

BŘETISLAV SVOZIL

## KOLÍSÁNÍ ÚROVNĚ HLADINY KASPICKÉHO MOŘE DO KONCE 20. STOLETÍ

B. Svozil: *Changes of water level fluctuations of the Caspian Sea to the end of the 20th century*. – Geografie–Sborník ČGS, 112, 4, pp. 406–423 (2007). – This article deals with problems of variability level of the Caspian Sea. It brings a historical overview with an accent put on the 20th century. It points out causes of the decrease and the lift of the Caspian Sea level, mentions causes as well as consequences of these phenomena. It also deals with prognosticating; it examines whether an erroneous prognosis can influence solution of the problem and whether can cause huge damages. And it also mentions non-periodical sea sway, increasing and decreasing water level fluctuations, which can cause short-time increases or decreases the Caspian Sea level, as well as the main causes of the Caspian Sea variability level, formulation of prognoses and impacts of the level fluctuation. KEY WORDS: Caspian Sea – water level fluctuation – Kara-Bogaz-Gol Bay – water balance prediction.

### 1. Úvod

Článek, jehož podtitul by mohl znít „Od záchrany moře k záchraně od moře“, se zabývá problematikou variability úrovně hladiny Kaspického moře. Nastiňuje historický přehled s důrazem na období 20. století. Poukazuje na příčiny poklesu a zdvihu úrovně hladiny Kaspického moře, zmiňuje příčiny i důsledky těchto jevů. Zabývá se také otázkou prognóz s poukázáním na to, jak chybné prognózy mohou ovlivnit řešení problému a způsobit nedozírné následky. V krátkosti článek také zmiňuje neperiodické kolébání moře, zdvihové a poklesové jevy, které mohou způsobit krátkodobé zdvižení nebo snížení úrovně hladiny Kaspického moře.

### 2. Kolísání úrovně hladiny Kaspického moře v dávné historii

Byla to především klimatická variabilita, která způsobovala, že v jednotlivých vývojových etapách bylo Kaspické moře bezodtokovým jezerem, ale i vnitrozemským mořem spojeným se světovým oceánem systémem průlivů. Odezvy procesů, které vypovídají o nestabilní úrovni hladiny Kaspického moře, můžeme sledovat např. na abrazních terasách. Kaspické moře bylo součástí oceánu Tethys, přesněji zálivu Paratethys, který postupně zanikal. Ve třetihorách bylo jeho pozůstatkem Sarmatské vnitrozemské moře zahrnující dnešní Kaspické, Černé a Aralské moře. Z vývojového hlediska je Kaspické moře pozůstatkem Sarmatského moře, které se v pliocénu podílelo na svých dvou transgresích k severu – Akčagylské a Apšeronské (Votýpka 1988). Ve čtvrtohorách proběhly čtyři transgrese: Bakinská, Chazarská,

Chvalinská a Novokaspická. Za Bakinské transgrese (začátkem pleistocénu) vznikl průliv, který spojoval Kaspické moře s Černým mořem. Chazarská transgrese (konec středního pleistocénu) „vzvedla“ hladinu moře až o 55 m. Chvalinská transgrese (koncem pleistocénu) ukončila spojení s Černým mořem. Kaspické moře se proměnilo v uzavřené kontinentální jezero. V průběhu pleistocénu podléhalo Kaspické moře velkému kolísání úrovně hladiny v rozmezí okolo 200 m: od -150 m do +50 m. Při Novokaspické transgresi (v holocénu) dosahovalo 14 m, v rozmezí od -34 m do 20 m (Michajlov 1997).

Před naším letopočtem byla úroveň hladiny přibližně o 9 m níže než je dnes. První velký zdvih úrovně hladiny Kaspického moře proběhl v 10. století našeho letopočtu. Způsobil zatopení rozsáhlých území – „pohltil“ starou vlast Chazarů, která ležela na dolním toku řeky Volhy (Votýpka 1988). Další zdvihy úrovně hladiny proběhly ve 13.–14. století, v 17. století, na počátku 19. století a ve druhé polovině 20. století.

### 3. Pokles úrovně hladiny Kaspického moře ve 20. století

Systematické pozorování úrovně hladiny Kaspického moře započalo v roce 1837 (Klige 1992). Ve druhé polovině 19. století kolísala průměrná roční úroveň hladiny mezi -26 a -25,5 m a měla tendence ke snížení. Tato tendence se prodloužila do 20. století. Na konci 19. století začaly na severní polokouli změny klimatu, charakterizované postupným zvýšením teploty vzduchu ve všech obdobích roku. To se výrazně projevilo ve 30. letech 20. století.

V letech 1900–1929 kolísání úrovně hladiny Kaspického moře prodělalo jen malou změnu v mezích 0,5 m (tab. 1, tab. 2). Relativní stabilita úrovně hladiny moře na počátku 20. století byla podmíněna příznivými hydrologickými podmínkami, vyplývajícími z vlivů západních front v cirkulaci atmosféry – vodnatostí řek a relativní rovnováhou mezi elementy vodní bilance. Průměrná úroveň hladiny na konci období byla -26,18 m.

Relativní rovnováha vodní bilance se změnila ve 30. letech 20. století, kdy úroveň hladiny začala výrazně klesat (obr. 1). V letech 1930–1941 dosáhl deficit vodní bilance 61,7 km<sup>3</sup> za rok. Úroveň hladiny moře se snížila o 1,7 m. Průměrná úroveň hladiny na konci období byla -27,85 m. Tento pokles byl vyvolán globálními klimatickými změnami na značném území Eurasie, včetně povodí Kaspického moře. V první polovině 30. let 20. století probíhal intenzivní výpar, který byl podpořen tlakovou výší nad povodím Kaspického moře. To způsobilo aridní klima (Goluptsov, Lee 1998).

Průměrná intenzita poklesu úrovně byla 14,2 cm za rok, v některých letech ale i 30–33 cm za rok. V letech nejprudšího poklesu ustupovala břehová linie v severní části Kaspického moře v průměru o 1 km za rok.

Pro období 1942–1977 je charakteristické pomalé snižování úrovně hladiny moře. Ve 40. a 50. letech 20. století došlo ke změně klimatických podmínek: tempo snižování úrovně hladiny Kaspického moře se zpomalilo. Procesy atmosferické cirkulace meridiálního typu způsobily abnormální zvýšení vodnosti v povodí řek (Goluptsov, Lee 1998).

Za období 1932–1941 úroveň hladiny Kaspického moře poklesla o 1,74 m, plocha se zmenšila o 24 942 km<sup>2</sup> a objem o 849 km<sup>3</sup>. Další snížení úrovně hladiny Kaspického moře nastalo v letech 1941–1977 a to o 1,15 m, což vedlo ke zmenšení plochy 22 605 km<sup>2</sup> a objemu o 445 km<sup>3</sup> (Goluptsov, Lee 1999). V letech 1949–1956 dosahoval deficit vodní bilance asi 19 km<sup>3</sup> za rok a v letech

Tab. 1 – Průměrná dlouhodobá roční vodní bilance Kaspického moře

Období	Průměrná úroveň hladiny moře (m)	Příjmová část(km <sup>3</sup> /rok; cm/rok)			Výdajová část (km <sup>3</sup> /rok; cm/rok)		Výsledná bilance (km <sup>3</sup> /rok) cm/rok
		Říční přítok	Podzemní přítok	Srážky na hladinu	Výpar	Odtok do zálivu Kara-Bogaz-Gol	
1900–1929	–26,18	332,4	4,0	69,8	389,4	21,8	–5,0
		82,4	1,0	17,3	96,7	5,4	–1,4
1930–1941	–26,80	268,6	4,0	72,9	394,8	12,4	–61,7
		68,3	1,0	18,5	100,4	3,2	–15,8
1942–1969	–28,18	285,4	4,0	74,1	356,3	10,6	–3,4
		77,3	1,0	20,0	96,4	2,9	–0,9
1970–1977	–28,64	240,5	4,0	87,6	374,9	7,1	–49,9
		66,7	1,0	24,3	103,9	2,0	–13,8
1978–1991	–28,03	310,4	4,0	84,2	347,9	1,7	49,0
		82,9	1,0	22,5	92,8	0,4	13,3
1942–1991	–28,21	285,0	4,0	79,9	357,8	7,6	3,5
		76,7	1,0	21,6	96,4	2,1	0,9
1900–1991	–27,36	299,6	4,0	76,9	376,8	12,9	–9,2
		77,2	1,0	19,8	97,0	3,3	–2,3

Pozn.:

1. Složky vodní bilance: říční přítok, srážky, výpar, odtok do zálivu Kara-Bogaz-Gol za období od roku 1900 do roku 1941, vychází z dat B. D. Zaykova, od roku 1942 z dat GOIN.

