

## O LADE NA RIEKACH

Pri pozorovaní prírodných javov a odvodzovaní zákonov ako výsledku týchto pozorovaní môžeme používať v zásade dve metódy: štatistickú, ktorá nám dáva možnosť určiť početnosť alebo aj pravdepodobnosť výskytu určitého zjavu, a to tak čo do kvality, ako aj čo do kvantity, alebo metódu genetickú, ktorá dovoľuje zostaviť zjav zo všetkých vopred daných podmienok, ktoré ho určujú. Je prirodzené, že prvá metóda prevláda v každej vede v jej začiatkoch, druhá charakterizuje už disciplíny staršie a pokročilejšie. Umožňuje tiež nepomerne širšie možnosti ako metóda prvá.

Ak by sme vyšli z definície vzniku ľadu len ako tuhej formy vody pri  $0^{\circ}\text{C}$  alebo z inej podobnej jednoduchej fyzikálnej definície, iste by sa nám zdalo, že máme všetky predpoklady práve pre použitie genetickej metódy. Stačí však i dosť zovrubne sa zaoberať pozorovaním ľadu v nádrži a na rieke, aby sa nám objavily už prvé pochybnosti. Zatiaľ čo hladina rybníka pri dosť kludnom počasí sa pokryje tenkým priehľadným ľadom už po prvých mrazivých dňoch, tvorí sa na rieke v najlepšom prípade tenký ľad pri brehu, ináč však nebadať na rieke žiadne zmeny. Až naraz sa pokryje hladina viditeľným srieňom, a to hneď v značnej šírke a vzhľad tohto srieňa sa celkom odlišuje od ľadu na rybníku. Pri zovrubnejšej prehliadke nájdeme i kusy ľadu so zrnami piesku, ktorý zrejme pochádza z dna a svedčí o tom, že ľad má podobné miesto vzniku, čo už zrejme odporuje poznatku o hustote vody a pod. Podobných protirečení nájdeme pri starostlivom pozorovaní vždy viac, takže nakoniec jav, ktorý sme kedysi považovali za jeden z najjednoduchších, sa zrazu stáva neobyčajne složitý. A nejde pritom snáď len o teoretické otázky bez väčšieho praktického významu. Naopak, čím ďalej tým viac práve hospodárstvo nás núti tieto otázky uspokojivo zodpovedať, lebo ľad vo svojich rozličných formách spôsobuje tiež rozličné ťažkosti v hospodárskom živote. Určitý druh ľadu za určitých okolností znemožňuje plavbu, upcháva česlice hydrocentrál, ba aj celé kanále, ohrozuje rozličné vodné stavby alebo aj celé mestá.

A tak musíme chtiac-nechtiac venovať tomuto prírodnému zjavu zaslúženú pozornosť a pokiaľ si ho nestačíme vysvetliť geneticky v celej jeho rozmanitosti, musíme sa zväčša uspokojiť so štatistickými výsledkami.

Pozorovaním ľadu v prírode, jeho rozličnými formami a otázkou ich vzniku sa zaoberá špeciálne odvetvie hydrologie (fyziky vody) — kryológia. Podľa spôsobu vzniku rozlišuje sa v zásade ľad na taký, ktorý sa tvorí za zvláštnych okolností pod hladinou, a to alebo na dne toku alebo v celom profile toku vo vodnej hmote a na ľad, ktorý vzniká na hladine. Zatiaľ čo vysvetlenie vzniku ľadu na hladine nerobí žiadne ťažkosti, lebo je to obyčajný fyzikálny zjav, v prírode všeobecne známy, ľahko pozorovateľný a merateľný, odpoveď na otázku o vzniku ľadu pod hladinou nie je dosiaľ celkom jednotná a uspokojivá.

Prvé ťažkosti stretávame už pri pomenovaní tohto, resp. týchto druhov ľadu. V slovenčine pojem srieň zahrnuje okrem ľadu, ktorý vzniká pod hladinou, ešte aj ľad, ktorý sa vytvoril na povrchu, roztrieštil sa a pláva po hladine. Menej vyhovuje české pomenovanie „tříšť“, kde je priamo označené, že sa myslí na tenký ľad, ktorý vznikol roztrieštením. Myslím, že môžeme používať slovenský názov srieň a mať pritom na mysli ľad, ktorý vznikol vo vnútri vodnej masy, teda druh ľadu označený rusky ako šuga, poľsky szryż, anglicky frazil, franc. fraisil, tiež sorbet de glace, nem. Drifteis a Siggeis. Čo rozumieme pod týmito označeniami? Je to ľad, ktorý sa prejavuje ako hubovitá či kašovitá ľadová hmota, tvorená z drobných ľadových doštičiek alebo kryštálikov spolu pórovite pospájaných. Vzniká v mase vody alebo na dne, uvoľňuje sa a vznáša sa vo vode. Pri svojom objavení spôsobuje mimoriadne ťažkosti, a to tak všetkým hydrotechnickým zariadeniam, ako aj plavbe. Upcháva prírodné kanály, najmä vstupné otvory a česlice (vykurovanie česlíc) a spôsobuje v najlepšom prípade značné straty pri vtoku, no môže spôsobiť aj kritické situácie. Tak Altb erg uvádza, že r. 1914 bolo priamo ohrozené zásobovanie Petrohradu vodou, keď sa na dne Nevy vytvorila vrstva ľadu o hrúbke až 1 m.

Zvlášť nebezpečný je tento ľad pre plávajúce lode, ak sa loď včas neuchýli do zimného prístavu a je prekvapená na rieke objavením sa srieňa, ktorý pokrýje hladinu aj náhle za niekoľko hodín. Ľad sa intenzívne lepí na dno lode a rýchlo nadobudne hrúbky aj viac desiatok cm až 1 m. Ak loď kotví, dorastie ľad až k dnu. Loď nemôže manévrovať a často je vydaná na milosť a nemilosť neskoršiemu pohybu ľadu.

Musíme konštatovať, že pozorovanie tohto zjavu, napriek jeho hospodárskemu významu, nie je vyhovujúce. U nás sme zatiaľ nezačali s orga-

nizáciou ani len pozorovania jeho výskytu; zatiaľ konštatujeme len ťažkosti, ktoré som uviedol.

Väčšiu pozornosť mu venujú v krajinách, kde ním spôsobované nepríjemnosti sú zvlášť rozsiahle, t. j. v SSSR, USA, aj v Nemecku a Poľsku. Ale ani tam nie je ešte presne stanovené názvoslovie. V ruskej nomenklatúre sa niekedy označuje ľad takto vytvorený jednak ako vnútrovodný či šuga, jednak ako dnový. Podľa sovietskeho profesora *Leviho* niet zásadného rozdielu medzi týmito druhmi. Naproti tomu poľský hydrolog *Dr. Lambor* navrhuje rozlišovať presne tieto druhy tým, že záväzda ďalší pojem ľadu prúdového (lod prądowy). Pod týmto názvom rozumie asi náš srieň. Obidve pomenovania platia pre ľad, ktorý vznikol buď ako vnútrovodný, alebo dnový. Tieto posledné dva druhy presne rozlišuje.

Za akých okolností vzniká tento vnútrovodný ľad? Doterajšie teórie môžeme rozdeliť na štyri skupiny:

1. *Dnový ľad* sa tvorí ochladením dolných vrstiev vody pri dne a povrchu dna, uvoľnené teplo pri vzniku ľadu sa odvádza vodivosťou dna k brehu. *Vnútrovodný ľad* sa vytvoril z kryštálikov buď uvoľnených z dna, alebo zanesených s povrchu.

2. Dnový ľad vznikol ochladením dna vyžiarovaním tepla do atmosféry cez vrstvu vody. Potvrdenie tejto domnienky vidíme v známej skutočnosti, že tvorenie ľadu tohto druhu je intenzívne najmä za bezoblačnej mesačnej noci pri voľnej hladine. Pritom sa vytvorí na tvrdých predmetoch ľadový obal, ktorý narastá z prechladenej vody, vzniknutej vyžiarovaním tepla na povrchu hladiny. Z tejto prechladenej vody vzniknú aj kryštalizačné formy srieňa.

3. Tretia hypotéza predpokladá, že tak dnovy, ako aj vnútrovodný ľad sú vlastne kryštáliky, ktoré vznikly na povrchu a zanesol ich tam turbulentný pohyb. Pritom sa tieto kryštáliky môžu spojiť alebo medzi sebou alebo s predmetmi vo vode.

4. Konečne posledná hypotéza sa opiera o predstavu vzniku šugy v celej vodnej mase z prechladenej vody za voľnej hladiny a za pôsobenia turbulentného pohybu vody. Sovietsky vedec *Altberg* vykonal v tomto smere priamo laboratórne pokusy, o ktorých sa zmienim ďalej.

Podľa prof. *Leviho* možno ľahko dokázať nedostatok prvých dvoch hypotéz. Pokiaľ sa týka možnosti, že dno odvedie teplo k brehom, nepovažuje to za možné, lebo množstvo odvedeného tepla je len nepatrné a ani pôsobenie premrznutých brehov nepôsobí ďaleko. Pokiaľ ide o žiarenie, je takmer celkom pohlcované vodou a vráti sa konvekciou. Preto prof.

Levi považuje tretiu hypotézu za prijateľnú, pravda, len ako počiatočný prínos; uspokojí len vtedy, ak je doplnená štvrtou hypotézou, ktorá objasňuje celý rad okolností. Pritom ťažko ustáliť, aký podiel majú na vytvorení šugy kryštáliky, ktoré vznikly na voľnej hladine a turbulentný pohyb ich zanesol až na dno, a aký podiel má tvorenie šugy priamo v mase vody z jej prechladenia.

