for a more rational exploitation of the ground water resources in the industrial region of North-East Estonia	28
<i>E. Cheban.</i> Possibilities for creating artificial ground water reserves in the Estonian S.S.R.	42
<i>Ü. Heinsalu.</i> The importance of Karst formations in replenishing Estonian ground water reserves	52
<i>P. Vingisaar.</i> Estonian mineral waters and their exploitation	70
<i>H. Kink.</i> Land improvement and ground water conservation	75
<i>A. Maastik.</i> Agriculture and water pollution	88
<i>R. Perens, G. Eltermann.</i> Peculiarities of the distribution of karst formations and of the development of the chemical composition of karst waters in the western part of the Pandivere Upland	99
<i>K. Arukaevu.</i> Determination of the discharge of the rivers fed by springs in the Estonian S.S.R. during the irrigation period	105
<i>Ü. Heinsalu, A. Kuptsov.</i> The Norra solution spring area — a promising locality for a nature reserve	121

Редакционно-издательский совет АН ЭССР, Таллин.
Академия наук Эстонской ССР. Комиссия по охране природы. **Об использовании и охране подземных вод в Эстонской ССР.** На эстонском языке. Художник-оформитель Р. Эйлсен.

Toimetaja S. Sündema. Tehniline toimetaja E. Viira. Laduda antud 18. III 1977. Trükkida antud 16. V 1978. Paber 60×90/16. Trükipoognaid 8,00. Arvestuspoognaid 8,68. Trükiarv 1000. MB-04412. ENSV TA Toimetus- ja Kirjastusnõukogu, Tallinn, Sakala 3. H. Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. Tellimuse nr. 1238.

Hind rbl. 1.60

УДК 556.38.388(474.2)

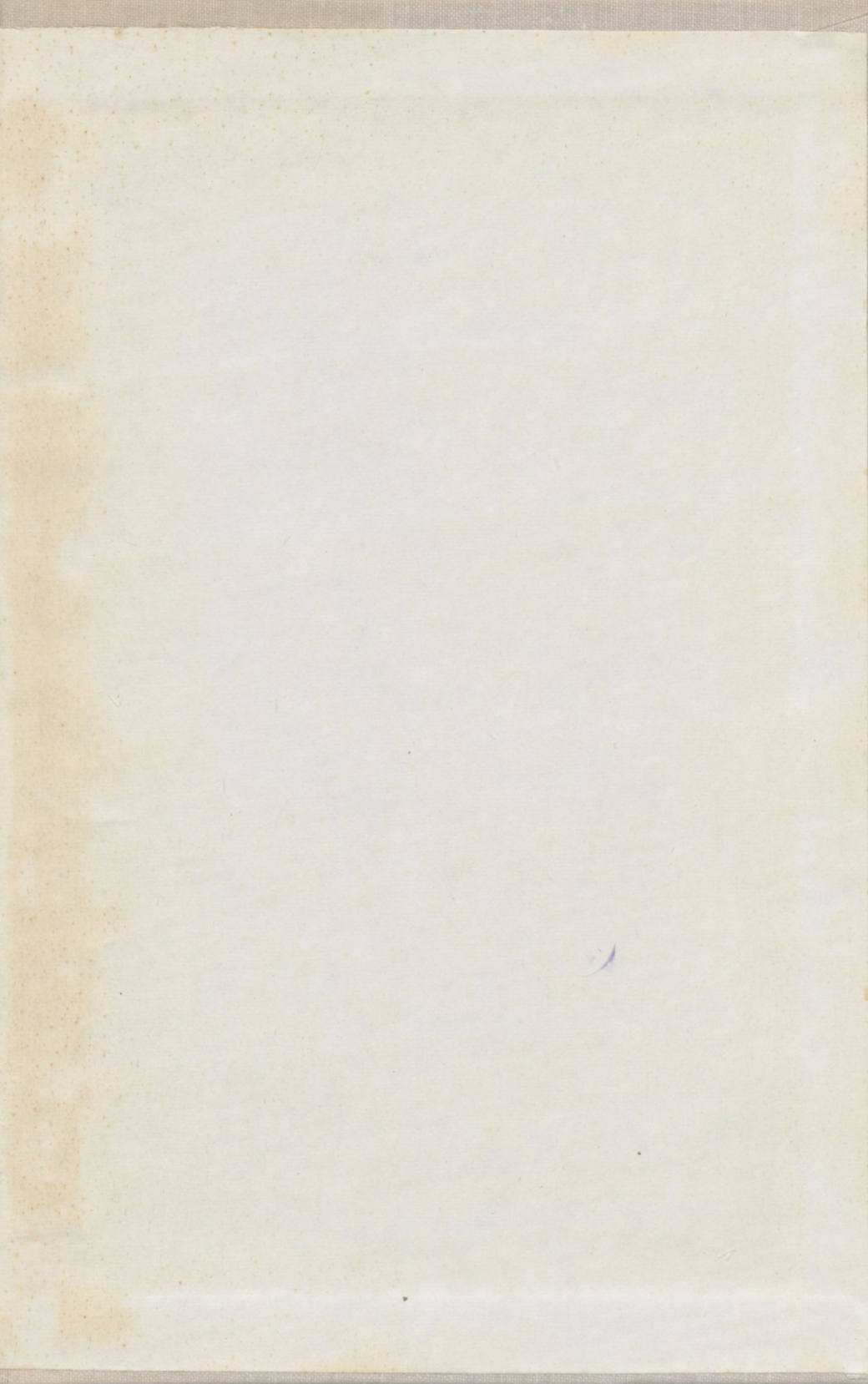
Состояние, использование и охрана подземных вод Эстонии. Вингисаар П., Каризе В., Кинк Х., Маастик А., Савицкая Л., Савицкий Л., Вийганд А. — В кн.: Об использовании и охране подземных вод в Эстонской ССР. Таллин, 1978, с. 7—19 (эст.; рез. рус., англ.).

Хозяйственно-питьевое водоснабжение населения, а отчасти и промышленности Эстонской ССР базируется на подземных водах, прогнозные эксплуатационные ресурсы которых оцениваются в 1,1—2,3 куб. км в год. Современный отбор подземных вод составляет 375 тыс. куб. м в сутки. Таким образом, водопотребление в настоящее время ощутимо не уменьшает ресурсы подземных вод. Наиболее опасно истощение запасов подземных вод в результате осушения земель. На качество подземных вод оказывают влияние минеральные удобрения и ядохимикаты, применяемые в сельском хозяйстве, а также сельскохозяйственные промышленные и коммунальные стоки, аварийные сбросы жидкого топлива и т. д. Общее состояние подземных вод Эстонии, помимо приведенных выше фактов, как в количественном, так и качественном отношении удовлетворительное. Рис. 3. Табл. 3. Библ. 15 назв.

УДК 556.38(474.2)

О возможностях водоснабжения города Таллина подземными водами. Белкин В., Савицкий Л. — В кн.: Об использовании и охране подземных вод в Эстонской ССР. Таллин, 1978, с. 20—22 (эст.; рез. рус., англ.).

Рассматриваются перспективы водоснабжения г. Таллина за счет подземных вод. В баланс источников подземных вод помимо местных предполагается включить и водозаборы, удаленные на расстояние 50—60 км.





**PÕHJAVEE
KASUTAMISEST
JA KAITSEST
EESTI NSV-S**

Rbl. 1.60



**PÕHJAVEE
KASUTAMISEST
JA KAITSEST
EESTI NSV-S**