2. Od roku 1980 do roku 1984 byl odtok do zálivu Kara-Bogaz-Gol zastaven, mezi roky 1985–1991 byl okolo 1,6 km<sup>3</sup> každoročně.

Podle: Goluptsov, Lee 1998

Tab. 2 – Kolísání úrovně hladiny Kaspického moře (1900–2000)

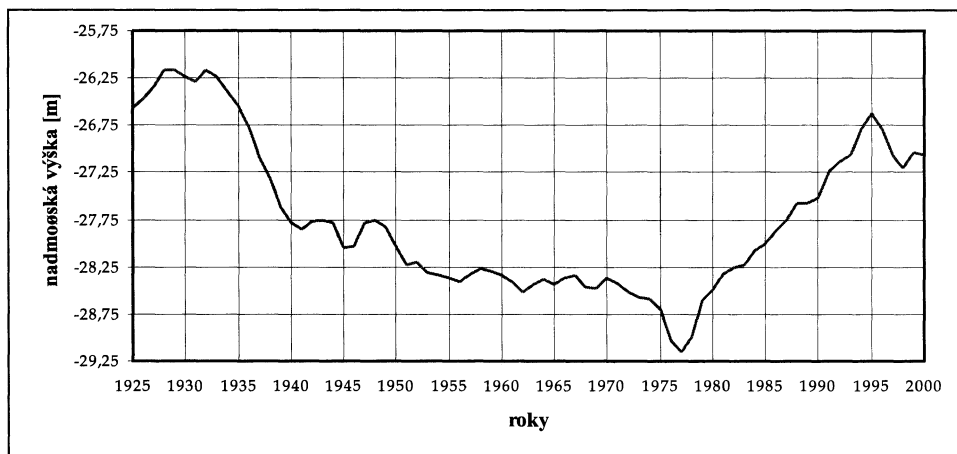
Období	Změna stavu úrovně moře
1900–1929	relativně stabilní (nebo mírné snížení)
1930–1941	prudké snížení
1942–1969	relativně stabilní (nebo mírné snížení)
1970–1977	prudké snížení
1978–1995	prudké zvýšení
1996–2000*	relativně stabilní (nebo mírné snížení)

Podle: Goluptsov, Lee 1998; \*Abuzyarov, 2000

nejnižší bod 20. století, nýbrž také na nejnižší úroveň za posledních 450–500 let. V roce 1977 dosáhla úroveň hladiny moře –29,15 m. V 70. letech 20. století vznikly hydrometeorologické podmínky velmi podobné těm, které nastaly ve 30. letech 20. století (Goluptsov, Lee 1998).

Za období 1932–1977 úroveň hladiny Kaspického moře poklesla o 2,89 m, plocha se zmenšila o 47 547 km<sup>2</sup> (11,8 %) a objem o 1 304 km<sup>3</sup> (1,65 %; Goluptsov, Lee 1999). Deficit vodní bilance dosahoval okolo 50 km<sup>3</sup> za rok. V průměru za období pomalého snižování úrovně hladiny moře (1942–1977) byl roční deficit vodní bilance 13,7 km<sup>3</sup>, což přibližně odpovídá snížení úrovně moře o 3,6 cm.

Snižování úrovně hladiny Kaspického moře pokračovalo až roku 1978, kdy došlo k dlíčí stabilizaci. V 70. letech byl pokles úrovně hladiny Kaspického moře srovnáván s poklesem úrovně hladiny Aralského moře.



Obr. 1 – Kolísání úrovně hladiny Kaspického moře v průběhu let 1925–2000. Osa x – roky, osa y – nadmořská výška (m). Úpraveno podle: Golubtsov, Lee 2000a.

### 3. 1. Některé důsledky snížení úrovně hladiny Kaspického moře (1900–1977)

Hlavní faktory, které měly vliv na snížení úrovně hladiny Kaspického moře v tomto období, byly klimatického a antropogenního charakteru – zavláždění, naplňování velkých vodních rezervoárů říční vodou, atd. (Golytsyn, Pannin, 1989).

Snížení úrovně hladiny Kaspického moře v severních částech znamenalo, že voda ustoupila o více než 20–40 km a samotná Severní část Kaspického moře se zmenšila přibližně o 27 000 km<sup>2</sup> (25 %), což způsobilo snížení rybných úlovků více než dvojnásobně. Podle Zonna (2000. In: Aladin, Plotnikov 2004), se plocha severní mělké části Kaspického moře mění v rozsahu od 92 750 do 126 596 km<sup>2</sup>. Došlo také k relativnímu zvětšení delty Volhy, k roku 1978 o 60–70 km (Bucharicin 1994). V nízko položené severovýchodní části Kaspického moře se pobřežní linie posunula na stranu moře o 120–140 km (Abuzyarov 1999). Z některých ostrovů se staly poloostrovů např. Čeleken v Turkmenistánu (Kuksa 1994), některé ostrovy se významně zvětšily např. ostrov Čečen a Tjulenij v Rusku. Nad hladinu se vynořily i nové ostrovy, zálivy přecházely v solončaky, např. Kara-Bogaz-Gol v Turkmenistánu. Nastaly také znatelné hydrometeorologické změny, zhoršila se splavnost vodních kanálů, využití přístavů, což způsobilo částečné ochromení lodní dopravy, došlo k migraci obyvatel v pobřežní zóně, nedostávalo se vody pro zemědělskou činnost atd. Všechny tyto změny znamenaly velké ekonomické a ekologické škody, ale ovlivnily i např. zdravotní stav obyvatel.

### 3. 2. Chybné prognózy

Ve 30. letech 20. století byli lidé překvapeni prudkým poklesem úrovně hladiny Kaspického moře. Od této doby vznikaly prognózy, které často předpovídaly další snižování úrovně hladiny moře s katastrofickými následky. Předcházející prognózy totiž nebraly příliš v úvahu antropogenní faktor (např. odčerpávání vod z říčních toků, závlahové zemědělství). Bylo to způsobeno tím, že ještě začátkem 20. století byl přítok do Kaspického moře relativně přiroze-

ný, bez většího zásahu člověka. Ve druhé polovině 70. let 20. století některé prognózy počítaly se snížením úrovně hladiny moře do roku 2000 na úroveň -30 až -32 m (Bjerjezmjer1979). Proto nikoho nepřekvapovalo, že kaspický region (a s tím související národní hospodářství) byl utvářen na úroveň -28,5 m. Ohromné materiální a finanční investice se vkládaly do rozvoje, respektive přestavby hospodářského systému v pobřežních oblastech. Lidé se začali stěhovat za ustupujícím mořem – stavěli obydlí, dobytčářské farmy, osídlovali ostrovy, budovali přístavy, atd. V posledních letech poklesu úrovně hladiny moře začal na suchých březích severní části Kaspického moře průzkum a těžba ropy a zemního plynu.

Je třeba dodat, že existovaly i velice přesné prognózy o zvýšení úrovně hladiny Kaspického moře, např. prognózy Afanasjeva, Smirnova, Ejgenzona. Těchto prognóz bylo ale velice málo a nebral se na ně přílišný ohled (Butajev 1998).

Z chybných prognóz vycházely návrhy řešení poklesu úrovně hladiny Kaspického moře. Technické a především finanční náklady, ale i obavy z případných negativních dopadů na životní prostředí zabránily uskutečnění mnoha projektů. Mnoho projektů také nebylo uskutečněno pro časovou tíseň, které způsobilo samotné Kaspické moře, jehož úroveň hladiny se od roku 1978 začala prudce zvyšovat.

### 3. 3. Některé návrhy řešení poklesu úrovně hladiny Kaspického moře

Dále uvádíme výběr návrhů na řešení problému z dostupných zdrojů. Jeden z návrhů počítal s natočením toků severních řek (Vyčegdy a Pečory) na jih, a to pomocí hrází. Počítalo se s vybudováním tří hrází. Hráze by natočily řeky na jih do tří obrovských vodních nádrží, jejichž celková délka měla být 161 km a celková plocha 15 500 km<sup>2</sup>. Tento projekt měl do povodí Volhy a do Kaspického moře dodat až 41 km<sup>3</sup> vody za rok (Butajev 1998).

Jiný z návrhů počítal s převedením části odtoku severních a sibiřských řek do Kaspického moře. Jako obrovská zásobárna bylo navrženo využití Oněžského zálivu v Bílém moři. Jeho břehy měly být u Soloveckých ostrovů spojeny mohutnou hrází. Poté mělo dojít k odčerpání slané vody ze vzniklé vodní nádrže a posléze k jejímu naplnění sladkou vodou z Oněgy a Severní Dviny. Tato nádrž by mohla systémem vodních cest dodávat Volze a jejím prostřednictvím Kaspickému moři 25–30 km<sup>3</sup> vody za rok.

