

HUBERT KRÍŽ

ZÁSoby VODY NA ZEMI

H. Kríž: *Water storages of the Earth*. — Sborník ČSGS 88:1:55—62 (1983). — This article contains information on size, surface distribution and time changes of water storages of the Earth. It deals with survey of former and contemporaneous knowledge of water volume which forms the whole hydrosphere as well as its individual components on continents and in the world ocean.

Úvod

Voda je jednou z nejvíce rozšířených látek na Zemi. Je nezbytnou podmínkou existence živých organismů a ze všech přírodních zdrojů, které člověk využívá, má mimořádný význam. Na Zemi se vyskytuje v omezeném a prostorově i časově velmi nerovnoměrně rozděleném množství. Převážná část z celkových zásob vody na Zemi je ve světovém oceánu a jen malý zlomek z těchto zásob tvoří sladká voda, zvláště v takových formách, z nichž může lidstvo získávat vodu pro svoje potřeby.

Základním předpokladem racionálního využívání vody z vodních útvarů jak na zemském povrchu, tak i pod tímto povrchem, je znalost velikosti zásob vody, které jsou v nich obsaženy. Proto již v minulém století se vyskytly ojedinělé pokusy, jejichž snahou bylo zjistit objem vody v jednotlivých vodních útvarech nebo složkách oběhu vody na Zemi, např. přítoku vody ze všech kontinentů do světového oceánu. Šlo však převážně pouze o odhady a velmi přibližné výpočty množství vody obsaženého v určitých formách soustředěné na zemském povrchu. V první polovině 20. století se uskutečnily některé přesnější výpočty objemu vody v oceánech a mořích (např. E. Kosinna 1921) a zejména v šedesátých letech, kdy byly poprvé stanoveny celkové zásoby vody na Zemi (M. I. Lvovič 1963, R. L. Nace 1964, S. Dyck 1968 aj.). Mimořádně významným příspěvkem k upřesnění představ o velikosti zásob vody na Zemi jsou výsledky bilancí a výpočtů objemu vody v jednotlivých vodních útvarech i celé hydrosféře, které se uskutečnily v rámci plnění programu Mezinárodní hydrologické dekády v letech 1965—1974 v SSSR a byly jedním z hlavních podkladů pro tento článek.

Zásoby vody a její oběh na Zemi

Zásobou vody se rozumí její množství nahromaděné v určitém okamžiku v některých z vodních útvarů, tj. různých formách trvalého nebo dočasného soustředění vody na zemském povrchu (voda povrchová) nebo pod tím povrchem (voda podpovrchová) ale i v atmosféře. Veškerá voda na Zemi, která je jak ve vodních útvarech na souši, tak i ve světovém oceánu a v atmosféře, tvoří hydrosféru.

Povrchová voda se trvale vyskytuje v říční síti stálých vodních toků i v dalších přirozených vodních útvech (jezerech, močálech, bažinách, ledovcích, trvalé sněhové pokrývce) a umělých vodních nádržích (rybnících, přehradních nádržích). Kromě toho se též voda občas vyskytuje v některých dočasných formách, např. říční síti občasných vodních toků, v zaplavovaných územích, v povrchovém nesoustředěném odtoku (ronu) a ve sněhové pokrývce i ledu, jehož trvání je pouze dočasné.

Podpovrchová voda v tekutém, plynném nebo i pevném skupenství (podzemní led) vyplňuje průliny (póry), tj. prostory různého tvaru, velikosti a původu v půdě nebo mezi zrný zemin či pukliny a trhliny v pevných horninách, jakož i větší dutiny, např. ve zkrasovělých horninách. Podpovrchová voda vzniká převážně tím, že voda z povrchu zemského se vsakuje do půdy a hornin. Menší část se vytváří v hlubokých vrstvách zemské kůry kondenzací vodních par, které se uvolnily při tuhnutí magmatu. V oblastech s aktivní vulkanickou činností se může tato voda dostat až na zemský povrch, zejména ve vodách termálních pramenů a gejzírů.