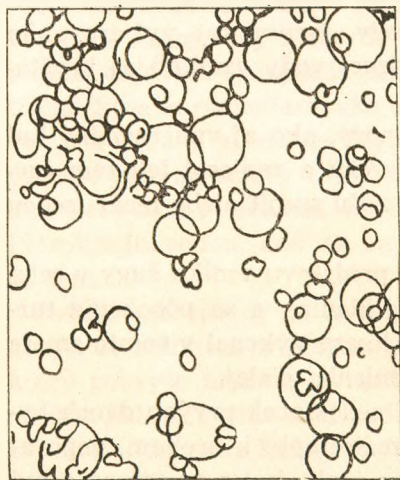
Už *Fahrenheit* vedel, že teplota vody môže klesnúť pod  $0^{\circ}$ . Najviac prispel k poznaniu tejto skutočnosti americký bádateľ *Barnes*, ktorý zhodnotil význam prechladenej vody pri zamrzaní. Stupeň prechladenia rastie s rýchlosťou prúdu. Pri stredných rýchlostiach  $0,5\text{--}0,7\text{ m/s}$  nebýva prechladenie vody väčšie ako  $-0,005^{\circ}\text{C}$ , pri väčších rýchlostiach dosúpi  $0,01$  až  $0,02^{\circ}\text{C}$ .

Ako som sa už zmienil, zaoberal sa laboratórnymi pokusmi vzniku ľadových kryštálov v prechladenej vode *V. K. Altberg* v hydrofyzikálnych laboratóriách Štátneho hydrologického ústavu SSSR. Vo svojich pokusoch nachádza dostatočný dôkaz, že prechladená voda, hoci len nepatrne pod  $0^{\circ}\text{C}$ , je hlavnou príčinou tvorenia sa vnútrovodného ľadu, pričom množstvo vzniknutých kryštálov a ich tvar závisí od stupňa prechladenia. Veľkosť kryštálov a rýchlosť ich rastu závisí pritom od relatívnej rýchlosti, akou prechladená voda kryštál obteká. A takéto prúdenie okolo kryštálu nastáva aj pri vode nehybnej, ako je to známe z roztokov vôbec.

Len čo sa častice prechladenej vody stretnú so stenami kryštálu, rýchlo strácajú prechladenie na účet uvoľnenej teploty pri zamrzaní a prijímajú nulovú teplotu. Táto voda je hustejšia ako prechladená, klesá, a preto pozorujeme stále klesajúce prúdenie pri stenách kryštálu. V nehybnej prechladenej vode môžeme tak priamo pozorovať rast kryštálu, aj keď prechladenie neprestúpi  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Pri rýchlo tečúcich tokoch nastáva rýchla výmena prechladených častok. Je oveľa účinnejšia ako tepelné vyrovnanie konvekciou a preto aj rast kryštálov je oveľa rýchlejší aj vtedy, ak je voda prechladená len o malý zlomok stupňa.

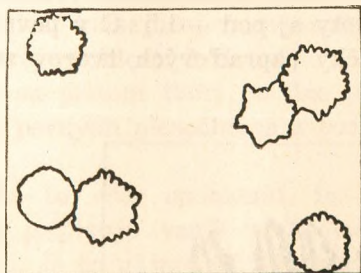
obr. 1.



Obr. 1. Doštičkové tvary vnútrovodného ľadu (asi 8-krát zväčšené).

Vo svojich pokusoch sa Altberg ďalej zaoberal štúdiom zaujímavých foriem ľadových kryštálov v prechladenej vode. Tak pri teplotách od  $0^{\circ}$  až po  $-0,1^{\circ}$  C tvorily sa veľmi tenké doštičky o priemere od 0,02 do 25 mm (obr. 1). V takejto forme sú aj najčastejšie v prirodzených podmienkach, pričom priemery obyčajne neprestúpia 5 mm.

Obr. 2.



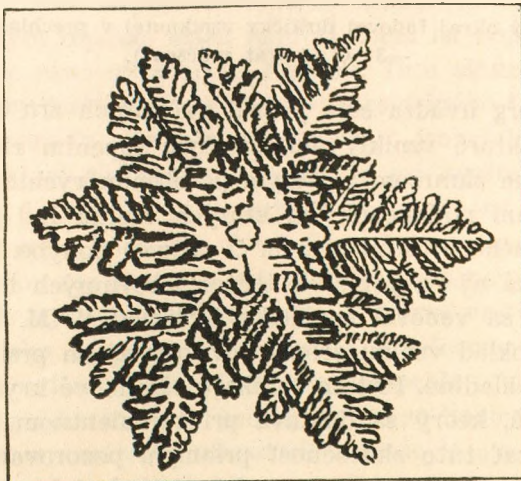
Obr. 3.



Obr. 2. Zmenené ľadové doštičky v silnejšie prechladenej vode ( $-0,1^{\circ}$  C až  $-0,3^{\circ}$  C).

Obr. 3. Šesťcipe ľadové hviezdičky vzniknuté v prechladenej vode na  $-0,4^{\circ}$  (8-krát zväčšené).

Pri ochladieniach pod  $-0,1^{\circ}$  C doštičky rýchlo menia svoj tvar; objavuje sa 6 papršlekov odklonených od seba o  $60^{\circ}$  a prechádzajúcich stre-



Obr. 4. Páperovité ľadové kryštáliky vyrastené v prechladenej vode (5-krát zväčšené).

dom, doštička nadobúda tvar 6-uholníka (obr. 2). Ďalším ochladením na  $-0,3^{\circ}\text{C}$  až  $-0,6^{\circ}\text{C}$  vznikly celé skupiny šesťcípých hviezdíček (obr. 3) a konečne pri teplotách až  $-1,5^{\circ}\text{C}$  nadobúdajú krásne formy snežienok (obr. 4). Pri ďalšom ochladzovaní ruší sa symetrický tvar kryštálov a tvoria sa doštičky z jednotlivých papršlekov kryštálov s krásnymi tvarmi paprad'ových listov (obr. 5).

V prirodzených podmienkach sa iste v celej mase takéto prechladenie vody neobjaví, zato byly namerané teploty aj pod  $-1,5^{\circ}\text{C}$  v povrchovej vrstve a v nej byly tiež zistené doštičky paprad'ových tvarov značnej veľkosti, až 10 cm v priemere.



Obr. 5. Paprad'ový okraj ľadovej doštičky vzniknutej v prechladenej vode až na  $-3^{\circ}\text{C}$  (4-krát zväčšené).

Konečne Altberg uvádza ešte prípad guľovitých zŕn srieňa s priemerom do 5 mm, ktoré vznikly asi miernym topením riekou unášaného srieňa, opätovným zámrazom a stálym pôsobením rýchleho prúdu.

Pri vypočítavaní podmienok, za ktorých vzniká ľad pod vodou, sme hovorili okrem iného o turbulentnom či vírivom pohybe. No je známe, že takéto ľad vzniká aj na pomalšie tečúcich rovinných tokoch. Vysvetleniu tohto javu sa venoval sovietsky hydrolog V. M. Sokolnikov. Ako prvý predpoklad vzniku srieňa považuje aj on prechladenie vodnej masy pri voľnej hladine. Pritom vznikajú zárodkové kryštály, okolo ktorých rastie srieň, ktorý sa dostáva pri turbulentnom pohybe na dno. Treba len dokázať túto skutočnosť priamym pozorovaním v prírode a najmä vysvetliť vznik ľadu na rovinných riekach, kde turbulentný pohyb neexistuje. Sokolnikov pozoroval menší, rovinný tok a podrobným pozo-

rovaním zistil, že na toku sa tvoril dnový ľad nie náhodne, ale vždy najviac na určitých miestach, a to práve za oblúkom tam, kde voda klesá od konkávneho brehu na dno konvexného brehu a týmto točivým pohybom sa dostávajú na dno prechladené horné vrstvy, ktoré tam ochladzujú nielen vodu, ale aj dno. Priamym meraním teplôt mohol zistiť ochladenie týchto miest v noci a oteplenie vo dne práve ako následok uvedeného vťahovania hornej vrstvy na dno. Zaujímavé je aj zistenie, že rýchlosť klesajúcej vrstvy vody dosahovala až 0,20 m/s pri postupnej profilovej rýchlosti 0,41 m/s.

Ľad sa pritom tvorí na dne predovšetkým na kameňoch, oblázkoch, pňoch, pevných piesočinách a pod. Na pohyblivom nánose sa súvisle netvorí.