Jeden z projektů navrhoval převedení části odtoku západosibiřských řek (Golubev, Biswas 1979, 1985): Tobolu, Išimu, Irtyše, Obu do Přiaralí a do Aralsko-Kaspické nížiny. Voda měla být využita především na zavlažování nových zemědělských ploch.

Byly rozpracovány také projekty spojení Kaspického moře s Azovským. Mělo dojít k oddělení mělké severní části Kaspického moře. Tuto část by od zbylého moře oddělovala 400 km dlouhá hráz. Cílem bylo udržet v severní části moře úroveň -28,5 m. Specifická salinita měla být zachována prostřednictvím přečerpávání slané vody ze střední části Kaspického moře, a pro vodní dopravy byly stanoveny plavební komory (Zonn 1997). Navrhováno bylo také vybudování kanálu mezi Černým a Kaspickým mořem (Dzjadevič 1979; Muchina 1995, In: Butajev 1998).

Byla realizována varianta zamezení poklesu úrovně hladiny Kaspického moře přehrazením zálivu Kara-Bogaz-Gol. Formování zálivu Kara-Bogaz-Gol do současné podoby bylo ukončeno před 4–5 tisíci lety. Od té doby nebyl nikdy záliv přirozeným způsobem přerušen. (Butajev 1998). Záliv se nachází pod úrovní hladiny Kaspického moře. Slouží jako důležitý regulátor úrovně hladiny moře

(Kritskiy 1975). Záliv charakterizuje intenzivní výpar z vodní hladiny a bezvýznamné množství srážek. Funguje jako rozsáhlá odpařovací pánev. Změny úrovně hladiny Kaspického moře měly přímý vliv na změny úrovně hladiny v zálivu.

Na začátku 30. let do zálivu Kara-Bogaz-Gol každoročně přitékalo 20–25 km<sup>3</sup> kaspických vod. Úroveň hladiny zálivu se neustále snižovala. Na kratší dobu se zastavila v polovině 40. let 20. století. V roce 1921 byl rozdíl mezi úrovní hladiny Kaspického moře a zálivu 0,44 m; v roce 1946 to bylo již 2,86 m. Zvýšení diference bylo způsobeno snížením vodního přítoku do zálivu, protože se snižovala úroveň hladiny Kaspického moře (Goluptsov 1998). V dalších letech pokračovalo snižování úrovně hladiny. Na konci 70. let 20. století byl objem odtoku do zálivu v rozmezí 5–10 km<sup>3</sup> vody za rok. Úroveň hladiny byla –32,0 m; plocha 10 000 km<sup>2</sup>. Salinita se zvýšila do 270–290 ‰ (ve 30. letech 20. století to bylo 200–210 ‰); maximální hloubka v zálivu nepřevyšovala 3–4 m (Terziev 1981, 1986; Butajev 1998).

V roce 1978 bylo rozhodnuto, že úroveň hladiny Kaspického moře se bude dále snižovat, proto záliv Kara-Bogaz-Gol bude oddělen od Kaspického moře. V březnu 1980 byl záliv oddělen od Kaspického moře. Stalo se to v době, kdy se úroveň hladiny Kaspického moře již dva roky zvyšovala.

Ukončení odtoku moře do zálivu (1980–1984), ročně tato „vodní–úspora“ dosahovala v průměru okolo 10 km<sup>3</sup>. Na začátku 80. let 20. století se maximální hloubka zálivu snížila na 1,2 m; v průměru dosahovala hloubky 0,75 m. Nicméně Bortnik (1991) uvádí, že v roce 1980 průměrná hloubka v zálivu dosahovala 2,1 m. Do roku 1984 se salinita zvýšila na 370–390 ‰ (Terziev 1986). Na konci roku 1982 se plocha zálivu zmenšila z 9 500 km<sup>2</sup> na 2 000 km<sup>2</sup>, a v roce 1984 byl završen proces vysychání zálivu – záliv se transformoval na „suché jezero“, ze kterého roznášela větrná činnost sůl do okolí.

Došlo tak k zasolení okolního prostředí Turkmenistánu, mj. i k zasolení půd. Byla narušena stoletími vytvořená přírodní dynamicky rovnovážná chemie zálivu (Butajev 1998). To mělo nedozírné následky i na chemický průmysl, který se zabýval těžbou cenných chemických prvků a solí.

Kara-Bogaz-Gol byl zcela odpojen od moře po dobu 4,5 roku, což způsobilo zadržetí více než 40 km<sup>3</sup> vody v Kaspickém moři a přispělo k vzestupu úrovně hladiny přibližně o 11 cm. V září roku 1984 byl odtok kaspických vod do zálivu částečně obnoven (objemem asi 1,5 km<sup>3</sup> za rok). Cílem byla ochrana zálivu před rostoucími negativními vlivy a pokus o obnovení a zachování minimálního objemu povrchových solí pro těžbu cenných solných minerálů. Aktuální stav chemického průmyslu není přesně známý.

V červnu roku 1992, kdy pokračovalo zvyšování úrovně hladiny Kaspického moře, byla hráz oddělující Kara-Bogaz-Gol od moře odstraněna (Butajev 1998). V dubnu roku 1992 byla plocha zálivu 4 600 km<sup>2</sup>, úroveň hladiny –33,71 m a hloubka kolísala od 0,2 do 1,4 m (Konstianoy, Lebedev 2006). Od první poloviny 90. let 20. století již do zálivu proudilo více než 20 km<sup>3</sup> vody za rok (v roce 1992 12,7 km<sup>3</sup> za rok, v roce 1995 46,4 km<sup>3</sup> za rok), což tlumilo růst úrovně moře. Vzestup vodní úrovně byl do 5 cm za rok. V roce 1995 byla hladina v zálivu o 2,6 m výše než tomu bylo v roce 1978. Vodní bilance zálivu Kara-Bogaz-Gol v posledních letech 20. století je patrná z tabulky 3.

#### 4. Zdvih úrovně hladiny Kaspického moře ve druhé polovině 20. století

Úroveň hladiny Kaspického moře se od roku 1977 začala zvyšovat. Zvyšování bylo podmíněno především klimatickými faktory. Došlo ke zvýšení obje-

Tab. 3 – Vodní bilance zálivu Kara–Bogaz–Gol v letech 1995, 1998 a 2000

Rok	Plocha zálivu (km <sup>2</sup> )	Průměrná úroveň hladiny (m)	Přítok mořské vody (km <sup>3</sup> /rok)	Srážky * (km <sup>3</sup> /rok)	Výpar ** (km <sup>3</sup> /rok)	Vodní bilance (km <sup>3</sup> /rok)	Objem zálivu (km <sup>3</sup> )
1995	18 400	-27,96	52,2	2,1	22,5	+32,8	90,9
1998	18 600	-27,40	18,0	2,1	22,5	-2,4	90,7
2000	18 600	-27,58	18,9	2,1	22,5	-1,5	87,3

Podle: Krumgalz 2002

\* Každoroční objem srážek – byla akceptována hodnota, která je rovna mnohaletému průměru.

\*\* Vodní výpar – byla akceptována hodnota, která je rovna 1 100 mm/rok (Lepeshkov 1981).

mu v příjmové části vodní bilance. Kladná vodní bilance dosahovala v letech 1977–1991 průměru 49 km<sup>3</sup> za rok. Mezi roky 1979 a 1985 bylo zvýšení úrovně hladiny pomalejší, než tomu bylo mezi roky 1985 a 1988. Průměrná intenzita zvyšování úrovně hladiny v letech 1977–1995 byla 14,1 cm za rok, v některých letech i 32–35 cm za rok, např. v roce 1979 (Goluytsyn 1995).

Zvyšování úrovně hladiny Kaspického moře se po 18 letech zpomalilo v roce 1995, kdy úroveň hladiny Kaspického moře dosáhla úrovně -26,62 m. Zvyšování úrovně hladiny Kaspického moře v letech 1978–1995 není neobvyklou událostí. Podobné zvýšení úrovně hladiny bylo pozorováno např. v 18. století, v letech 1723–1742 (19 let). Tehdy se úroveň hladiny moře zvýšila téměř o 2,5 m. (Goluptsov, Lee 1999).

V roce 1996 došlo dokonce ke snížení úrovně hladiny Kaspického moře, které bylo způsobeno menší vodností v povodí řeky Volhy. Od roku 1998 je úroveň hladiny relativně stabilní.

Za období 1978–1995 se úroveň hladiny Kaspického moře zvedla o 2,39 m; plocha se zvýšila o 41 497 km<sup>2</sup> (11,6 %) a objem o 1 105 km<sup>3</sup> (1,42 %; Goluptsov, Lee 1999). V roce 1995 byla úroveň hladiny Kaspického moře -26,66 m (Michajlov 1997).