Na Zemi probíhá nepřetržitý oběh vody. Tato globální a uzavřená cirkulace vody je nedílnou součástí celozemské výměny látek. Z fyzikálního hlediska jde o trvalou změnu stavu a místa vody, jehož příčinou je nerovnoměrné množství slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, dále rotace a přitažlivost Země. Energie slunečního záření způsobuje vypařování vody jak z povrchu pevniny, tak zejména z hladiny světového oceánu. V důsledku tepelných rozdílů na zemském povrchu dochází k proudění vzdušných mas, čímž se tyto rozdíly vyrovnávají a současně jsou unášeny vodní páry do značných vzdáleností od míst jejich vzniku. Největší množství vody se vypařuje z oceánů a moří. Převážná část vypařené vody kondenzuje v ovzduší a opět spadne zpět na mořskou hladinu a pouze malá část (8,3 %) se dostane až nad kontinenty, kde vodní páry kondenzují a dopadají v podobě atmosférických srážek na zemský povrch. Srážková voda se buďto vypaří, anebo odteče po povrchu a dostane se do vodních toků, kterými je odváděna zpět do moří a oceánů. Relativně nejmenší část vody se vsákne do půdy a hornin, čímž se doplňují zásoby podpovrchové vody v nich obsažené. Ty postupně odtékají podzemními cestami rovněž do povrchových toků.

Nepřetržitý oběh vody probíhá jak v ovzduší, tak i na zemském povrchu, ale i pod tímto povrchem. Podpovrchový oběh vody začíná infiltrací srážkové vody, popřípadě i povrchové vody z toků, jezer a umělých vodních nádrží do půdy nebo i do odkrytých vrstev hornin. Půdní voda je zčásti odebírána rostlinami a spotřebuje se při fyziologických procesech, které v nich probíhají, nebo se vypaří z jejich povrchu. Kromě toho se voda vypařuje i z povrchu půdy. Část vody prosakuje vlivem působení gravitace vrstvami hornin k hladině podzemní vody a doplňuje její zásoby. V horninovém prostředí se voda pohybuje ve směru sklonu vrstev do míst, kde dochází k jejich odvodňování buďto v podobě pramenů, anebo častěji rozptýleným odtokem podzemní vody přímo do koryt vodních toků, popřípadě i moří při pobřeží.

Cyklus oběhu vody na Zemi se během roku vícekrát opakuje. Přehled o tom, jaké množství vody se této všeobecné cirkulace vody na Zemi zúčastní, je v tabulce 1, v níž jsou obsaženy údaje o roční vodní bilanci vypočítané M. I. Lvovičem (1974). Bilance byla sestavena zvláště pro část souše, která je odvodňována vodními toky do světového oceánu (78,4 % povrchu souše), a zbývající část tvořenou bezodtokovými oblastmi se sa-

mostatným oběhem vody. Z převážné části souše jsou odváděny vody do Atlantského oceánu a jeho okrajových či vnitřních moří (34 %). Podstatně menší části pevnin jsou odvodňovány do ostatních oceánů, a to do Tichého oceánu 17 %, do Severního ledového oceánu 15 % a do Indického oceánu 14 % z celkové rozlohy souše.

Tab. 1. Vodní bilance na Zemi za rok (podle M. I. Lvoviče 1974)

	Složka vodní bilance	Objem vody km ³	Vrstva vody mm
Světový oceán 361 300 000 km ²	srážky	411 600	1 140
	přítok z řek	41 000	114
	výpar	452 600	1 254
Část souše s odtokem 116 700 000 km ²	srážky	106 000	910
	odtok	41 000	350
	výpar	65 000	560
Část souše bez odtoku 32 100 000 km ²	srážky	7 500	238
	výpar	7 500	238
Celý povrch Země 510 000 000 km ²	srážky	525 100	1 030
	výpar	525 100	1 030