Treba tu ešte spomenúť, že americkí hydrologovia a fyzici vody zväčša pripisujú vznik vnútrovodného a najmä dnového ľadu vyžiarovaniu. Je to najmä už menovaný Barnes. Potvrdenie správnosti svojej teórie vidia aj v tom, že predpokladom pre jeho vznik, okrem nízkej teploty vzduchu pod  $-5^{\circ}\text{C}$ , najmenej aspoň  $-10^{\circ}\text{C}$ , je aj malá vlhkosť a jasné noci. To sú najlepšie podmienky pre vyžiarovanie. Tento názor si osvojil aj poľský hydrolog Dr. Lambor, ktorý podčiarkuje, že tým istým pochodom vzniká vnútrovodný ľad vôbec. Lebo ak by jeho vznik priamo súvisel s uvoľňovaním dnového ľadu, musel by byť najsilnejší chod srieňa asi na poludnie, lebo vtedy sa ho najviac uvoľní pôsobením slnka. Dnový ľad, ako je známe, tvorí sa najviac v noci v dobe najintenzívnejšieho zemského vyžiarovania a odľupuje sa slnečným teplom. Srieň naproti tomu sa objavuje tiež po západe slnka, takže ráno už pokrýva hladinu. Táto skutočnosť potvrdzuje len závery väčšiny bádateľov o vzniku vnútrovodného ľadu v celej mase vody súčasne. Treba tu ešte spomenúť význam jemných suspendovaných látok, plavenín, ktoré sú dôležitým činiteľom pri kryštalizácii vody, lebo ju urýchľujú. Dr. Lambor tu poukazuje na nedostatočné objasnenie, akým spôsobom sa to deje. Podotýka ďalej, že ani vysvetlenie vzniku srieňa prechladenou vodou nie je uspokojujúce, lebo srieň nevzniká v najväčšej miere tam, kde je tejto vody najviac, napr. v hornej vrstve alebo v bystrinách, a že sa jeho tvorenie nestupňuje s množstvom už vytvoreného srieňa, ktorý by predsa mal spôsobovať ďalšie rýchle ochladzovanie. Podľa jeho pozorovaní prúdového ľadu pokryje tento za hodinu  $\frac{1}{3}$  hladiny, za krátko až  $\frac{2}{3}$ , potom rastie ľad už pomalšie, až do  $\frac{8}{10}$  a viac ani nepostupuje. Väčšie zahustenie je len lokálne, pôsobením vetra alebo prúdu. Tak vraj dochádza k automatickej regulácii intenzity tvorenia sa srieňa mimo

atmosferickej podmienky. Vysvetlenie vidí Dr. Lambor len práve v intenzívnej alebo slabšej činnosti žiarenia práve v súvislosti s množstvom plávajúceho srieňa. Ďalej poukazuje na to, že pod miestom ľadovej zápchy v otvorenom koryte sa už tvorí srieň spomalene, podobne ako v čistých vodách. Vidí v tom potvrdenie svojej mienky, že tento ľad vzniká vyžiarovaním, a to nielen z dna, ale aj z plavenín.

Myslím, že z toho, čo som uviedol, vyplýva, aké rozličné hľadiská existujú na vznik vnútrovodného ľadu a ako ťažko možno zatiaľ použiť genetickú metódu v tomto odbore hydrologie. Obráťme preto pozornosť na to, v akej forme ľad pozorujeme a ako sa jeho objavenie na rieke prejavuje.

Ak si všimneme hladinu rieky, napr. Dunaja v zime, prvými svedkami zámrazu bývajú alebo srieň pôvodu vnútrovodného, alebo ľad z dna. Súčasne na niektorých príhodných miestach sa tvorí ľad pri brehu, a to alebo zámrazom hladiny alebo na dne. U menších tokov môže dosiahnuť tento druh zámrazu značné rozmery, takže ovplyvňuje prietok v koryte, ako ešte uvedieme. Zámraz hladiny sa môže rozšíriť na väčšiu časť rieky a hovoríme o čiastočnom zámraze (zaberegy, partielle couche de glace), keď ľad pokryje celú hladinu hovoríme o celkovom zámraze (ledostav, couche de glace, embacle, Eisstand) (sn. č. 1 a 12).

Z výsledkov pozorovania môžeme konštatovať bez ohľadu na vznik, že

1. za rovnakých tepelných pomerov vznikne ľad na povrchu skôr u tokov pomalých, naproti tomu opačne, pokiaľ ide o ľad vnútrovodný.

2. v zime sú rieky zväčša napájané podzemnými vodami, ktoré majú menšie množstvo suspendovaných látok, tiež niet prachu, takže s postupom zimy ubúdajú kryštalizačné jadrá. Tiež tvorením vnútrovodného ľadu okolo plavenín sa voda čistí. Preto na začiatku zimy je vznik ľadu rýchlejší ako na konci a

3. podobne pôsobí aj ľadová pokrývka, ktorá je jednako tepelným izolátorom, jednako bráni priamemu vyžiarovaniu.

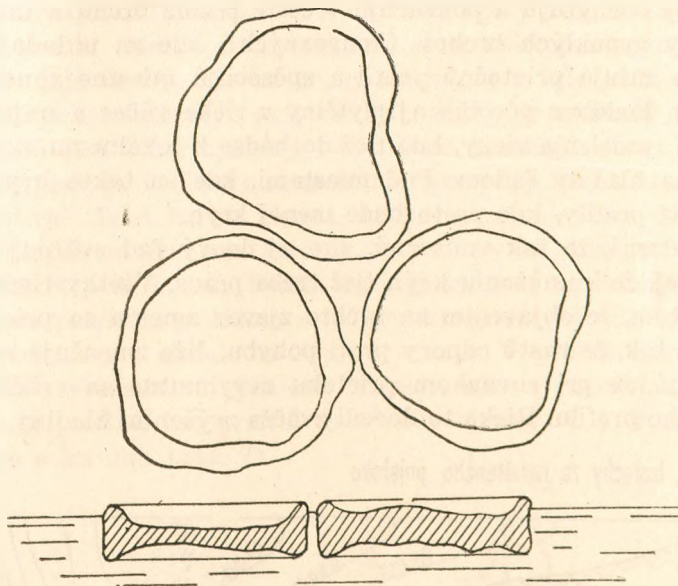
4. na vznik ľadu priaznivo pôsobia rozličné predmety, napr. stavby a hydrotechnické zariadenia vo vode. Poukazujeme tu na uvedené príklady.

Sledujme ďalej ako sa zámraz na tokoch prejavuje a ako postupuje intenzita javu.

Hovorili sme, že vnútrovodný ľad, ako aj úlomky pobrežného ľadu plávajú po povrchu unášané prúdom a hnané aj vetrom. Narážajú na seba, spájajú sa a spojené vzájomne sa otierajú. Tento pohyb spôsobuje, že sa tvoria kryhy, ktoré sa zaokrúhľujú. Nárazom odlomené kúsky sa hro-



madia na okrajoch a kryhy nadobúdajú typickú miskovitú formu s bielym okrajom (obr. 6, 7). Voda, ktorá sa preleje cez tento okraj, v tejto miske zamrzá a kryhy sa postupne zväčšujú. Pomerne silný okraj uľahčuje vzájomné spojenie a kryhy plávajú v shlukoch. Pri ich pozorovaní zaznamenávame, aký diel voľnej hladiny v pozorovacom profile tvoria a vy-



Obr. 6. Charakteristický tvar kryh.

jadrujeme tento podiel najčastejšie v desatinách alebo aj v percentách. Ak predpokladáme, že v určitom úseku sa nám počet kryh nemení, musí byť preto v rozličných profiloch tohto úseku rovnováha daná rovnicou

$$S_1 B_1 v_1 = S_2 B_2 v_2 \text{ m}^2/\text{s},$$

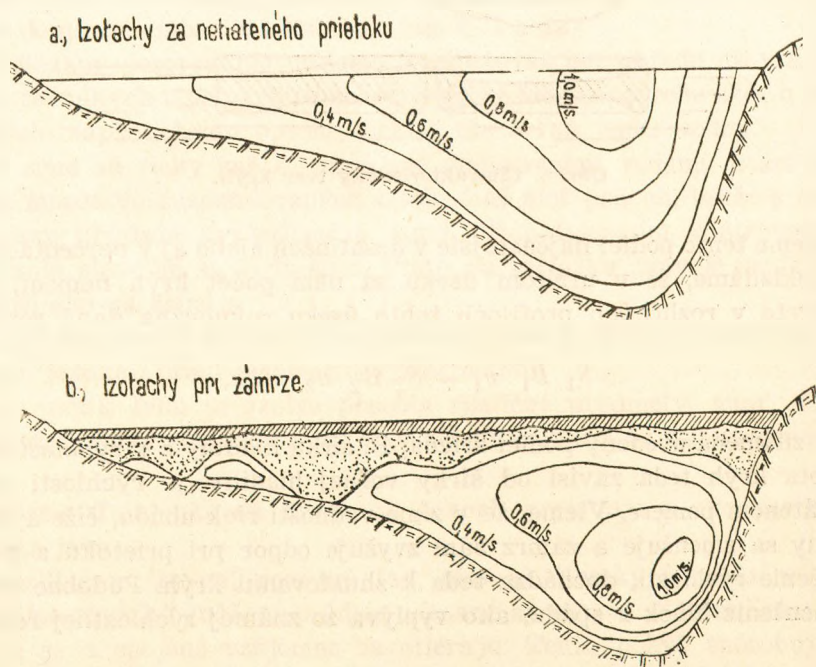
kde  $S$  znamená uvedený podiel srieňa,  $B$ , šírku hladiny a  $v$  rýchlosť vody. Hustota kryh teda závisí od šírky voľnej hladiny a rýchlosti prúdu v obrátenom pomere. Vieme, že v zime vodnosti riek ubúda, čiže aj šírka hladiny sa znižuje a zámraz sám zvyšuje odpor pri prietoku a pôsobí zmenšenie rýchlosti, dochádza teda k zhutňovaniu kryh. Podobne pôsobí aj zmenšenie hĺbok a spádu, ako vyplýva zo známej rýchlostnej rovnice

$$v = K\sqrt{RJ}$$

Vieme, že spádu rieky ubúda od prameňov k ústi, preto tiež rastie pokrytie hladiny kryhami z dôvodov geografických.