V období 1996–2000 se úroveň hladiny Kaspického moře stabilizovala. V roce 1996 byla -26,80 m (Michajlov 1997) a v roce 2000 byla -27,06 (Golubtsov, Lee 2000a).

#### 4. 1. Některé důsledky zvýšení úrovně Kaspického moře (1977–1995)

V průběhu dlouhodobého poklesu úrovně hladiny moře (do konce roku 1977) se předpokládalo, že tento trend bude pokračovat. Plánování ekonomického rozvoje proto také vycházelo z těchto předpokladů. Nová sídla, cesty, přístavy, zařízení pro těžbu, ropné vrty, atd. byly konstruovány na úroveň hladiny -28,5 m. Následný zdvih úrovně hladiny moře vyvolal celou řadu negativních následků, které způsobily velké ekonomické škody v každém z pobřežních států a měly tragické následky pro tisíce lidí. Mnohé z toho, co bylo člověkem v pobřežních zónách Kaspického moře vybudováno do roku 1985, se dostalo do ohrožení a nebo do přímého procesu destrukce. Např. ekonomická újma současné Ruské federace se odhaduje na 1 mld. dolarů (Zonn 1997).

Území o rozloze okolo 35–36 tis. km<sup>2</sup> bylo zaplaveno. Pobřežní linie severní části Kaspického moře postoupila v některých místech o 25–30 km směrem do vnitrozemí (Abuzyarov 1999). Na ploše více než 1 mil. ha ruského pobřeží

Tab. 4 – Charakteristika přirozených klimatických period (PKP) změny úrovně hladiny Kaspického moře od začátku našeho letopočtu

Charakteristika PKP	PočetPKP	Doba trvání PKP, roky		
		Průměrná	Maximální	Minimální
zvýšení	15	53	100	40
snížení	15	54	80	40
stabilizace	8	46	60	40

Podle: Varušenko 1987, In: Butajev 1998

Kaspického moře byly narušeny základní podmínky pro život a hospodářskou činnost. V případě kazašského pobřeží zdvih způsobil narušení dokonce až 2 mil. ha (Butajev 1998, Golytsyn 1995). Byly zaplaveny pobřežní roviny, říční ústí, laguny, pobřežní slaná jezera, lidská sídla, objekty infrastruktury, zemědělská půda (zasolení půd), ale také naleziště ropy a zemního plynu, což následně vedlo k značným ekologickým škodám a způsobilo zhoršení zdravotního stavu obyvatel a vyvolalo velkou migraci obyvatel. Došlo také ke změně ve vodním režimu moře. Zvláště v severní mělké části moře způsobilo zvýšení úrovně hladiny rozšíření zátopové plochy při proniknutí vody do pobřežní zóny krátkodobé neperiodické kolébání moře (viz tab. 4). Změny také nastaly v chemickém režimu v ústí řek. Byly zaznamenány i změny v pobřežních a ústních ekosystémech (Golytsyn 1995). Zvýšila se intenzita abrazních procesů v pobřežních oblastech, projevíly se erozně–migrační procesy řek, pod vodu se začaly ponořovat i některé severokaspické ostrovy (zcela zmizel pod hladinou ostrov Čistá Banka na severu Kaspického moře, Bucharicin 1997, Butajev 1998).

Prognózy reagující na zvyšování úrovně hladiny Kaspického moře byly velmi rozmanité – od relativně střízlivých až po fantastické. Jedna z nich například předpovídala zvýšení úrovně až do té míry, že dojde k obnově spojení Kaspického moře s Černým mořem – vznikne nový oceán na Zemi (Šachraj 1996, In: Butajev 1998).

#### 4. 2. Některé návrhy řešení zdvihu úrovně hladiny Kaspického moře

- V roce 1987 byl předložen projekt akademikem Izraelem na přečerpání nadbytečných 40 km<sup>3</sup> kaspických vod ze severního Kaspiku 450kilometrovým kanálem do Aralského moře (Butajev 1998).
- Projekt převedení severních řek do Volhy a poté převedení částí odtoku Volhy do Aralského moře prostřednictvím kanálu Volha–Aralské moře (Zonn 1997).
- Odčerpání části odtoku řeky Volhy (do 7 km<sup>3</sup> za rok) cestou vybudování kanálů Volha–Don II, Volha–Cograj, Volha–Ural. Cílem byl rozvoj závlahového zemědělství v oblastech okolo moře (Butajev1998).
- Kazašský projekt počítal se stavbou 1 200 km ochranných hrází, s úsekem asi 400 km dlouhým v deltě řeky Volhy a Uralu. (Golytsyn 1995). Na pobřeží Ruska, především na území Dagestánu, měly být vybudovány obvodové a lokální hráze pro ochranu pobřežní zóny (Israpilov 1995, Gladyš 1994). Některé projekty, které počítaly s vybudováním ochranných bariér, hrází atd. byly částečně uskutečněny (např. Mojtahed–Zadeh 1992).



## 5. Zdvihové a poklesové jevy

Vliv na úroveň hladiny Kaspického moře má také neperiodické „kolébání“, které může způsobit krátkodobé zdvižení nebo snížení úrovně hladiny. Sezónní nevelké kolísání úrovně hladiny je okolo 30–40 cm, maximální je v červnu a v červenci, minimální v únoru. Tyto sezónní změny úrovně hladiny moře jsou ovlivněny zejména říčním přítokem, výparem a srážkami.

Zdvihové a poklesové jevy, které způsobují kolísání úrovně hladiny moře se projevují na celém moři, ale nejvíce v mělkých severních akvatoriích, kde se při maximálním zdvihu úroveň hladiny může zvýšit o 2,0–4,5 m, při poklesu snížit o 1,0–2,5 m. Ve střední a jižní části Kaspického moře je zdvihovo–poklesové „kolébání“ úrovně hladiny daleko menší. U západního pobřeží 60–70 cm, u východního 30–40 cm. Ve vzácných případech 1,0–1,5 m.

Zdvihovo–poklesové změny úrovně hladiny vyvolávají stále bouřkové větry, které se projevují rozdílně v různých akvatoriích moře. Větry severní způsobují poklesy vody v severní části a zdvih u severního pobřeží Apšeronského poloostrova a v jižní části moře. Při východních a jihovýchodních větrech probíhá zdvih v severní části moře a přilehlých oblastech západního pobřeží a pokles v jižních a jihovýchodních akvatoriích moře. Průměrná doba trvání zdvihu a poklesu je ve většině případech 10–12 hodin, ojediněle 24 až 48 hodin.

Přílivové a seismické kolébání úrovně hladiny na Kaspickém moři nedosahuje velkého významu. Proudění v moři je způsobné zejména eolickou činností. V severní části Kaspického moře je převládající rychlost proudění (převážně západního, jihozápadního a jižního směru) 10–15 cm/s, v otevřených oblastech severní části Kaspického moře je maximální rychlost proudění okolo 30 cm/s. V pobřežních oblastech střední a jižní části moře převládá proudění severozápadního, severního, jihovýchodního a jižního směru. Rychlost proudění je v průměru okolo 20–40 cm/s, maximální dosahuje 50–80 cm/s. Podstatnou roli v cirkulaci mořských vod mají i další druhy proudění: gradientové, stacionární zdvihové a setrvačné.

Nejvyšší mořské vlny byly pozorovány v akvatoriu poblíž Apšeronského poloostrova. Velmi zřídka se zde může objevit vlna převyšující 10 m (Bucharicin 1994, 2002). Eolickou činností způsobené vlny (bouřkové vlnobití) byly v poslední čtvrtině 20. století příčinou mnoha velkých záplav. Jsou zvláště nebezpečné v mělké severní části Kaspického moře na pobřeží Dagestánu, Kalmycka, Astrachaňské oblasti a Kazachstánu. Záplavová vlna proniká do hloubky až 70 km s výškou kolem jednoho metru. Tyto jevy jsou velice nebezpečné zvláště v teritoriích, kde probíhá těžba ropy a zemního plynu (Kuksa 1994, Abuzyarov 1999).

## 6. Hlavní příčiny variability úrovně hladiny Kaspického moře

Je zřejmé, že proces formování Kaspického moře byl určován globálními geomorfologickými procesy s uplatněním regionálních zvláštností. Udává se, že na kolísání úrovně hladiny Kaspického moře v časném neogénu měly převládající vliv tektonické a horotvorné procesy, v pozdním pliocénu tektonické a klimatické faktory a v současné etapě klimatické a antropogenní vlivy (Butajev 1998). Stejný autor také zdůrazňuje, že je velmi obtížné přesně identifikovat hlavní příčiny, které mají vliv na změnu úrovně hladiny Kaspického moře ve 20. století – sám uvádí 18 možných příčin.