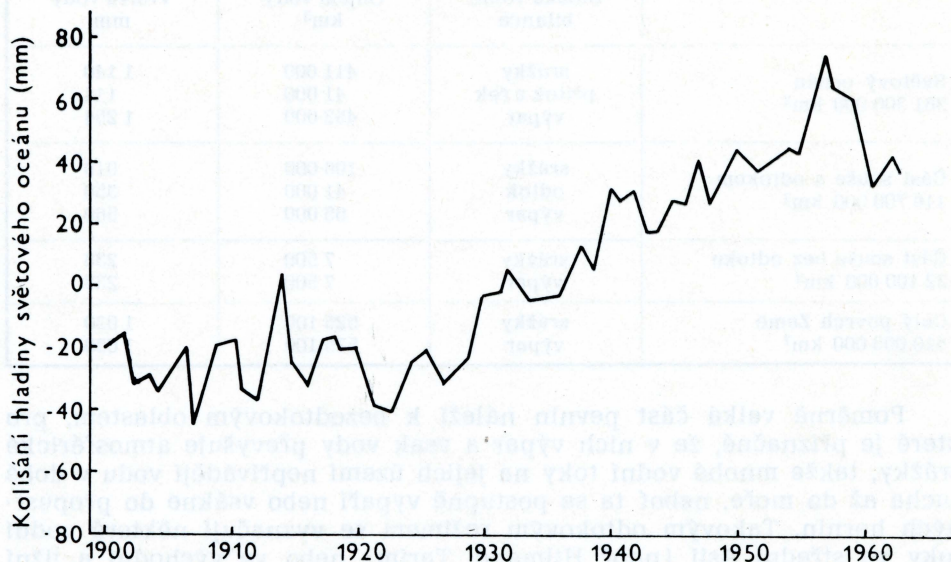
Poměrně velká část pevnin náleží k bezodtokovým oblastem, pro které je příznačné, že v nich výpar a vsak vody převyšuje atmosférické srážky, takže mnohé vodní toky na jejich území nepřivádějí vodu v době sucha až do moře, neboť ta se postupně vypaří nebo vsáknou do propustných hornin. Takovým odtokovým režimem se vyznačují některé vodní toky ve střední Asii (např. Hilmand, Tarim) nebo ve východní a jižní Africe (např. Uebi Šebeli, Džuba, Okavango). Jiné poměrně vodné toky přitékají do suchých oblastí a jejich průtok se v nich postupně snižuje. Např. průtok Nilu se v úseku mezi Mongallou a ústím Sobatu zmenšuje v průměru asi o 400 m³.s⁻¹, tj. o 45 %. Ještě více se snižuje průtok Amudarji a Syrdarji, takže do Aralského jezera přivádějí přibližně polovinu, resp. pouze čtvrtinu z průtočného množství ve výše ležícím úseku toku.

Velikost zásob vody na Zemi

Velikost celkových zásob vody na Zemi je možno stanovit pouze na základě znalostí objemu vody obsažené ve vodních útvech jak na zemském povrchu, tak i pod tímto povrchem, což mnohdy představuje obtížný úkol vzhledem k rozsahu oceánů i moří, jezer i zvodní, ale i technickým možnostem změření množství vody obsaženého v těchto útvech. Zvláště nesnadné je zjištění velikosti zásob podzemních vod, neboť tyto vody vyplňují volné prostory v horninách zemské kůry až do poměrně velkých hloubek, jakož i objemu vody v korytech řek, protože se mění ve velkém rozsahu v závislosti na změnách klimatických prvků (srážek, výparu atd.), ale i zásazích člověka (zadržování vody v nádržích, odběrech vody apod.). Rovněž i úroveň hladin vody v mořích a oceánech kolísá, takže i objem vody není v nich stále stejný. Nejde však pouze o krátkodobé výkyvy mořské hladiny způsobené vlněním nebo dmutím, nýbrž i o dlouhodobé změny její úrovně. Z průběhu kolísání průměrné úrovně

hladiny vody ve světovém oceánu za období 1900—1962 (obr. 1) je patrné, že i množství vody v tomto oceánu se trvale mění.

Přesnost údajů o množství vody obsažené v jednotlivých vodních útvarech i celé hydrosféře se měnila podle toho, jak byly získávány nové poznatky např. o reliéfu dna oceánů, průtocích vody v tocích, složení zemské kůry apod. Současný stav znalostí objemu vody na Zemi dosahuje přesnosti $\pm 3\%$ z jejich velikosti (M. I. Lvovič 1974), což představuje asi 40 mil. km³ vody.



1. Kolísání průměrné hladiny světového oceánu v letech 1900—1962.

První přesnější výpočty zásob vody ve světovém oceánu pocházejí z počátku 20. století. Jde především o celkový objem vody v oceánech a mořích 1 370 323 tis. km³, který byl uveřejněn v práci E. Kosinnové (1921). Tento údaj přebírali ještě o desítky let později do svých prací např. E. Bruns (1958), M. I. Lvovič (1974, 1979) a další.

Objem vody tvořící celou hydrosféru i její jednotlivé části stanovil však až M. I. Lvovič (1963), R. L. Nace (1964) a S. Dyck (1968). Za nejpresnější lze však považovat údaje o rozdělení zásob vody na Zemi, které jsou výsledkem výpočtů a bilancí sovětských geografů a hydrologů z let 1965—1974, kdy probíhala Mezinárodní hydrologická dekáda (MHD). Přehled o velikosti celkových zásob vody na Zemi i jejím objemu v jednotlivých částech hydrosféry poskytuje tabulka 2. Jsou v ní porovnány výsledky bilance zásob vody na Zemi podle různých autorů.