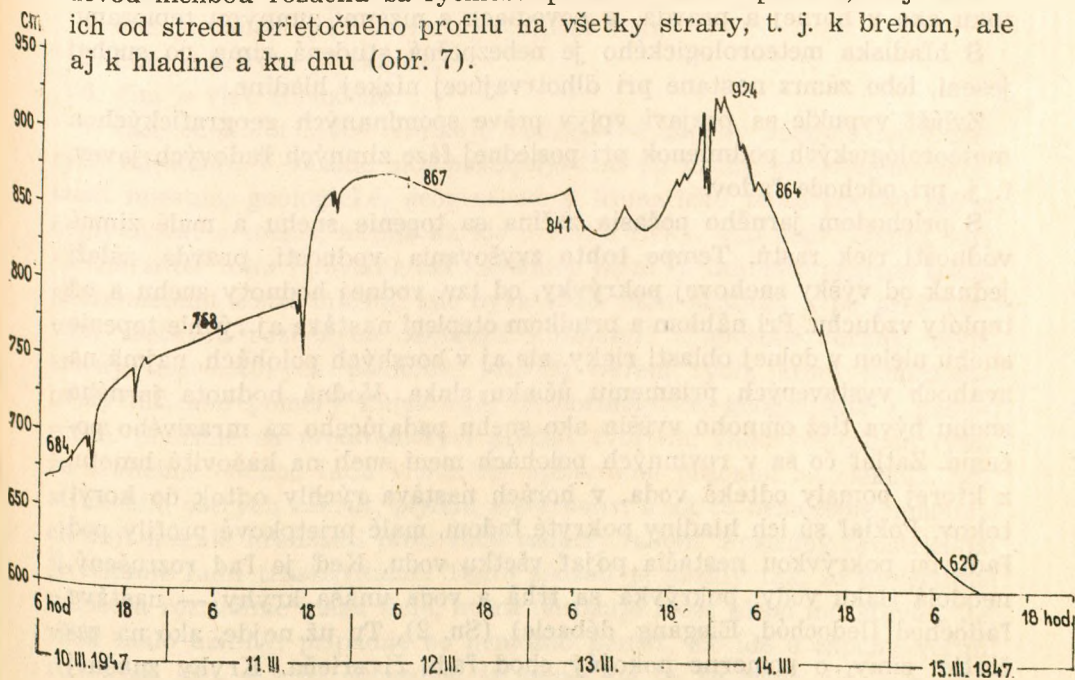
Na miestach, kde rieka meandruje a tvorí zákruty, prechádza prúdnicou od jedného vnútorného oblúka čiže konkávneho brehu k druhému. Vnútorné trenie a odpor medzi kryhami, ako aj sotrváčnosť spôsobujú, že sa kryhy odchyľujú a pokračujú v ceste pozdĺž brehu a tak narážajú na plytčiny vypuklých brehov (konvexných), kde sa ukladajú, spájajú a postupne zužujú prietočný profil a spôsobujú miestne zhustenie krých do zákruty. Podobne pôsobia aj plytčiny v rieke vôbec a najmä ostrovy v miestach rozdelenia rieky, kde tiež dochádza k lokálnemu vzrastu stupňa pokrytia hladiny ľadom. Pod miestami, kde sa takto kryhy hromadia, sú opäť profily, kde preto bude menej krých.

Je prirodzené, že tak vnútorný, ako aj dnový ľad zväčšujú vnútorné trenie, ďalej, že k unášaniu krých tiež treba práce. Všetky tieto okolnosti svedčia o tom, že objavením sa týchto zjavov zmenia sa prietokové pomery, a to tak, že rastú odpory proti pohybu, čiže znižuje sa rýchlosť. To znamená, že pri rovnakom prietoku nevyhnutne sa zväčšuje vzrast prietokového profilu. Rieka to docieli zväčša zvýšením hladiny. Táto okol-



Obr. 7. Vplyv ľadu na rozdelenie rýchlosti v koryte.

nosť je pre hydrologa veľmi významná, lebo ju musí vziať do úvahy a zredukovať prietoky odpovedajúce danej hladine a platnej mernej krivke prietokov. Tieto pomery sa postupne zhoršujú. Ako sme už spomenuli, v určitých profiloch a najmä v dolnej trati riek, kde je malý spád a rýchlosť, rastie percento kryh plávajúcich na hladine. Keď vyplnia celú hladinu, zamrzajú, ľad sa zastaví a nastáva úplný zámrz. Zámrz postupuje proti prúdu. Medzi dvoma miestami s nahromadenými kryhmi vzniknú tak celé úseky, kde už kryhy nevniknú a kde je hladina skoro voľná. V takýchto miestach sa tvorí ľad ďalej, je unášaný k miestam zámru, vniká pod ľad a usadzuje sa na jeho spodnej strane. V Čechách sa hovorí o „podbíjení“. Rieka sa mení na zatvorený kanál, ktorého profil sa stále zužuje. Jeho horná klenba, najprv dosť hladká, sa postupne zdršňuje prilepeným srieňom. Prietokové pomery sa zmenily od základu, nastáva prietok pod tlakom. Podľa toho sa mení aj rozdelenie rýchlostí. Vieme, že pri prietoku profilom s voľnou hladinou pribúda rýchlosti od brehu k prúdnici a v zásade od hladiny k dnu. V profile uzavretom ľadovou klenbou rozdelia sa rýchlosti podobne ako v potrubí, t. j. ubúda ich od stredu prietokového profilu na všetky strany, t. j. k brehom, ale aj k hladine a ku dnu (obr. 7).



Obr. 8. Limnigrafický záznam pohybu hladiny Dunaja v Bratislave v kritických dňoch ľadovej zápchy 10.—14. marca 1947.

Pri brehoch, kde sú rýchlosti najmenejšie a kde ešte pôsobí aj v dobe mrazu najintenzívnejšie ochladenie, rastie najrýchlejšie aj hrúbka ľadu. Stred ľadu je jednak opotrebovaný, drsnosť sa znižuje, inokedy býva profil čím ďalej tým viac zapchávaný vnútorným ľadom, prípadne bývajú prúdom pod ľad strhávané aj kryhy, ktoré sa vyššie uvoľnili. Prietokové pomery sa preto veľmi rýchlo menia, čo sa prejavuje v prudkých zmenách hladiny, ktorá sa dvíha, alebo klesá (obr. 8). Tým sa pokrývka opäť rozrušuje a ľad sa posunuje smerom toku. Na dolných úsekoch je však pokrývka najtrvanlivejšia a tak postupuje zámraz smerom proti prúdu.

Vo všeobecnosti ľadová pokrývka sa zosilňuje a rastie, čím je

1. zima tuhšia,
2. hladina rieky pri zámraze nižšia (lebo rýchlosti sú menšie, styk s ľadom dlhší),
3. menší spád.

S hľadiska geografického sú nepriaznivejšie pomery v dolnej trati toku ako v hornej a pravda, v povodiach s nižšími zimnými teplotami.

S hľadiska meteorologického je nebezpečná studená zima po suchej jeseni, lebo zámraz nastane pri dlhotrvajúcej nízkej hladine.

Zvlášť vypukle sa prejaví vplyv práve spomínaných geografických a meteorologických podmienok pri poslednej fáze zimných ľadových javov, t. j. pri odchode ľadov.

S príchodom jarného počasia začína sa topenie snehu a malé zimné vodnosti riek rastú. Tempo tohto zvyšovania vodností, pravda, záleží jednak od výšky snehovej pokrývky, od tzv. vodnej hodnoty snehu a od teploty vzduchu. Pri náhlom a prudkom oteplení nastáva aj rýchle topenie snehu nielen v dolnej oblasti rieky, ale aj v horských polohách, najmä na svahoch vystavených priamemu účinku slnka. Vodná hodnota jarného snehu býva tiež omnoho vyššia ako snehu padajúceho za mrazivého počasia. Zatiaľ čo sa v rovinných polohách mení sneh na kašovitú hmotu, z ktorej pomaly odtieká voda, v horách nastáva rýchly odtok do korýt tokov. Pokiaľ sú ich hladiny pokryté ľadom, malé prietokové profily pod ľadovou pokrývkou nestačia pojať všetku vodu. Keď je ľad rozrušený, neodolá tlaku vody, pokrývka sa trhá a voda unáša kryhy — nastáva ľadochod (ledochód, Eisgang, débacle) (Sn. 2). Tu už nejde, ako na začiatku zimy, o pomerne pokojný chod ľadu či srieňa. Kryhy značnej hrúbky a rozmerov sú vo veľkom množstve unášané rozvodneným tokom potiaľ, pokiaľ sa nestretnú s prekážkou, ako sú vodné stavby, stavby pri

vode alebo konečne ešte zamrznutý úsek rieky. V tomto prípade sa zastaví masa krých nad horným koncom ľadovej pokrývky, ktorá môže povoliť len veľmi silnému tlaku. Rieka toho dosiahne len tak, že sa rýchlo zvyšuje hladina nad zápchou (zatôr, Eisstoss, Eisveretzung, barrière de glace) (Sn. 3) až tak, že stačí na odstránenie prekážky, alebo že si voda prerazí inú cestu a obíde prekážku. Tento druhý prípad nastane najmä pri plytkých tokoch.

Je prirodzené, že takéto situácie znamenajú vážne ohrozenie pobrežia a sú tým nebezpečnejšie, že ich nevieme vopred určiť, aspoň nie ich rozsah, na rozdiel od normálnych povodní, proti ktorým môžeme urobiť vopred potrebné opatrenia. Zatiaľ sa zväčša musíme uspokojiť určením podmienok, za ktorých je ich výskyt najpravdepodobnejší. Vo všeobecnosti možno povedať, že najnebezpečnejší ľadochod nastane,

1. keď bola hladina rieky pri zámrze nízka, lebo v tomto prípade je aj malý prietokový profil pod ľadom,
2. čím je krutejšia a dlhšia zima, lebo ľad je hrubý,
3. čím prudkejšie je topenie snehu, lebo prietok rýchlo rastie,
4. čím je menší spád a tým aj rýchlosť toku,
5. čím je koryto plytkejšie,
6. čím je viac zdivočené.