Mnoho autorů (např. Golytsyn, Panin 1989) se přiklání k názoru, že kolísání úrovně hladiny je asi z 90 % přírodního původu. V současnosti dávají věd-

ci nejčastěji variabilitu Kaspického moře do souvislosti s globálními klimatickými změnami neboli klimatickým faktorem (Goluptsov, Lee 1998; Abuzayrov 1999), který např. podle Bucharicina (1997) měl rozhodující vliv na transgresi v druhé polovině 20. století.

Změny úrovně hladiny moře ve 20. století (viz tab. 2, obr. 1) byly podmíněny změnou hydrometeorologických faktorů. Hlavní příčinou klesání úrovně hladiny moře v letech 1930–1977 bylo zmenšení přítoku říčních vod (vlivem antropogenních a klimatických faktorů, jako např. regulace řek, zemědělská činnost atd.). Následný zdvih v letech 1978–1995 je prisuzován zejména zvýšenému říčnímu přítoku a snížení výparu (Butajev 1998).

Ke změnám úrovně hladiny Kaspického moře výrazně přispívá i člověk. Svou činností v průběhu 20. století nenávratně narušil původní hydrologický režim ve velké části povodí Kaspického moře. To se nepochybně odráží na úrovni povrchových i podpovrchových/podzemních vod, výparu a tím i ve vodní bilanci moře. Na březích všech řek byly prakticky vykáceny lesy, odvodněna nebo vysušena zátopová území, rozorány louky, budována města, vodní rezervoáry, probíhalo zavlažování, vybudována byla infrastruktura atd. (Butajev 1998).

Bez výrazného lidského zásahu by mohla být úroveň hladiny Kaspického moře přibližně o 1,5 m výše než byla v polovině 90. let 20. století (Kuksa 1994) a transgrese by započala již v letech 1955–1960 (Butajev 1998).

Časově můžeme vyčlenit 38 přirozených klimatických period (viz tab. 4). Pro 15 z nich je charakteristické monotónní zvýšení úrovně hladiny Kaspického moře, pro 15 monotónní snížení a pro 8 stabilizace v rozmezí jednoho metru (Sidorenko, Švejkina 1996, In: Butajev 1998).

Na úroveň hladiny Kaspického moře mají velký vliv klimatické podmínky. Prognózy jeho úrovně musí tedy vycházet z dlouhodobých klimatických prognóz jak regionálních, tak i globálních. Kaspické moře se nachází v zóně nepřetržitého vlivu chladných polárních vzdušných mas, vlhkých mořských, které se formují nad Atlantikem, suchých kontinentálních z Kazachstánu, teplých subtropických mas vzduchu přicházejících ze Středozemního moře a Iránu.

Osm typů synoptických situací má přímý vliv na počasí v oblasti Kaspického moře, pět z nich je významných: azorská anticyklona, skandinávská anticyklona, karské anticyklony, jihozápadní okraj anticyklony, cyklonální činnost.

Ke změně úrovně hladiny dochází vlivem následujících faktorů: Na úroveň hladiny Kaspického moře mají největší vliv změny v odtoku řeky Volhy, tato řeka hraje důležitou roli ve vodní bilanci Kaspického moře. Kaspické moře má 130 přítoků. Průměrný říční přítok do Kaspického moře v letech 1900–1991 byl 299,6 km<sup>3</sup> za rok. Nejvýznamnější řekou je Volha, která přivádí do Kaspického moře přibližně 80,7 % říční vody. Maximální přítok měla ve 20. století v roce 1926, 390 km<sup>3</sup> za rok a minimální v roce 1937, 161 km<sup>3</sup> za rok (Goluptsov, Lee 2001). Kura přivádí do Kaspického moře přibližně 6,1 % říční vody a Ural přibližně 3,1 %. Amplituda říčního přítoku do Kaspického moře ve 20. století odpovídá změně úrovně hladiny moře asi o 67 cm. Meziroční změny říčního přítoku do Kaspického moře mohou způsobit změny v úrovni hladiny o více než 0,5 m. Říční přítok do Kaspického moře tvoří 75–85 % z příjmové části vodní bilance moře. Regulace vodních toků, výstavba vodních nádrží, zavlažovacích projektů atd., zejména v letech 1940–1980, byla jednou z hlavních příčin snižování úrovně hladiny moře v letech 1929–1977, které způsobily zmenšení vodnosti řek tekoucích do Kaspického moře (především Volhy) a zvýšení výparu z vodní hladiny. Naopak na zvyšování úrovně hladiny

ny v letech 1977–1995 měl velký vliv zvětšený roční srážkový úhrn na dolním toku řeky Volhy a v severní části Kaspického moře snížený výpar (TDA 2002). Ve 20. století bylo největší množství srážek zaznamenáno v roce 1969 (okolo  $120 \text{ km}^3$  za rok) a nejmenší v roce 1944 (okolo  $50 \text{ km}^3$  za rok). Maximální rozsah meziročního kolísání množství atmosférických srážek ve 20. století činil  $70 \text{ km}^3$ , což představuje změnu úrovně hladiny o 18 cm. Snížení výparu přispělo také k poklesu teploty povrchové vrstvy severní části Kaspického moře, což mělo za následek zvýšení pohybu chladných volžských vod. Maximální amplituda výparu ve 20. století byla  $190 \text{ km}^3$ , což odpovídá změně úrovně hladiny moře přibližně o 50 cm (Butajev 1998). Nejnižší výpar je zaznamenán ve střední části Kaspického moře, zatímco nejvyšší v severním akvatoriu Kaspického moře a nedaleko Baku (TDA 2002).

Zvýšení úrovně hladiny Kaspického moře způsobila změna atmosférické cirkulace. Počínaje rokem 1972 cyklony ze severního Atlantiku a ze západní Evropy začaly přinášet do Kaspického regionu více srážek. Od tohoto data došlo ke zvýšení na 50 % a 30 % z původních 30–35 %, resp. 15–20 % (Malinin 1994; Sidorjenko, Švejckina, In: Golytsyn 1995).

Pod dnem Kaspického moře se údajně nachází gigantický vodní rezervoár, který má mít přibližně stejný objem vody jako současné Kaspické moře. V dnešní době existuje v Jihokaspické proláclině asi 100 bahenních sopek, které se projevují v průměru 1–2krát za rok. Tektonické trhliny dna mohly způsobit napájení moře podzemními tlakovými vodami (Bucharicin 1997; Šilo, Krivošej 1989, In: Golytsyn 1995). Ale i technogenními faktory např. vrtnými sondami mohlo dojít k odkrytí a propojení hydrodynamických zón pod dnem moře. Mohlo dojít k porušení přirozeného tlaku ve vrstvách, což mohlo způsobit zvýšení podzemního laterálního přítoku do moře ze sousedních oblastí (Golubov 1995).

Velmi obtížně se určuje vliv podzemního odtoku a podzemního přítoku na hydrologickou bilanci Kaspického moře. Podle předpokladů některých autorů se podzemní přítok do Kaspického moře mění od  $0,3$  do  $50 \text{ km}^3$  za rok. Spíše se ale uvádí podzemní přítok v rozsahu  $3$ – $5 \text{ km}^3$  za rok. Při srovnání s dalšími složkami vodní bilance je vliv podzemních vod na změnu úrovně hladiny moře zanedbatelný – jde o změnu řádově o 1 cm za rok. Spor spočívá např. v tom, odkud podzemní přítok do Kaspického moře vede, zda z kavkazských hor, ze středoasijských písků, nebo z tektonického podloží (Butajev 1998).

Protifázemi vysušování x naplňování spojeného systému Aralské moře – Kaspické moře; změny mohou být vyvolávány přetékáním podzemních proudících vod z Amudarji do Kaspického moře.

Předpokládá se, že na úroveň hladiny Kaspického moře má určitý vliv i globální zvyšování teploty na Zemi. Ve 20. století se průměrná roční teplota vzduchu poblíž města Machačkaly zvýšila o  $0,6$ – $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , a mořské vody o  $0,3$ – $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (Hydrometeoizdat 1992, In: Butajev 1998). Malinin (1994) předpokládá, že pokud bude zvyšování teploty pokračovat současným tempem, mohla by být úroveň hladiny Kaspického moře v roce 2050 o 1,5 m výše v porovnání s úrovní hladiny v roce 2000.

Důležitým faktorem může být i pokrytí vodního povrchu moře ropným povlakem. Při ropném povlaku o tloušťce 1 mm se snižuje množství vypařované vody 70–80krát. Za předpokladu, že ropný povlak snižuje odpařování mořských vod o 3 %, potom přírůstek úrovně zapříčiněný tímto faktorem je za posledních 30. let okolo 1 m. Vzhledem k tomu, že vysoká úroveň znečištění moře ropou pokračuje, je zřejmé, že role ropného faktoru se v souvislosti se změnou úrovně moře bude zvyšovat (Butajev 1998).