Z tabulky 2 je patrné, že celková zásoba vody na Zemi je udávána v rozsahu od 1 336 802 060 km³ (S. Dyck 1968) do 1 454 193 000 km³ (M. I. Lvovič 1974). Rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším vypočítaným objemem vody činí více než 117 mil. km³. Kromě údajů uváděných v tab. 2 jsou známy i výsledky některých dalších bilancí globálních zásob vody, které se však vesměs velmi blíží některé ze vzpomínaných hodnot a jsou v rozsahu zjištěného rozpětí.

Tab. 2. Zásoby vody na Zemi

Část hydrosféry	Plocha km ²	Objem vody v km ³				Mirovoj vodný balans ... (1974)
		R. L. Nace (1964)	S. Dyck (1968)	M. I. Lvovič (1974)		
Světový oceán	361 305 000	1 321 890 000	1 300 000 000	1 370 323 000	1 338 000 000	
Podzemní vody	134 800 000	8 340 000	8 000 000	60 000 000	23 400 000	
Z toho sladké podzemní vody	134 800 000			4 000 000	10 530 000	
Půdní vody	82 000 000	66 720	65 000	85 000	16 500	
Ledovce a stálá sněhová pokrývka	16 227 500	29 190 000	28 500 000	24 000 000	24 064 100	
Podzemní led v dlouhodobě zmrzlé půdě	21 000 000				300 000	
Voda v jezerech	2 058 700	229 350	223 000	275 000	176 400	
Z toho sladká voda v jezerech	1 236 400	125 100	123 000	150 000	91 000	
Voda v bažinách	2 682 600				11 470	
Voda v korytech toků	148 800 000	1 251	1 230	1 200	2 120	
Voda v umělých nádržích				5 000		
Voda v živých organismech	510 230 000		1 130		1 120	
Voda v atmosféře	510 230 000	12 900	12 700	14 000	12 900	
Celkové zásoby vody na Zemi	510 230 000	1 359 720 848	1 336 802 060	1 454 193 000	1 385 984 610	
Z toho sladké vody	148 800 000	37 726 598	36 702 060	28 253 200	35 029 210	

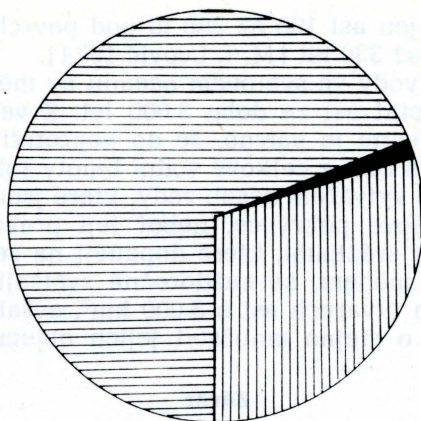
Objem vody ve světovém oceánu je udáván různými autory v mezích od 1 300 000 000 km² (přibližný odhad S. Dycka, 1968) až po 1 370 323 000 km³, což je údaj převzatý M. I. Lvovičem (1974) z práce E. Kosinové (1921). Podle jiných pramenů je ve všech oceánech a mořích obsaženo od 1 305 500 000 do 1 360 000 000 km³ vody. Celkové množství vody ve světovém oceánu dosahuje podle rozličných autorů od 94 do 97,6 % z celkových zásob vody na Zemi.

Z hlediska využívání vody pro potřeby lidské společnosti jsou velmi významné zásoby podzemních vod. Rozsah a dosah zvodnění zemské kůry je závislý na její geologické stavbě, taktonických poměrech a účinné pórovitosti hornin. Předpokládá se, že příznivé podmínky pro výskyt podzemní vody by mohly být až asi do hloubky 10 km pod zemským povrchem. Skutečný dosah zvodnění hornin je však patrně menší a nejčastěji se uvádí, že maximální hloubkou, v níž se mohou vyskytovat podzemní vody, které se zúčastňují oběhu vody na Zemi, je asi 2 000 m, nejvýše 5 000 m. Z nedostatečných znalostí rozsahu a hloubkového dosahu zvodnění hornin zemské kůry vyplývají značné rozdíly v objemu celkových zásob podzemních vod uváděném různými autory. S. Dyck (1968) udává celkové množství podzemních vod obsažených v zemské kůře jen 8 000 000 km³ a R. L. Nace (1964) pouze o málo vyšší (8 340 000 km³), kdežto M. I. Lvovič (1974, 1979) uvádí mnohonásobně vyšší zásoby podzemních vod, a to 60 000 000 km³. Pravděpodobně nejpřesnější je údaj (23 400 000 km³), ke kterému dospěli sovětští vědci při bilanci zásob vody na Zemi v letech 1965—1974. Z tohoto objemu však jen menší část (10 530 000 km³) připadá na sladké podzemní vody, neboť s přibývajícím hloubkou se mineralizace podzemních vod zvyšuje a sladké vody postupně přecházejí v silně mineralizované a slané vody, popřípadě až rosoly (Mirovoj vodnyj balans i vodnyje resursy Zemli, 1974).