V čase odchodu ľadov vznikajú nebezpečné zápchy súčasne na viacerých miestach. V zásade síce postupuje ľad po prúde, no rozličné okolnosti miestne, geologické, geografické a klimatické tento pochod môžu ovplyvňovať a meniť, najmä ak ide o veľké rieky, ako napr. Dunaj, kde sa charakter toku i povodia tak radikálne mení. V takomto prípade treba skúsenosťami zistiť miesta, kde býva chod ľadu najťažší a po preštudovaní všetkých rozličných okolností rozhodnúť o spôsobe obrany, resp. zmeny nepriaznivých pomerov, pravda, okrem tých, ktoré nemôžeme ovplyvniť, ako pomery klimatické, meteorologické, geografické a geologické. Snažíme sa predovšetkým predísť tvoreniu ľadových zápch tým, že uľahčíme odchod ľadu vhodnými úpravnými prácami na riekach, odstránením ostrých zákrut, plytčín a ostrovov, a ak to nemôžeme, musíme chrániť územie hrádzami proti vode vzdutej ľadom. Posledný prostriedok je trhanie ľadu traskavinami. Tento spôsob je možný tak, že umiestime nálože a rozrušíme masu ľadu, ktorá ohrozuje most alebo inú stavbu. Je však málo účinný, prípadne ho nemožno použiť, ak ide o zápchu veľmi rozsiahlu (Sn. 4 a 5). Dôvodom je mimo iné to, že často nie je možné k takým miestam ani pristúpiť, tým menej tam dopraviť potrebné, veľmi značné množstvo traskavín. Okrem toho je výsledok veľmi problematic-

ký a môže byť aj celkom anulovaný zásahom prírody, napr. opätovným zámrazom. Z týchto dôvodov sme siahli v ťažkej a zdanlivo neriešiteľnej situácii za ľadochodu v marci 1947 k poslednému prostriedku, totiž k leteckému bombardovaniu zápchy. Použilo sa pritom veľké množstvo bômb a zúčastnili sa ho početné naše lietadlá, ako aj lietadlá sovietskej okupačnej armády z Rakúska.

Doteraz som sa zaoberal najmä všeobecným vysvetlením, ako a za akých podmienok ľad vzniká a ako sa v jednotlivých fázach prejavuje. Konštatoval som, že nevieme na základe pozorovania iných hodnôt kvantitatívne určiť intenzitu určitého ľadového zjavu, a preto musíme dedukovať len zväčša z poznatkov získaných priamymi pozorovaniami ľadových zjavov. Zdôraznil som pritom, ako najmä pri odchode ľadov dochádza k situáciám úplne nepredvídaným a náhlym, ktoré sú práve preto také nebezpečné, a to jednak priamym dynamickým účinkom ľadových krýh, jednak zátopami, ktoré vznikajú zahatením prietoku vody v rieke a ktoré dosahujú väčší rozsah, ako to býva pri normálnych povodniach. Keďže nám obyvateľom Bratislavy je najbližší Dunaj, poviem v stručnosti niečo o významných ľadových povodniach na Dunaji.

Slovenský úsek Dunaja tvorí prechod z podmienok platiacich pre rakúsky úsek, ktorý je pod vplyvom Álp, do pomerov platných pre úsek maďarský, kde prevláda klíma kontinentálna (stepná). V horskom území tečie Dunaj a jeho prítoky v údoliach, kde slnko nemá možnosť ohriať vodu. Sostupujúce prúdenie chladného vzduchu prispieva k ďalšiemu ochladeniu vody, opačne pôsobí vznik hmly, ktorá bráni vyžiarovaniu tepla a tým poklesu teploty. Prítoky, pokiaľ nezamrzajú, privádzajú do Dunaja vodu silne ochladenú. Snehové srážky ostávajú ležať a neprispievajú k vodnosti, ktorá postupne klesá a tým sa znižuje rýchlosť prúdu. Keď príde niekoľko jasných, mrazivých nocí, môže nastať za takto pripravených predpokladov rýchly vznik chodu ľadov (sriene; Sn. 6 a 7).

Devínskou súteskou vstupuje Dunaj do uhorskej nížiny, kde je jeho široká hladina vystavená účinkom poveternostných prvkov tam panujúcej kontinentálnej klímy. Sú to najmä náhle príchody studených vzdušných hmôt zo severu a východu, ktoré pôsobia rýchle ochladenie, čo môže byť urýchlené intenzívnym vyžiarovaním za jasných nocí. Za týchto podmienok, pri nízkych zimných hladinách, pomerne malej rýchlosti Dunaja sú dané priaznivé predpoklady na tvorenie sa ľadu a jeho postupné zastavovanie sa proti prúdu, ako už bolo popísané.

Ak nastane topenie snehu v krajinách nad ľadovou zápchou, silne stúpajúca hladina zdvihne ľadový kryt, ženie ho so sebou a ohrozuje ním

všetky objekty stavajúce sa mu do cesty, kopiač 10 m vysoké bariéry, aj vyššie, ako sme videli pri Bratislave v zime r. 1929 (Sn. 8 a 9). Ak nestačí hladina zdvihnúť ľadovú pokrývku, vystúpi nad ňu a vznikajú záplavy, ktoré sú niekedy katastrofálne. Obeťou takýchto katastrof bola viac ráz v minulosti aj Bratislava, ako o tom svedčia záznamy archivára mesta Bratislavy.

Najstaršie dáta o zamrznutí Dunaja máme z r. 1455.

Prvé záznamy o tom, kedy sa pohly ľady zamrznutého Dunaja a spôsobili v Bratislave veľkú povodeň, máme v mestských protokoloch z r. 1526. Voda sa prevalila cez hrádze, rozliala sa po dolnej časti mesta a zaplavila i spodnú časť hlavného námestia. Medzi obyvateľstvom nastal veľký zmätok, lebo voda sa valila do mesta v noci. Za obeť padlo 53 ľudských životov, čo bol na tamojší stav obyvateľstva značný počet. Povodeň strhla viac domov a tiež mnoho domácich zvierat zahynulo. Len z mestského hospodárstva sa utopilo 97 kráv a mnoho menšieho dobytku a hydiny. Táto povodeň zapríčinila také veľké škody, že kráľ odpustil obyvateľstvu mesta dane na 3 roky.

R. 1586 boli veľmi tuhé zimy v našom meste. Ľad na Dunaji bol taký pevný, že vojsko s ťažkými vozmi a delami prešlo viac ráz cez Dunaj na druhú stranu.

R. 1606 časť cisárskeho vojska táborila na ľade bratislavského Dunaja a vojsko si tam nielen rozložilo ohne, ale dokonca — ako čítame v záznamoch — aj vola upieklo.

Tiež r. 1619 zamrzol v Bratislave Dunaj. Tu je poznamenané, že v ľade Dunaja bola urobená priehľbeň, kde priviedli bratislavského pekára Mayera, ktorého už viackrát brali na zodpovednosť pre podvody s múkou. Menovaný bol viackrát namočený do ľadovej vody a znova vyťahnutý na výstrahu všetkým nepoctivým obchodníkom.

Dunaj zamrzol i r. 1683. Vtedy mestská rada na rozkaz cisárskeho generála nechala urobiť v Dunaji priehľbeň, aby bol tak v okolí znemožnený prístup do mesta tlupám tureckých vojakov.

R. 1721 v dôsledku náhleho oteplenia dunajské ľady sa pohly a spôsobili v meste veľkú povodeň, ktorou utrpela najmä podzámočká štvrť. Rybárske a lodnícke tovaryšstvo sv. Mikuláša na pamiatku tohto navštívenia, prípadne za odvrátenie podobných úderov dalo namaľovať krásny obraz pre podhradský mikulášsky kostol. Tento obraz sa tam udržal až do r. 1913. Po veľkom požiari, zúriacom vtedy v Bratislave, sa stratil.

Najvýznačnejšia povodeň tohto druhu bola v zime 29. januára r. 1809. K. u. K. privat Pressburger Zeitung o nej píše: Dňa 29. januára 1809

ráno zdvihol sa ľadový príkrov za strašného hrmotu, čiastočne odplával, no znova sa zastavil. Rieka rýchlo stúpla a zaplavila najskôr pravý breh Dunaja. Pred 10. hodinou večer uvoľnila sa na nešťastie vyššie stojaca ľadová zápcha, uvoľnené ľady narazily veľkou silou na masy ľadu pri Bratislave. Voda sa potom rozliala s veľkou prudkosťou a rýchlosťou do mnohých častí mesta, vnikla do pivníc, zaplavila všetky nižšie ležiace ulice a spôsobila všade skazu a hrôzu. Všetky pri brehu upevnené lode a plavidlá boli odtrhnuté a ohromnými ľadovými kryhami zničené alebo hodené na domy. Mnohé iné lode, veľké stromy, člny, drevá, tesané drevo, trámy plávaly s veľkými kusami ľadových kryh po nižšie položených uliciach. Predmestia Cukrmandl, Kvetná dolina, Vydrické predmestie, mestská promenáda, Lendlerova ulica, Ondrejská, Grösslingova, Dunajská, Hutterova a Dlhá, celé okolie Rybárskej brány až k Lorencovej bráne boli celkom zatopené, dokonca až na Jánske (Primaciálne) námestie vnikla voda a spôsobila všade veľké škody.

Povodňou najviac utrpela Petržalka. Celá dedina (asi 127 domov) bola srovnaná so zemou.

Veľká povodeň zúrila i r. 1837, kedy sa nahromadily ľady vyššie nad Bratislavou a na druhom mieste pod Bratislavou. 27. januára prevalila voda ľadovú hradbu nad Bratislavou a keďže druhá nižšia hradba jej zastavila cestu, vyliala sa na mesto. Väčšina obyvateľstva stratila hlavu vo všeobecnom zmätku, ale predsa sa našli odvážlivci, ktorí ešte zavčasu sa ponáhľali k druhej hromade ľadu pod Bratislavou a nasadením vlastných životov urobili prietrž, čím nastal odtok a iba zásluhou toho sa vyliata voda skoro vrátila do svojho koryta a nespôsobila také veľké škody.