## 7. Prognózy

Pro porozumění příčinám změn úrovně hladiny Kaspického moře je nutné znát variabilitu složek vodní bilance (Panin 1987) a uvědomit si, že změny úrovně hladiny Kaspického moře jsou zřejmě převážně přírodního charakteru. Kolísání úrovně hladiny v rozmezí  $\pm 2\text{--}3$  metry za relativně krátké časové období je stejně normální, jako je střídání dne a noci. Samoregulační mechanismy moře (viz Závěr) udržují úroveň hladiny Kaspického moře v rozmezí  $-22$  m až  $-30$  m (Butajev 1998).

Zásadní význam prognózování změn úrovně hladiny Kaspického moře spočívá v určení rychlosti, jakou tyto změny probíhají. Průměrné trvání period – zastavení, růstu i poklesu úrovně hladiny Kaspického moře málokdy převyšuje 50 let. Ke změnám úrovně hladiny v rozsahu okolo 150 cm dochází jednou za několik desítek let. Ve 20. století tato změna nastala dvakrát (Golytsyn 1995). Pro delší časové období je charakteristická prudká změna okolo 10 m jednou za 1 000 let. Extrémní rychlost změn je asi 14 m za 300 let, nebo 14 m zvýšení a následně 14 m snížení za 700–800 let (Klige 1992). Dlouhodobé setrvání na velmi zvýšené nebo snížené hodnotě úrovně hladiny Kaspického moře je zcela výjimečné (Goluptsov, Lee 1999).

Prognózy úrovně hladiny moře by tedy měly být sestavovány minimálně na 50 let, což je nad dnešní možnosti poznání. Prognózy určené pro rozvoj národního hospodářství v pobřežní zóně Kaspického moře by měly zaručovat spolehlivost „alespoň“ na dobu 10–20 let. Krátkodobé prognózy na 1–2 roky nic neznamenají, nemohou sloužit pro jakýkoliv rozvoj, k vytvoření dlouhodobé regionální strategie. Během tohoto období se úroveň hladiny Kaspického moře zvyšuje nebo snižuje s průměrnou rychlostí 5–15 cm za rok (Golytsyn 1995, Butajev 1998). Od poloviny 80. let 20. století ruské hydrometeorologické centrum předpovídá úroveň hladiny Kaspického moře na jeden rok dopředu. Předpovědi jsou každoročně odvozené z dat získaných ze sněhových zásob a zásob v podobě půdní vody v povodí řeky Volhy. Úroveň hladiny moře je předpovězena s přesností okolo 5 cm (Meshcherskaya, Vorobeva 1990; Meshcherskaya, Aleksandrova 1993, In: Golytsyn 1995). Bohužel spolehlivé dlouhodobé prognózy ani v současnosti nemůžeme očekávat. Vědci se pouze shodli, že v delším časovém období se dá kolísání úrovně hladiny moře očekávat v rozmezí mezi  $-20$  a  $-29$  m (Klige 1992). Ale existují i nepravděpodobné prognózy, jednu z nich uvádí například Šachraj (1996, In: Butajev 1998), která předpokládá propojení Kaspického a Černého moře. To by způsobilo vznik nového „oceánu“. Ukázka některých prognóz je v tabulce 5.

Každý výraznější výkyv úrovně hladiny může zapříčinit obrovské změny v rozloze zatopených oblastí (viz tab. 6, 7). Sklon terénu v severních částech dosahuje řádově od 3–5 do 10–20 cm/km. Současná strategie v ruské části Kaspického pobřeží je plánována pro úroveň hladiny mezi  $-26$  a  $-25$  m, ale např. eolické procesy mohou nyní způsobit povodně od  $-23$  do  $-22$  m (Holubec 1998).

Z hlediska prognózy a současné analýzy změn úrovně hladiny moře se ukázalo jako nejpříhodnější vytvoření základních klimatických modelů, které vycházejí z regionální klimatické předpovědi, historických dat a také změn globálního charakteru. Od roku 1991 bylo v rámci projektu AMIP (Atmospheric models intercomparison project) rozpracováno 30 klimatických modelů (Golytsyn 1995).

V dnešní době spolupracují na prognózách týmy odborníků z různých vědních oborů, pracuje se s mnoha faktory, které v minulosti do prognóz zahrno-

Tab. 5 – Příklady několika prognóz úrovně hladiny Kaspického moře pro rok 2010

Autor, rok vzniku prognózy	Aplikované přístupy/metody	Předpověď úrovně hladiny Kaspického moře (m) pro rok 2010
Ratkovich 1993	víceúčelové analýzy složek vodní bilance a paleogeografických studií	max. -26,0 (2050)
Ratkovich, Bolgov 1994	pravděpodobnostní statistická analýza složek vodní bilance a kolísání úrovně hladiny Kaspického moře	v rozmezí -27,10 až -29,90
Remizova, Myagkov 1995	analýza vodní bilance Kaspického moře	-26,20 (2014)
Golubtsov, Lee 1995	série statistických analýz úrovně hladiny Kaspického moře za posledních 436 let s porovnáním s daty vodní bilance	-27,70
Malinin 1995	fyzikální statistický model semi-empirické teorie atmosférické cirkulace Koncept přírodních klimatických period (NCP)	-25,50
Frolov 1995	vodní bilance, dynamicko-stochastický model s použitím 3 scénářů	v rozmezí -26,10 až -29,25
Golitsyn 1998	hydrometeorologických podmínek vodní bilance, dynamicko-stochastický model	v rozmezí -26,20 až -28,20

Podle: Mikhailichenko 2001

Tab. 6 – Změny plochy a objemu Kaspického moře

Úroveň hladiny moře(m abs.)	Plocha (km <sup>2</sup> )	Objem (km <sup>3</sup> )
-24	433 900	79 883
-25	419 500	79 457
-26	405 100	79 045
-27	392 600	78 648
-28	376 345	78 081
-29	356 178	77 697
-30	344 080	77 328
-31	330 411	76 971

Podle: Goluptsov, Lee 1998

vány nebyly, ať už z důvodu podcenění významu nebo z neznalosti. Měří se rychlost větru, vlhkost, teplota hladiny, teplota vzduchu, tlak vzduchu, zjišťuje se příliv a odliv, seismické „kolébání“, změny v chemickém složení vody v ústích řek, změny v akumulacích, srážkových procesech, výparu i změny v ekosystémech na pobřeží a v ústích řek atd.

Nelze sice přesně říci, kdy nastane další transgrese nebo regrese Kaspického moře, zkušenosti ale ukazují, že stavby jakéhokoliv druhu kromě přístavů, by měly být konstruovány nad úrovní hladiny -23 m (Golubev 1979, 1985) a měly by respektovat i morfologický stupeň stability území.

Některé prognózy vycházejí ze vztahu mezi úrovní hladiny Kaspického moře a atmosférickou cirkulací, resp. sluneční aktivitou. Prognózami vztahu mezi úrovní hladiny Kaspického moře a sluneční aktivitou se v současnosti zabývají např. Bucharicin, Andreev (2006), jiní se pak zabývají dlouhotrvajícími přílivy, nutací zemského pólu, změnou rychlosti rotace Země. Další odborníci se pokoušejí nalézt přírodní periodické cykly Země, latentní pravidelnosti historického kolísání úrovně hladiny Kaspického moře atd. Jsou i prognózy, jež považují za podstatnější tektonickou činnost, globální oteplování atd.

Prognózy často kombinují několik ukazatelů, které mají nebo by mohly mít vliv na úroveň hladiny Kaspického moře, kumulativně. Ještě nějakou dobu

Tab. 7 – Rozsah zatopení v pěti pobřežních státech

Státy	Zvýšení o 1 m (km <sup>2</sup> )	Zvýšení o 2 m (km <sup>2</sup> )	Zvýšení o 5 m (km <sup>2</sup> )
Ázerbajdžán	730	1 410	2 420
Írán	300	650	1 480
Kazachstán	6 340	12 930	23 500
Rusko	4 170	7 240	18 620
Turkmenistán	930	1 500	22 6901
Celkem	12 470	23 730	46 020

Podle: Schrader 2001

Pozn.: 1 se zálivem Kara–Bogaz–Gol

potvrvá, než dokážeme vytvořit přesnější dlouhodobou prognózu. Co už ale nyní dokážeme, je zpětně objasnit, proč s velkou pravděpodobností ke změně úrovně hladiny Kaspického moře došlo.