Malá část podzemních vod se vyskytuje na Zemi v podobě podzemního ledu v dlouhodobě zmrzlé půdě, která pokrývá asi 14 % povrchu pevnin. Celkový objem vody v podzemním ledu na Zemi je odhadován asi v rozsahu od 200 do 500 tis. km³ a v průměru se udává hodnotou 300 tis. km³. Pro přesnější stanovení tohoto množství vody nejsou známy dostatečně přesné údaje o plošném rozložení dlouhodobě zmrzlé půdy a zejména o jejím obsahu podzemního ledu.

Velké zásoby vody jsou v ledovcích a stále sněhové pokrývce v Antarktidě a Grónsku, ale i ve velehorách. I když proti původním údajům je nyní uváděná (Mirovoj vodnyj balans i vodnyje resursy Zemli, 1974) velikost zásob vody v této formě jejího výskytu na Zemi menší asi o 4 až 5 mil. km³, stále ještě představuje 68 % z celkového množství sladké vody na Zemi (obr. 2).

Značné rozdíly jsou ve velikosti zásob půdních vod na Zemi, které jsou odhadovány v rozpětí od 16 500 km³ až do 85 000 km³. Objem půdních vod, vypočítaný sovětskými vědci během MHD, představuje pouze 20 až 25 % z velikosti zásob těchto vod, které uvádějí jiní autoři. Rovněž sovětskými geografy a hydrology upřesněný celkový objem vody v jezerech na Zemi je menší asi o 47 000 až 99 000 km³. Zvlášť důležité je, že se ve výpočtu zmenšila i původní velikost zásob vody obsažených ve sladkovodních jezerech více než o čtvrtinu (tab. 2), neboť tato jezera představují pro některé země významný zdroj vody. Naproti tomu podle nových údajů je celkový objem vody trvale obsažený v korytech všech vodních toků na Zemi asi o 70 až 75 % vyšší, což je mimořádně význam-



2. Schéma rozdělení zásob sladké vody na Zemi.

1 — voda v ledovcích a stálé sněhové pokrývce, 2 — sladké podzemní vody, 3 — voda v korytech řek, umělých vodních nádrží, sladkovodních jezerech, bažinách, atmosféře a živých organismech.

né, protože jde o hlavní zdroj, z něhož se získává voda pro potřeby lidstva. Více než dvojnásobné množství vody ($5\,200\text{ km}^3$) je podle údajů Mezinárodní přehradní komise zadržováno v umělých vodních nádržích, které byly vybudovány na vodních tocích a z nichž je odebírána voda pro různé účely.

Intenzita oběhu zásob vody na Zemi

Zásoby vody v jednotlivých částech hydrosféry se vlivem všeobecné cirkulace vody na Zemi neustále doplňují a vyměňují. K výměně veškerého množství vody, obsaženého v různých vodních útvarech na zemském povrchu, v zemské kůře i v atmosféře, dochází za různě dlouhou dobu. Nejrychlejším oběhem se vyznačuje voda v atmosféře, neboť veškeré vodní páry v ovzduší se vymění v průměru asi za 10 dní. Cyklus oběhu vody v korytech vodních toků se opakuje asi jednou za 29 dní, což lze vypočítat z toho, že celkové množství vody, které přitéká ze všech řek do světového oceánu za rok je asi $43\,800\text{ km}^3$ [Mirovoj vodnyj balans i vodnyje resursy Zemli, 1974]. Všechny povrchové vody na pevninách, tj. nejen ve vodních tocích, ale i v přirozených a umělých vodních nádržích, se podle M. I. Lvoviče (1974) vymění v průměru asi jednou za 7 let.

