

## RECENTNÉ TEKTONICKÉ PROCESY A KOLÍSANIE HLADINY KASPICKÉHO MORA

Dmitrij Anatoljevič LILIENBERG

### Abstract

*In the paper some reasons of both transgression and regression of the Caspian Sea, their climatic, tectonic and antropogenic basis are investigated. A special attention is paid to the morphostructure and the new data on the different aspects of the contemporary tectonic processes such as vertical and lateral motions, seismicity, mud volcanism, dynamics of underground waters, etc. In the paper a share of orogenic motions (contraction-expansion) in the dynamic changes of the Caspian and correlation between alternation of endo- and exogenous processes as a part of the general global mechanism are analysed. The new complex tectonic-hydrologic-climatic conception of the Caspian Sea level fluctuations is presented.*

**Key words:** morfoštruktúra, súčasné procesy, geodynamika, rytmickosť kolísania hladiny mora

### Úvod

Kaspické more je najväčšou uzavretou vodnou nádržou na svete. Na jeho pobreží sa nachádzajú také štáty ako Rusko, Azerbajdžan, Kazachstan, Turkmenistan, Irán. Rozloha mora je približne 390 000 km<sup>2</sup>, objem vody asi 80 000 km<sup>3</sup>, dĺžka v smere sever – juh je 1 200 km, šírka 165 – 450 km, najväčšia hĺbka 1 026 m.

Geografickou zvláštnosťou Kaspického mora je jeho poloha na hraniciach medzi Európou a Áziou, na styku hlavných orogénnych pásiem týchto svetadielov a v rámci niekoľkých geografických zón. Vďaka tejto polohe sa evolúcia Kaspického mora javí ako určité regionálne „zrkadlo“ globálnych zmien v dynamike prírodnej sféry našej planéty. Aj napriek podrobným výskumom vonkajších prejavov periodických kolísaní jeho hladiny, podstata samotného procesu a vplyv rôznych prírodných činiteľov nie sú ešte dostatočne preskúmané a sú predmetom dlhoročných diskusií. Fenomén Kaspického mora je výsledkom dlhodobého vzájomného pôsobenia litosféry, atmosféry, hydrosféry, kozmických, antropogénnych a iných faktorov a predstavuje otvorený prírodný systém. Je preto pochopiteľné, že zmena ktoréhokoľvek z uvedených činiteľov spôsobí zmenu výšky hladiny mora, čo sa však často neberie do úvahy pri prognostických hodnoteniach. Preto sa ako hlavný problém súčasnosti javí hodnotenie konkrétnych mechanizmov a procesov v evolúcii Kaspického mora.

### Kaspické more – región permanentných prírodných a ekologických katastrof

Hoci striedanie transgresie a regresie Kaspického mora je neoddeliteľným atribútom fungovania tohto unikátneho mora, ich počiatočné fázy boli vždy nepredvídateľné, keďže prebiehali veľmi dynamicky, pričom menili krajinu a ovplyvňovali osudy celých spoločenstiev (napr. zánik Chazarského štátu v 10. storočí zatopením hlavných pastvín). Zvlášť závažné sú

---

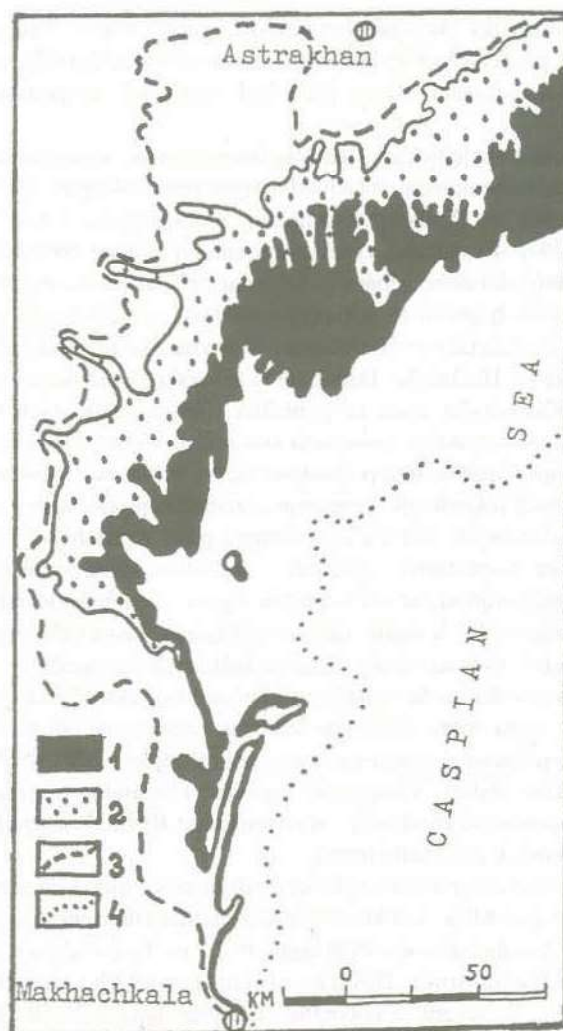
Prof. Dmitrij Anatoljevič LILIENBERG

Institut geografii Rossijskoj akademii nauk, Staromonetnyj per. 29, Moskva, 109017 Rosija