## 8. Závěr

Je zřejmé, že celková nebo částečná stabilizace úrovně hladiny Kaspického moře leží mimo lidské možnosti významnějšího zásahu. Ale určitý stupeň kontroly je možný, jak ukazuje zkušenost se zálivem Kara–Bogaz–Gol. Další možností je např. využití záplavových území severovýchodního Kaspiku jako odpařovací pánve. Tímto způsobem toto akvatorium fungovalo před tím, než se úroveň hladiny Kaspického moře začala v roce 1930 snižovat. Teoreticky je také možná kontrola úrovně hladiny moře pomocí regulace vodní spotřeby v povodí, zejména v povodí řeky Volhy (Golubev 1998).

Trvale udržitelný ekonomický rozvoj Kaspického regionu na teritoriích, kde dochází k prudkým změnám úrovně hladiny moře, nelze dosáhnout bez vyjednávání a spolupráce všech přikaspických států za mezinárodní pomoci, která je nezbytná. Je důležité si také uvědomit, že některému odvětví národního hospodářství může přinést zisk pokles či zdvih úrovně hladiny moře, jinému naopak ztrátu. Např. regrese moře odhalila značné množství plochy pevniny, což přispělo k rozvinutí ropného průmyslu, naopak transgrese zvyšuje biologické zásoby moře.

Nelze než souhlasit s Bucharicinem (2006): „Kaspické moře má vlastní samoregulační mechanismy, které jsou vedené přírodními zákony a člověk by je měl respektovat. Neměl by osídlovat záplavová území a v nich stavět zbytečné hráze, kanály, ale naopak tyto území opustit.“ Zjednodušeně lze uvést, že se zvětšením plochy se zvyšuje výpar z povrchu moře, který tlumí další zvyšování úrovně hladiny moře, a naopak se zmenšením plochy se snižuje i výpar, což tlumí další snižování úrovně. Na tomto principu pracuje i výměna vody (odtok–přítok) mezi mořem a přilehlými oblastmi. V samoregulačním mechanismu mají důležitou funkci i zálivy jako známý Kara–Bogaz–Gol, nebo méně známy Mrtvý Kultuk a Kajdak. Při úrovni hladiny moře –30 m se Kaspické moře stává prakticky bezodtokým. Zatímco při zvýšení úrovně hladiny moře mořská voda přitéká z počátku do zálivu Kara–Bogaz–Gol, při úrovni hladiny moře –29 m do zálivu přitéká 5 km<sup>3</sup> za rok. Jestliže se úroveň hladiny moře zvýší až –26 m, tak přiteče přibližně 20 km<sup>3</sup> za rok. Při dalším zvyšování úrovně hladiny moře do –22 m „začínají pracovat“ Mrtvý Kultuk a Kajdak, kam přitéká do 11 km<sup>3</sup> za rok (Bujtjev 1998).

Příroda Kaspiku a jeho úmoří by měla být respektována. Jde o zvláštní případ, v němž jsou úzce integrovány přírodní, politické, ekologické, společenské a ekonomické faktory. To je nemožné bez efektivní mezinárodní pomoci – efektivního managementu Kaspického moře. Jeho zdroje nemohou být využívány bez jednání ve vzájemné shodě všech pěti pobřežních států.

Hlavní příčina mnohaletých změn úrovně hladiny Kaspického moře byla přírodní a jen částečně antropogenního charakteru. Za období pozorování byly největší zaznamenané změny úrovně hladiny Kaspického moře ve 30. a 80–90. letech 20. století. Ve 20. století byla nejvyšší průměrná roční úroveň hladiny v roce 1903 (–25,55 m) a nejnižší v roce 1977 (–29,15 m). Rozmezí změny úrovně hladiny Kaspického moře bylo za 20. století 3,6 m. Během 20. století došlo k poklesu úrovně hladiny Kaspického moře o 125 cm, průměrná změna intenzity úrovně hladiny byla –13,7 cm za rok. Každá změna úrovně moře o 1 cm za rok odpovídá změně ve vodní bilanci o 3,5–3,8 km<sup>3</sup> za rok. Moře se zvyšuje nebo snižuje v průměru rychlostí 5–15 cm za rok.

Kaspické moře je jedinečné místo na Zemi, u kterého zřejmě nikdy nebudeme dopředu přesně znát, jak bude vypadat jeho úroveň hladiny za několik let. Přesto se dá konstatovat, že díky mezinárodní spolupráci došlo k prohloubení mnohých poznatků, které následně pomohly a pomáhají při řešení a předcházení kaspických problémů.

Je potřeba si uvědomit, že plocha Kaspického moře při dnešní úrovni jeho hladiny okolo 27 m pod úrovní hladiny světového oceánu, je 393 000 km<sup>2</sup> a objem 78 574 km<sup>3</sup>. Variabilita jeho hladiny nemá vliv jen na regionální ale i na světovou tvorbu klimatu. Je potřebné, aby mezinárodní zájem o řešení kaspických problémů a jejich předcházení byl alespoň takový, jako o ekonomické využívání tohoto regionu.

Za pomoc při tvorbě tohoto článku děkuji prof. P. I. Bucharicinovi, který mi poskytl odborné konzultace a řadu užitečných materiálů a doc. A. Hynkovi za podporu v celém projektu.

### Literatura:

- ABUZYAROV, Z. K. (1999): Problems of the Caspian Sea level Predictions. Caspian Environment Programme, Facilitating Thematic Advisory Groups in Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, & Turkmenistan.
- ABUZYAROV, Z. K. (2000): Osnovnyje Rjezultaty Djejatjeľnosti KRTC po Izučeniiju Koljebanja Urovnja Vody. Caspian Environment Programme, Facilitating Thematic Advisory Groups in Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, & Turkmenistan, Almaty.
- ALADIN, N., PLOTNIKOV, I. (2004): The Caspian Sea.
- BJERJEŽMĚR, A. S. (1979): Pjerspektiva razvitija vodopotrjebljenija v bassjejnje Kaspjiskogo morja// Vodnyje rjesursy, č. 1.
- BORTNIK, V. N. (1991): The water balance of the Bay of Kara–Bogaz–Gol under natural and controlled conditions. Trudy GOIN, č. 183.
- BUCHARICIN, P. I. (1994): Opasnyje gidrologičeskije javljenija na Sjevjernom Kaspjii – Vodnyje rjesursy. Astrachanskaja ekspjediionnaja basa Instituta vodnych problem Rossikskoj akademii nauk.
- BUCHARICIN, P. I. (1997): Istorija Kasija i jego problemy. Astrachanskij gosudarstvjenyj universitjet.
- BUCHARICIN, P. I., ANDRJEJEV, A. N. (2006): Ritmy solnječnoj aktivnosti i ožidajemyje ekstrjemal'nyje klimatičeskije sobytija v sjevjero–kaspjiskom rjeionje na pjeriod 2007–2017 gg., Moskva.
- BUCHARICIN, P. I., BOLDYREV, B. J. (2002): Vjetrovyje volny v Kaspjiskom morje. Astrachanskij gosudarstvjenyj universitjet.
- BUCHARICIN, P. I. (2004): Osobjennosti vjetrovogo rježima na Kaspjiskom morje v 2003 godu. Astrachanskij gosudarstvjenyj universitjet.