V tom istom roku ešte raz sa zastavily ľady v Bratislave, a to 21. februára. Začaly sa kopíť do hradby. Bratislavskí obyvatelia však poučení predchádzajúcimi udalosťami vynasnažili sa zo všetkých síl o odvrátenie nebezpečenstva. Druhý raz už povodeň nebola.

O rok neskoršie r. 1838 bola zase veľmi tuhá zima a ľady zamrznutého Dunaja popustily. Občania zavčasu zabránili vytvoreniu ľadovej hradby pred Bratislavou. Vtedy Bratislava nebola postihnutá povodňou, hoci nižšie ležiace mestá, Ostrihom, Budín, Pešť boli zaplavené vodou a veľmi zničené. V Budapešti bolo celkove zničených 54 % domov a len 25 % ostalo nepoškodených. Na úseku 170 km pod mestom v páse širokom 30 km bolo zaplavených 91 obcí a zatopených 500.000 ha.

Veľká ľadová povodeň postihla Bratislavu 5. februára 1850. Vtedy bolo mesto postihnuté v tých istých častiach, ako za povodne r. 1809. Od Rybárskej brány až po Michalskú ulicu stála voda 5 stôp = 1,58 m vysoko.



Výšku vtedy dosiahnutej hladiny ukazujú značky nachádzajúce sa na radnici, na rohu Sedlárskej ulice, na Masarykovom nábřeží a na Cukrmandli. Vodná hladina za tejto katastrofálnej povodne bola o 212 cm vyššia ako za povodne r. 1899.

Treba sa tu ešte zmieniť o povodniach z našej nedávnej minulosti.

Pri ľadochode 21. februára 1876 vystúpila hladina Dunaja v Bratislave na 868 cm, v Komárne dosiahla najväčšiu zaznamenanú výšku 758 cm.

Nasledovali ešte ďalšie ľadové povodne, ako napr. v rokoch 1893, 1895, 1899, 1902, 1909, 1927, 1929, 1947 z ktorých predposledná bola v mnohých ohľadoch význačná, ako o tom svedčia obrázky (Sn. č. 8, 9, 10, 11).

V živej pamäti nás všetkých je situácia z februára 1947. Vtedy už od polovice decembra 1946 prišli silné mrazy v celom povodí Dunaja a teploty klesly až pod  $-20^{\circ}\text{C}$ . Podobne aj v januári klesly teploty na strednom Dunaji až na  $-27^{\circ}\text{C}$ . Za tohoto počasia nastal už po 16. decembri chod srieňa a koncom mesiaca miestami hladina celkom zamrzala. Tento mráz bol síce na niekoľko dní po prechodnom oteplení v druhej polovici januára prerušený, ale po nastávajúcich tuhých mrazoch sa pokryla veľká časť nášho Dunaja na dlhú dobu ľadovou pokrývkou, ktorú nestačilo rozrušiť mierne oteplenie po 10. februári. Až 5. marca preniká do povodia Dunaja tropický vzduch, takže v dolnom povodí vystúpila teplota až na  $15^{\circ}\text{C}$ . Na severnom toku mrazy ešte trvaly aspoň v noci, hoci cez deň nastal pri vysokom stave slnka odmäk. Za tejto poveternostnej situácie oslabuje zámraz Dunaja v dolnom úseku, čo je častým a pre nás zvlášť cenným úkazom. No napriek tomuto pomerne priaznivému vývinu sa uplatňujú všetky nami už vymenované nevýhody:

1. Dunaj zamrza koncom decembra pri značne nízkej hladine,
2. zima bola veľmi tuhá a zámraz Dunaja trval dlho, ľad mal čas zosilnieť. V západnej Európe bol január 1947 najstudenejší za posledných 150 rokov,
3. odchod ľadu nastal neskoro, keď už vysoko stojace slnko prispelo k rýchlemu odmäku v Alpách,
4. už z minulosti známe miestne vplyvy, ako sú stav koryta a trasy Dunaja, najmä však Bratislavy sa dotýkajúca zákruta pod odbočením Malého Dunaja.

Aký bol za týchto pomerov stav Dunaja v Bratislave? Chod srieňa nastáva v decembri pri nízkych stavoch okolo 160 cm a malom prietoku asi  $800\text{ cm}^3/\text{s}$ . Pri zastavovaní ľadov koncom mesiaca hladina dosť rýchlo stúpa a s obyčajnými výkyvmi sa pohybuje v medziach vodných stavov 500—600 cm, čo je asi o 4 m vyššie než by odpovedalo vtedajšiemu

nížkemu prietoku z dôvodov už skôr vysvetlených. Za týchto stavov začína 10. marca stúpať vodnosť alpského Dunaja a súčasne nastáva aj pohyb ľadov v hornej trati. Hladina v Bratislave sa rýchlo dvíha (pozri limnigram obr. 8) a nastáva situácia, ktorú už vyše mesiaca predvídali všetci tí, ktorí majú dbať o ochranu pri nebezpečenstve povodní.

Presahovalo by rámec tejto štúdie, ak by som mal popísať a vysvetliť všetky úvahy o opatreniach od konca januára do marca. Len v stručnosti poviem, že po rekognoskácii, ktorú sme robili už koncom januára z lietadiel a pri ktorej sa nám javil stav ľadov na Dunaji, ako vidno z fotografie (Sn. 12), bolo nám jasné, že okrem bežných bezpečnostných opatrení je ešte v našej moci pokus rozbiť najnebezpečnejšie zápchy leteckým bombardovaním. Preto už dlho pred kritickým okamžikom boli pripravené letištia, lietadlá a bomby. Išlo teda len o vhodný okamih. Priskoré bombardovanie by bolo neúčinné, lebo Dunaj by nám aktívne nepomohol, hladina by totiž nebola taká vysoká, aby tlak vody stačil prervať bombardovaním narušenú pokrývku a ďalej pri mrazivom počasí by voda znova zamrzala. Okrem toho nebolo celkom isté, či bude nevyhnutné siahnuť k tomuto dosiaľ u nás nevyskúšanému, teda neistému a do istej miery aj riskantnému prostriedku.

Keď však zprávy z horného Dunaja svedčily o rýchlom stúpaní vodnosti a bolo tu nebezpečenstvo, že sa uvoľnia zápchy na rakúskom úseku Dunaja, bolo 11. marca rozhodnuté zasiahnuť letecky. Nízka hmla však bombardovaniu zabránila a tak sa začalo len nasledujúceho dňa a pokračovalo sa až do 13. marca. Tohto dňa nastala kritická situácia. Hladina kolísala nad stavom 850 cm (pozri obr. 8) a rýchly rast vodnosti hrozil ďalším nepredvídaným stúpaním. Bolo treba začať evakuáciu obyvateľstva z najviac ohrozených miest. Po 18-tej hodine nastávalo rýchle stúpanie, prerušované výkyvmi, svedčiacimi o pohyboch ľadu a o tom, že si voda razí pod ľadom nové cesty. Po polnoci dosahovala hladina Dunaja stavu 924 cm, čo je len 46 cm menej, ako za jednej z najväčších povodní r. 1899. Pri tomto stave došlo pred jednou hodinou v noci k pretrhnutiu ľavej pobrežnej hrádze na Malom Dunaji (pozri limnigram) a k zatopeniu Breneru a Prievozu. Takmer bezprostredne potom nastáva dost rýchly pokles hladiny, svedčiaci o tom, že sa zápcha uvoľnila a ľady sa pohly. Po viacerých dňoch a nociach nepretržitej služby a napätia bol to iste pocit úľavy, strpčený len pomyslením na nešťastie, ktoré postihlo zaplavené osady. Ostáva zodpovedať otázku: čo spôsobilo, že sa ľady pohly a zápcha povolila?

Iste to bol jednak dostatočný tlak, odsiahnutý stúpaním hladiny, jednak

stav rozrušenia ľadovej pokrývky. Ťažšie je už povedať, čo a v akej miere prispelo k obidvom vplyvom. Treba si uvedomiť, že pri každom namáhaní hmoty vzniká na určitom stupni kritické napätie, keď stačí už len malé prekročenie, aby hmota neodolala. Tak je to aj v danom prípade. Náhle čiastočné uvoľnenie profilu pretrhnutím hrádze znamenalo zväčšenie rýchlosti a tým aj zväčšenie statického tlaku o ďalšiu dynamickú složku. Bombardovanie opäť prispelo k urýchleniu prirodzeného rušenia celistvosti ľadovej pokrývky. Snáď je táto odpoveď na danú otázku príliš všeobecná, ale pochybujem, že na ňu možno odpovedať konkrétnejšie. Ostáva ešte ďalšia, nie menej dôležitá otázka, a to: či išlo o situáciu výnimočnú, a ak nie, aká je pravdepodobnosť, že sa opäť dostaví, a koľko, či a aké sú cesty, ktoré tomu môžu zabrániť.

Na prvú časť otázky nám odpovedia záznamy o povodniach v minulosti a výsledok štatistických spracovaní z obdobia asi 70 rokov. Vybral som z neho niekoľko charakteristických údajov pre Dunaj v Bratislave.

Predovšetkým treba konštatovať, že na čs.-maď. úseku Dunaja stúpila dosiaľ za ľadových zápch hladina Dunaja značne vyššie ako pri povodniach pravidelných, t. j. nespôsobených ľadom. V Bratislave napr. dosiahla hladina o 212 cm vyššie, v Ostrihome o 168 cm a v Budapešti o 205 cm. Stalo sa tak pri spomenutých význačných zimných povodniach r. 1809, 1838 a 1850.

*Chod srieňa* bol zaznamenaný už 17. novembra 1908, v priemere začínal v tomto období 70-tich rokov 24. decembra.

*K úplnému zámrazu* došlo najskôr r. 1889, a to už 9. decembra, no v priemere začínal zámraz 5. januára. Najdlhšie trval tento zámraz r. 1947, a to 68 dní (r. 1880 67 dní), v priemere 9,3 dňa.