Zásoby půdní vody se doplňují tak intenzivně, že k jejich úplné výměně dojde pravděpodobně každý rok. Jinak je tomu s doplňováním podzemních vod, které se vyskytují v propustných horninách, zvláště v jejich hlubších vrstvách. Zásoby podzemních vod se vytvářely velmi dlouhou dobu. Vzhledem k tomu, že na jejich doplňování připadá $13\,320\text{ km}^3$ vody, tj. pouze asi 2,5 % z celkového objemu vody v rámci její roční bilance na Zemi, ke vzniku všech zásob podzemních vod na Zemi by mohlo dojít asi za 1 800 let. Podzemní vody v zóně jejich aktivní výměny, která

zasahuje do hloubky jen asi 100 až 200 m pod povrchem, by se však měly vytvořit asi za 280 až 330 let (M. I. Lvovič 1974).

Výměna veškeré vody ve světovém oceánu by měla podle výpočtů M. I. Lvoviče (1974) nastat asi za dobu 3 000 let. Z velmi pomalé výměny vody ve světovém oceánu je patrné, že do nepřetržitého oběhu vody na Zemi je zapojena malá část z celkové vodní hmoty tohoto oceánu. Nejdělnější je doba postupného vytváření zásob vody, které jsou nahromaděny v ledovcích a stále sněhové pokrývky, neboť její pravděpodobná délka je asi 8 000 let. Pevnými srážkami, které dopadají na zemský povrch trvale pokrytý ledem nebo sněhem, se každoročně zvětšují zásoby vody obsažené v těchto vodních útvarech asi o 3 000 km³, avšak současně se táním a výparem přibližně o stejné množství jejich objem zmenšuje.

Závěr

Znalost velikosti zásob vody v jednotlivých vodních útvarech i celých hlavních částech hydrosféry, jakož i intenzity jejich doplňování je velmi důležitá z hlediska využívání sladké vody pro různé účely, ať již je to zásobování obyvatelstva pitnou vodou či průmyslu nebo zemědělství užitkovou vodou. Významným příspěvkem k přesnému určení velikosti zásob vody na Zemi byla obsáhlá práce sovětských vědců, kterou významně přispěli ke splnění programu Mezinárodní hydrologické dekády v letech 1965—1974. Nové poznatky, které byly přitom získány, znamenaly upřesnění dřívějších představ o zásobách vody na Zemi a možnostech jejich využití pro potřeby lidstva.

Ze všech dosud provedených bilancí a výpočtů je patrné, že na Zemi jsou poměrně značné zásoby vody. Převážně však jde o slanou vodu v oceánech, která nevyhovuje svým chemickým složením prakticky pro žádný účel a jejíž úprava je velmi nákladná, nebo o vodu v takových formách (ledovce, stálá sněhová pokrývka, podzemní voda v hlubších zvodních), pro které je příznačné velmi pomalé doplňování jejich zásob v důsledku omezeného zapojení do všeobecné cirkulace vody. Tyto zásoby vody jsou v globálním měřítku konečné a prakticky neměnné. Pokud dochází ke změnám ve velikosti zásob vody, pak jde pouze o přeměnu z jedné formy výskytu vody v jinou, ať již vlivem přirozených hydrologických jevů (např. infiltrace a odtoku vody) nebo zásahů člověka (např. umělá infiltrace vody).

Literatura

- BRUNS E. (1958): Ozeanologie I. díl. 420 str., VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- DYCK S. (1968): Die Wasserhaushaltsbilanz unserer Erde. Wissenschaft und Fortschritt. 5:208—213, Berlin.
- KALININ et al. (1975): Globalnyj vodoobmen. 128 str., Nauka, Moskva.
- KOSINNA E. (1921): Die Tiefen des Weltmeeres. Veröffentlichungen des Institutes für Meereskunde an der Universität Berlin. Heft 9. Berlin.
- LVOVIČ M. I. (1963): Čelovek i vody. Geografizdat, Moskva.
- LVOVIČ M. I. (1974): Mirovyje vodnyje resursy i ich budušeje. 447 str., Mysl, Moskva.
- LVOVIČ M. I. (1979): World Water Resources, Present and Future. — Geojournal 3:5: 423—433. Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden.
- Mirovoj vodnyj balans i vodnyje resursy Zemli. 638 str., Gidrometeoizdat, Leningrad, 1974.
- NACE R. L. (1964): Water of the World. Natural History, 73:1:10—19. American Museum of Natural History, New York.