- BUTAJEV A. M. (1998): Kasprij: zagadki urovnja. Machačkala.
- GLADYS, L. N., TAGIROV, B. D. (1994): Sostajaniye i probljemy zaščity Dagestanskogo pobjerježja Kaspija // Mjelioracija i vodnoje chozjajstvo, 1994, č. 1.
- GOLYTSYN, G. S. (1995): The Caspian Sea level as a problem of diagnosis and prognosis of the regional climate change. *Atmospheric and oceanic physics*, 31, č. 3.
- GOLYTSYN, G. S., PANIN, G. N. (1989): On water balance and current changes of the Caspian Sea level, *Meteorol. Hidrolog.*
- GOLUBEV, G. N. (1985): Large-Scale Water Transfers: Emerging Environmental and Social Experiences. Oxford: Tycooly Publishing, for UNEP.
- GOLUBEV, G. N., et. al. (1998): Central Eurasian water crisis: Caspian, Aral, and Dead Seas. Part III: The Caspian Sea. Environmental policy—making for sustainable development of the Caspian Sea area. United Nations University.
- GOLUBEV, G. N., BISWAS, A. K. (1979): Interregional Water Transfer: Projects and Problems. Oxford: Pergamon Press.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (1998): Proposal for Improving the Water Balance of the Caspian Sea. Caspian Environment Programme. Facilitating Thematic Advisory Groups in Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, & Turkmenistan.
- GOLUPTSOV, V. V. et. al. (1999): Caspian Sea Monthly Water Balance Studies. Caspian Environment Programme, Facilitating Thematic Advisory Groups in Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, & Turkmenistan, Almaty.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (1999): Changes of Water Balance Elements and Caspian Sea Level. Caspian Environment Programme, Caspian Centre for Water Level Fluctuations, Almaty.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (2000a): Modeling of Monthly Sea Levels on Water Balance Equation for 1925–1998. Caspian Environment Programme, Almaty.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (2000b): Morphology of the Kara–Bogaz–Gol Bay and Evaporation Estimates from Measured Temperature. Centre for Water Level Fluctuations Almaty.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (2001): The review of scientific – Operations on change of The Caspian Sea level and some units of its water balance. Caspian Environment Programme, Centre for Water Level Fluctuations, Almaty.
- GOLUPTSOV, V. V., LEE, V. I. (2001): Modeling Lower River Volga Losses. Caspian Environment Programme, Almaty.
- KRITSKIY, S. N., et. al. (1975): Variations of the Caspian Sea Level. Moscow.
- KLIGE, R. K. (1992): Changes in the water regime of the Caspian Sea. *GeoJournal*.
- KONDRATOVICH, K. V., et. al. (1999): Relationship between Global Climatic Features and Volga Cold Season Rainfall. Caspian Environment Programme, Facilitating Thematic Advisory Groups in Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, & Turkmenistan, Almaty.
- KOSTIANOV A. G., LEBEDEV S. A. (2006): Satellite altimetry of The Caspian Sea. Moskva.
- KRUMGALZ, B, et al. (2002): Development of a New Technology for Complex Utilization of Mineral Resources of the Kara–Bogaz–Gol (Turkmenistan) under Present Conditions, Ashgabat.
- KUKSA, V. I. (1994): Southern Seas (Aral, Caspian, Azov and Black) under Anthropogenic Stress. St. Petersburg: Hydrometeoizdat.
- MALININ, V. N. (1994): Probjema prognoza urovnja Kaspijskogo morja. S. Peterburg.
- MERSHCHERSKAY, A. V. (1999): Monthly synoptic types (1930–1995) over the Volga Drainage Basin. Report for the Caspian Environmental Programme, Sea Level Fluctuation Thematic Centre, Almaty, Kazakhstan.
- MERSHCHERSKAY, et al. (1997): A method for long-term forecasting of the Caspian Sea level variations with annual lead time from meteorological data. *Meteorologiya I Hidrologiya*, č. 9.
- MEIGH, J., TATE, E. (2001): Grid-based Model of the Caspian Sea Basin. Caspian Environment Programme Phase 2, Wallingford, St Petersburg.
- MICHAJLOV, V. N. (1997): Javl'ajutsja li njeđavnij pod'jem urovnja Kaspijskogo morja i je-go posljedstvija prirodnoj katastrofoj? Moskva.
- MIKHAILICHENKO, Y. G. et. al. (2001): Caspian Coastal Profile Within Russian Federation. Caspian Regional Thematic Center for Integral Transboundary Coastal Area Management Planning. Caspian Environment Programme, Moscow.
- MOJTAHED-ZADEH, P. (1992): The Changing World Order and the Geopolitical Regions of the Persian Gulf and Caspian–Central Asia. London: Urosevic Foundation Publications.



- PIEYNS, S. A., et. al. (2000): CASPIAN – HYCOS Draft Project Identification Report. Caspian Environment Programme Phase 2, Almaty.
- RATKOVICH, D. Y. (1993): Present-day water level fluctuations of the Caspian Sea. Water Resources, Vodnye Resursy.
- SCHRADER, F. (2001): Caspian Sea Potential Inundation and Impacts on Human and Natural Environment. Caspian Environment Programme, Ashgabad.
- SHIVARYOVA, S. (1998): Review of Hydrometeorological Data Collecting Stations Adjacent to the Caspian Sea. Caspian Environment Programme, Caspian Centre for Water Level Fluctuations, Almaty.
- SHIVARYOVA, S., et. al. (2001): Setting-up Realtime Surge Forecasting System for the Caspian Sea. Caspian Environment Programme, Almaty.
- TERZIEV, F. S., GOPTAREV, N. P. (1981): Zaliv Kara-Bogaz-Gol i probljema Kaspijskogo morja. Mjetjeorologija a gidrologija.
- TERZIEV, F. S., GOPTAREV, N. P., BORTTNIK, V. N. (1986): Probljema zaliva Kara-Bogaz-Gol. Vodnyje rjesursy.
- Transboundary Diagnostic Analysis (2002): Caspian Environment – Physical Settings Arenadal.
- VOTYPKA, J. (1988): Fyzická geografie SSSR. I. Univerzita Karlova v Praze, Statní pedagogické nakladatelství.
- ZONN, I. S. (1997): Kaspijskij mjemorandum.

## Summary

### CHANGES OF WATER LEVEL FLUCTUATIONS OF THE CASPIAN SEA TO THE END OF THE 20TH CENTURY

It is evident that the total or partial Caspian Sea water table stability is far from human capability. However, it can be controlled to a certain degree as it can be seen in the case of the Kara–Bogaz–Gol Bay. Another option is to use flooded territories/aquatories in the North–East part of the Caspian Sea as evaporative pan. They functioned this way before lowering of the Caspian Sea water table in 1930. But in practice, there exists a potential control of the Caspian Sea water table level (WTL) by regulation of water consumption in the Caspian Sea drainage basin, especially in the Volga catchment (Golubev 1998).

The sustainability of the Caspian Sea Region could not be achieved without the necessary negotiating and cooperation among the limitrophe countries on the international level on shifting transgression/regression areas with torrential changes of WTL. According to Butayev (1998) all rescue projects to save the Caspian Sea and from Caspian Sea were scientifically substantiated, economically favourable and aiming to human prosperity. On the other hand, WTL fluctuation can cause both benefits and losses to different sectors of national economy. In the case of regression of the Caspian Sea in the NE part, the new mainland offered an oil field for extraction of oil. In the reverse process of transgression, the increasing amount of biotic resources is available. A pertinent description of the situation is given by Bukharitsin (2006): „The CS has its own self-regulatory mechanisms of physical origin which should be respected by humans. It means to be aware of flooded territories/aquatories and not settle them, construct dykes, channels but on the contrary to abandon them.“

A simple relation consists in increasing the water table surface causing an increasing evaporation which inhibits the subsequent increase of the WTL and vice versa: a reduced water table surface makes evaporation smaller which limits a further lowering of the WTL. It is the main principle of water balance (outflow – inflow) between the sea and its drainage basin. In this self-regulating mechanism, some bays play a very important part, we can mention the well-known Kara–Bogaz–Gol and the less-known Dead Kultuk and Kajdak. At a WTL of 30 m a. s. l., the Caspian Sea is practically without outflow, while in an increased WTL of 29 m a. s. l., some 5 km<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup> flow into Kara–Bogaz–Gol. If the WTL is of –26 m a. s. l., the inflow into Kara–Bogaz–Gol amounts to 20 km<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup>, and if of –22 m a. s. l., the inflow goes also into Dead Kultuk and Kajdak with an amount of 11 km<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup> (Butayev 1998).

The physical landscape of the Caspian Sea and of its drainage basin including integral natural, economic, social and political factors ought to be respected in the frame of the international cooperation for an effective management of the Caspian Sea. The use of its

resources depends on mutual negotiation and general agreement of all five coast countries.

The main reasons of long-term changes of the Caspian Sea WTL are physical and partially anthropogenous. In the course of the 20th century, the substantial changes in the WTL were recorded in the 1930s and then in the 1980s and 1990s, the highest WTL was registered in 1903 –25.55 m a. s. l. and the lowest one in 1977 –29.15 m a. s. l.; it means an oscillation of 3.6 m. The year's average change in the 20th century reached  $13.7 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ ;  $1 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$  corresponding to  $3.5\text{--}3.8 \text{ km}^3\cdot\text{year}^{-1}$  in water balance. The average change of the WTL is from 5 to  $15 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ .

The Caspian Sea is an outstanding and unique place on the Earth and we can hardly estimate its WTL in several next years. In spite of than and thanks to international cooperation, we have more useful knowledge for solving the future problems of the Caspian Sea. Now the area of the Caspian Sea at the WTL on –27 m a. s. l. covers  $393,000 \text{ km}^2$  with a water volume of  $78,574 \text{ km}^3$ . The variability of its WTL causes a climatic influence not only on the regional, but also on the global level. We can hope that international engagement in solving the Caspian Sea problems and their prevention will prefer ecological and economic sustainability in natural resources use.

I would like to acknowledge consultations I had with Professor P. I. Bukharitsin and Associated Professor A. Hynek who helped me with this contribution.

Fig. 1 – Oscillation of the Caspian Sea level in the period 1925–2000. Axis x – years, Axis y – altitude (m). Modified according to: Golubtsov, Lee 2000a.

*(Pracoviště autora: autor je postgraduálním studentem Geografického ústavu  
Přírodovědecké fakulty MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; email: svozil@mail.muni.cz.)*

*Do redakce došlo 17. 3. 2006*