*Ľadová pokrývka sa začala trhať* v priemere 7. februára, najneskôr 16. marca v rokoch 1895 a 1929.

*Ľadové zjavy celkom zmizly* v priemere 9. februára, najneskôr však až 23. marca r. 1929. Trvaly najdlhšie r. 1947 a to 88 dní (r. 1891 trvaly 85 dní), v dlhodobom priemere 28 dní. Zimné obdobie s možným výskytom ľadových zjavov na Dunaji v Bratislave trvalo 126 dní, v priemere 47 dní a s úplným zámrazom 97 dní, v priemere 33 dni.

*Najčastejšie sa objaví ľad* na Dunaji v Bratislave v pentáde od 16. do 20. januára, a to v dlhodobom priemere každý druhý rok.

S rovnakou pravdepodobnosťou 50 % prestúpi čas so zámrazom 26—30 dní. Pre zaujímavosť uvádzam, že vo Viedni len 11—15 dní, v Budapešti 31—35 dní. Celkový zámraz bol pozorovaný najčastejšie medzi 26.—30. januárom, a to asi raz za 6 rokov.

Že objavenie sa ľadu na Dunaji v našom úseku je zjavom obvyklým, o tom svedčí skutočnosť, že za 66 rokov sa len 4 razy nevyskytol, čiže v priemere len raz za 16 rokov je Dunaj celkom bez ľadu.

K uvedeným dátam treba poznamenať, že po úpravách na strednú vodu, uskutočnených najmä po povodni 1899, sa síce pomery pri chode ľadov trocha zlepšili, no nie veľmi prenikavo. Z toho vyplýva, že nebezpečná situácia z r. 1947 je síce dosť vzácna, no vôbec nie výnimočná, čiže možná aj v budúcnosti. Výhliadky iste nie uspokojujúce. Teda druhá časť položenéj otázky je stále aktuálna.

Ako zabrániť vzniku podobného nebezpečenstva, čím mu môžeme predísť? Nemôžeme iste zmeniť pomery klimatické a dôsledky z nich vyplývajúce, ako napr. postup zámruzu zdola nahor a vznik celistvej pokrývky, poveternostnú situáciu a podobné prírodné podmienky. Ostáva teda len odstrániť to, čo tvorenie zápchy uľahčuje, t. j. vhodne zmeniť najmä pomery prietokové, smerové, prípadne spádové. Ako je známe, pripravuje sa vybudovanie vodných diel na Dunaji. Bude iste zodpovednou a ťažkou úlohou projektanta a výskumníkov voliť správne riešenie úpravy objektov a manipulácie s nimi tak, aby sa režim ľadov nezhoršil, ale naopak, zlepšil. Predpokladom je dokonalé poznanie tohto režimu, k čomu môže byť skromným príspevkom táto štúdia a ďalej skúsenosti získané s podobnými vodnými dielami na iných tokoch.

### Záver

Tvorenie sa ľadu na riekach a ľadový režim riek vôbec sú dosť složitým problémom, ktorý u nás ešte uspokojivo nevieme riešiť, ba ani materiál neshromažďujeme v žiadúcej miere. Hospodársky význam poznania ľadového režimu tokov je značný, lebo nám dáva kľúč k voľbe účinnej ochrany pred škodami, ktoré ľad v rozličnej forme a rozličným spôsobom môže zapríčiniť. Len dokonalá znalosť ľadových pomerov na rieke pomôže správne riešiť vodné alebo vodou dotknuté stavy každého druhu. Článok má prispieť k soznámeniu sa s problematikou.

### LITERATÚRA

1. Dr. J. L a m b o r, *Geneza lodu prądowego* (Wiadomości służby hydrologicznej i meteorologicznej I—III, Warszawa 1948).
2. Dr. V. L á s z l o f f y, *Régime des glaces des rivières* (La houille blanche, 1948).
3. Pozorovací materiál slovenskej hydrologickej služby.
4. Sborník *Trudy gosudarstvennogo gidrologičeskogo instituta*, Voprosy gidrofiziki. Pod redakcijej V. K. Davydova. Leningrad 1941.
5. Sborník *Etudes sur le régime des glaces du Danube* (Cred, 1934).

## РЕЗЮМЕ

Образование льда на реках и ледовый режим рек вообще довольно сложная проблема, которая у нас еще не разрешена удовлетворительно и даже материал по этому вопросу не собирается в достаточной степени. Хозяйственное значение познания ледового режима рек большое, т. к. это дает нам ключ для выбора действенной охраны от ущерба, который лед в той или иной форме может принести и только совершенное знание ледового режима на реке поможет правильному решению всех видов построек соприкасающихся с водой. Эта статья должна служить ознакомлению с проблематикой.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Eisbildung auf den Flüssen und das Eisregime der Flüsse im allgemeinen ist ein verwickeltes Problem, welches wir noch nicht befriedigend bei uns lösen können, wobei wir sogar auch das nötige Material nicht in genügendem Mase sammeln im Stande sind. Die wirtschaftliche Bedeutung des Erkenntnis des Eisregimes auf den Flüssen ist bedeutend, weil es uns den Schlüssel zur Wahl eines wirksamen Schutzes vor Schäden gibt, welcher das Eis in verschiedener Art und Form verursachen kann. Nur vollkommene Kenntnis der Eisverhältnisse auf dem Flusse kann zur richtigen Lösung der Wasserkraftwerke und Wasseranlagen aller Art beistehen. Der Beitragsartikel soll zur Erkenntnis der Problematik dienen.



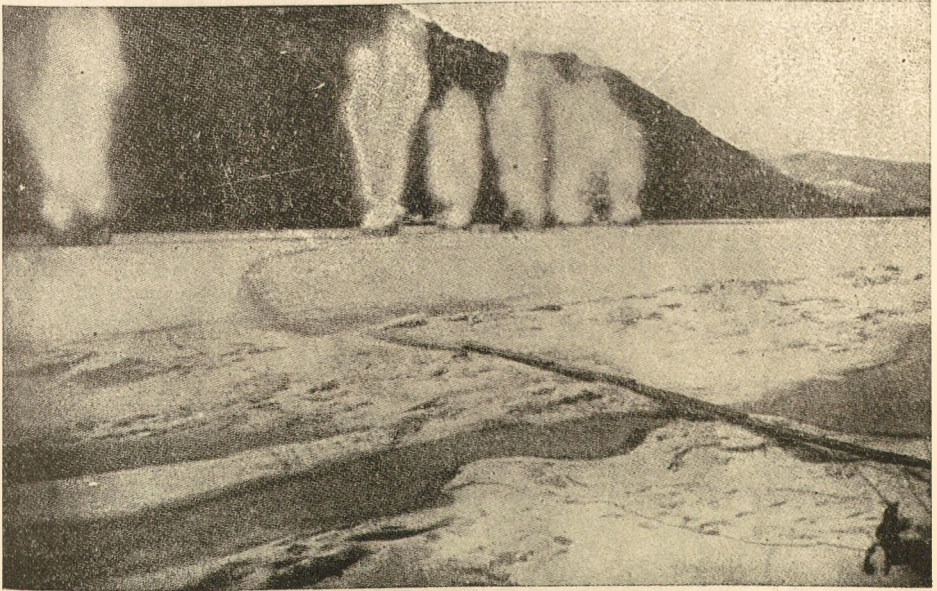
*Sn. 1.* Zamrznutá hladina Dunaja v Bratislave.



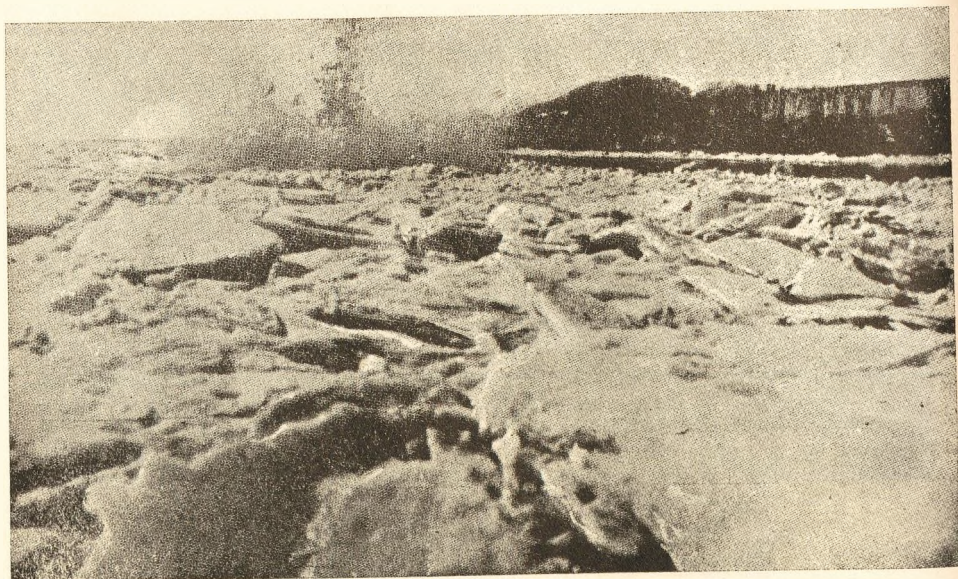
*Sn. 2.* Ladochod na Dunaji v Bratislave.



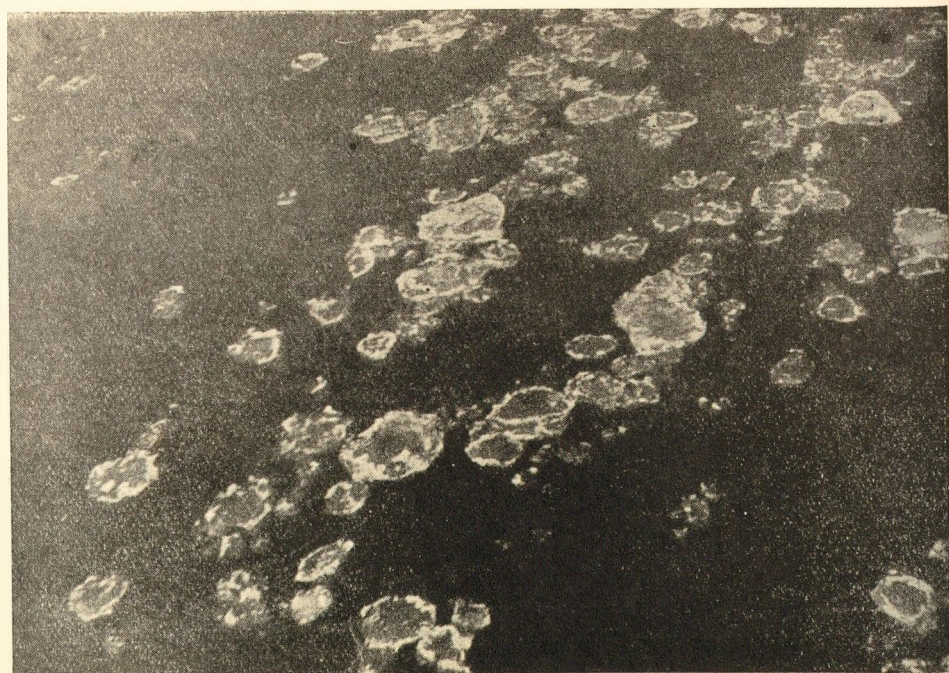
*Sn. 3. Ľadová zápcha na Dunaji r. 1929 pod Bratislavou.*



*Sn. 4. Trhanie ľadu na Dunaji.*

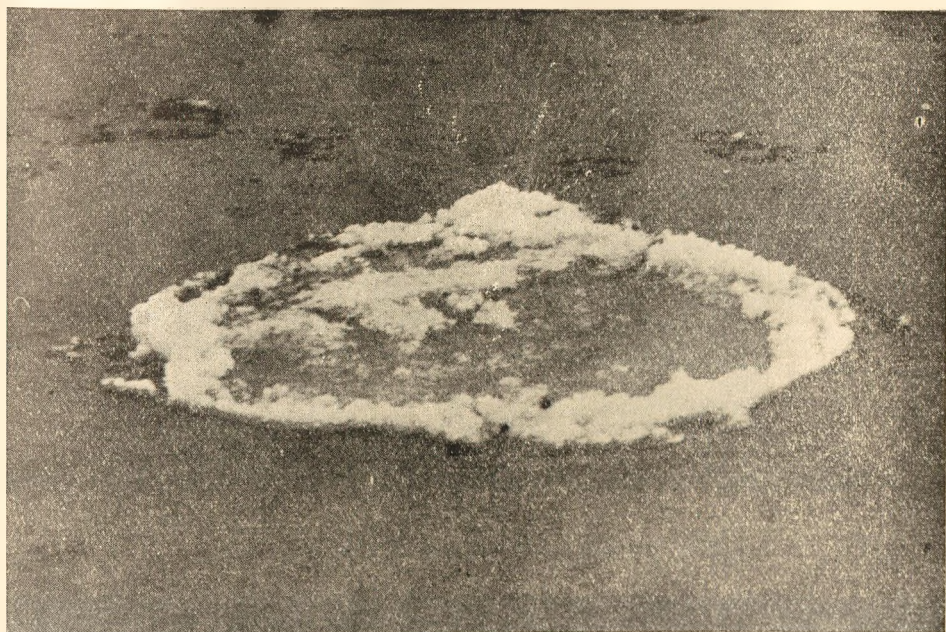


*Sn. 5. Trhanie ľadu na Dunaji. Explózia nálože.*

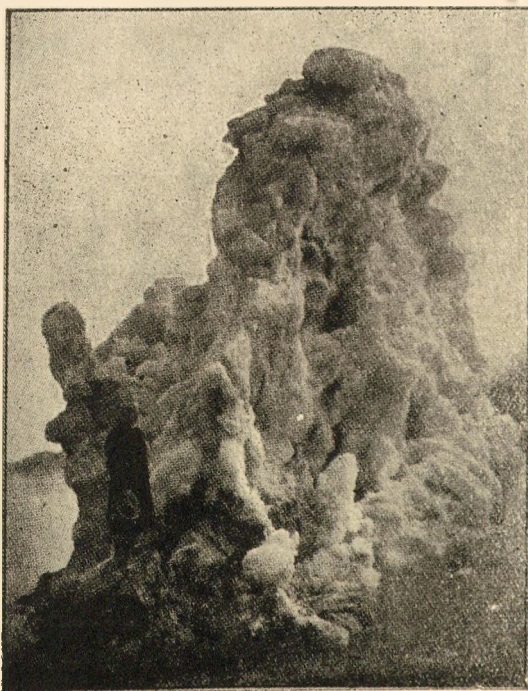


*Sn. 6. Chod srieňových krýh na Dunaji.*

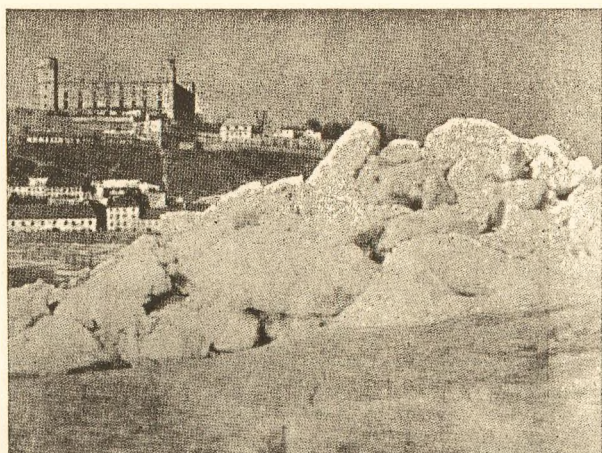




*Sn. 7. Srieňová kryha.*



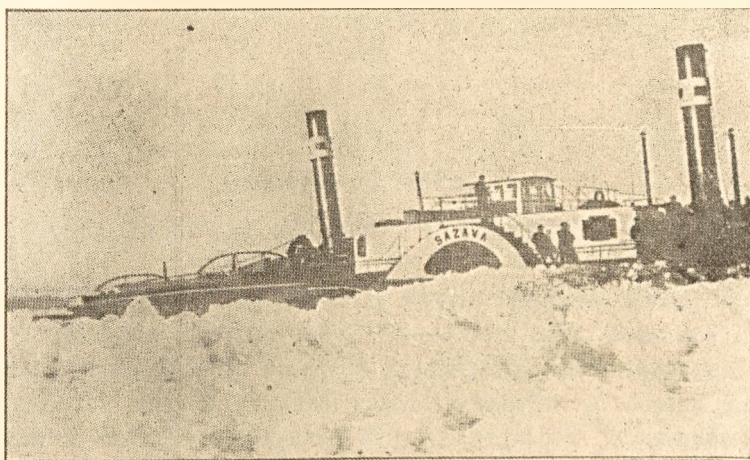
*Sn. 8. Zbytky ľadovej zápchy pod Bratislavou r. 1929.*



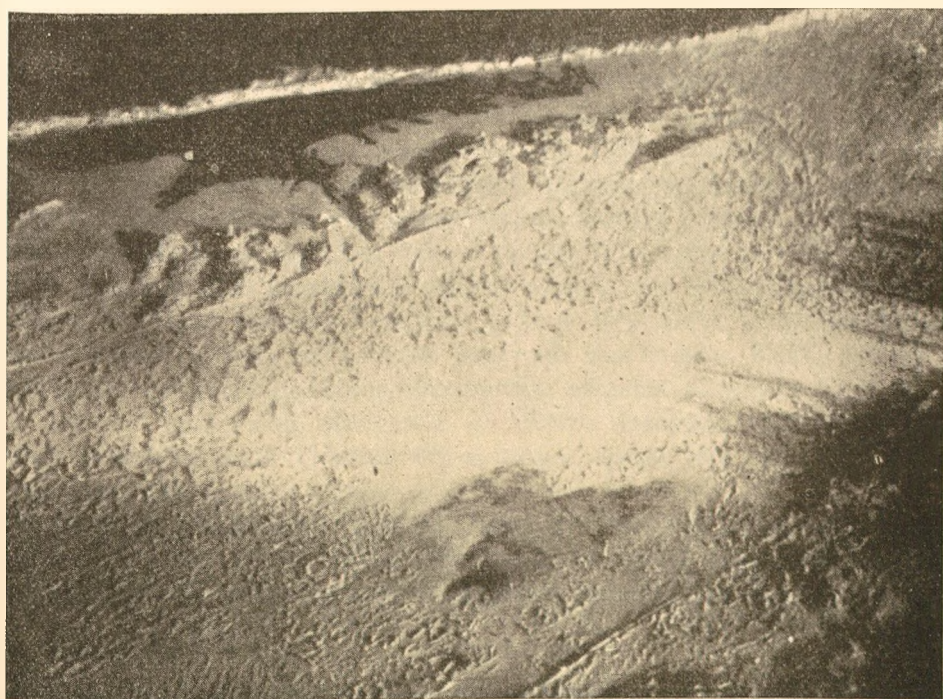
*Sn. 9.* Nahromadený ľad na pravom brehu Dunaja v Bratislave po odchode zápchy r. 1929.



*Sn. 10.* Nahromadené kryhy na brehu Dunaja v hornej trati r. 1929.



*Sn. 11.* Parník Sázava uprostred ľadov r. 1929.



*Sn. 12.* Zamrznutý Dunaj na trati pod Bratislavou v januári 1947.