socio-ekonomické dôsledky ekologických nešťastí v tomto storočí, kedy sa postupne začalo nahrádzať kočovné pastierstvo rozvinutými formami obrábania pôdy, intenzívne prebieha proces urbanizácie a industrializácie v priľahlých regiónoch, hospodársky sa využíva šelf Kaspického mora.

Socio-ekonomické a ekologické následky kolísania hladiny Kaspického mora dosiahli taký stupeň, že sa vypracovanie opatrení na ich odvrátenie resp. oslabenie ich vplyvu stalo jednou z prioritných štátnych úloh. Prudký pokles hladiny mora o takmer 2 m (z -26 m na -27,8 m) v období rokov 1929-1940 spôsobil vysušenie územia o rozlohe približne 25 000 km<sup>2</sup>, čo je prakticky rozloha Belgicka alebo Albánska. Do roku 1977 sa hladina mora znížila ešte o 1,2 m a dosiahla tak najnižšiu hodnotu za posledných 500 rokov (-29 m). Za polstoročie dosiahla plocha vysušeného územia takmer 50 000 km<sup>2</sup>, čo je viac ako rozloha niektorých európskych krajín – napr. Slovensko, Holandsko, Dánsko či Švajčiarsko. V nížinatej severovýchodnej časti priľahlých území Kaspického mora sa pobrežná čiara na niektorých miestach presunula o 120-140 km. Poklesom hladiny mora bola zničená skoro polovica chovných revírov rýb, došlo k výraznej zmene brehov, boli poškodené všetky prístavné zariadenia, skomplikoval sa prechod lodí na dolných tokoch riek, ťažba ropy a zemného plynu na šelfe, došlo k výraznému poklesu hladiny podzemných vôd a k rozširovaniu púští v priľahlých regiónoch. Vysušenie územia sa intenzívne hospodársky využívali – po ústupe mora sa tu premiestňovali sídla a rekreačné zóny, zväčšovali sa územia miest a prístavov, poľnohospodárske plochy pre rozvoj rastlinnej a živočíšnej výroby. V snahe stabilizovať hladinu Kaspického mora sa v päťdesiatych až šesťdesiatych rokoch vypracovávali rozsiahle inžiniersko-geografické projekty, napr. prevedenie vôd severských (Kama, Severná Dvina, Pečora) a sibírskeho rieky (Ob, Irtyš), odrezanie severnej časti Kaspického mora mohutnou hrádzou, zamedzenie odtoku do zálivu Kara-Bogazgol. Všetky tieto plány sa opierali o prognózy pokračujúceho poklesu hladiny mora do roku 2000 a v nasledujúcom období. Všetci hydroológovia a klimatológovia zaoberajúci sa problematikou Kaspického mora sa zhodovali v tejto prognóze. Rozdiely v ich názoroch sa dotýkali len konkrétnych hodnôt v zmenách hladiny.

Táto prognóza založená na báze výlučne hydrologicko-klimatických a antropogénnych poznatkov sa však nepotvrdila. V roku 1978 začala *hladina mora neočakávane rýchlo stúpať*, pričom tento zdvih dosiahol do roku 1996 hodnotu 2,7 m. Tento fakt spôsobil *novú sociálno-ekonomickú a prírodnú katastrofu*. Došlo k zatopeniu rozsiahleho územia s rozlohou 35 000-40 000 km<sup>2</sup> (obr. 1). Na severe sa pobrežná čiara presunula o 25-50 km, v západnej časti Turkmenistanu a na Dolnokurinskej roviny o 7-10 km. Rozsiahle pobrežné územia sa stali oblasťami ekologických nešťastí. Opätovne došlo k zničeniu časti chovných revírov rýb, ohrozeným sa stal aj rod jeseterovitých rýb, ktorých stav patrí v tejto oblasti medzi najpočetnejšie vo svete (90%), zaplavené sú mnohé prístavné zariadenia a ropné plošiny, začala sa intenzívna abrázia morských brehov, postupne sú rozrušované časti miest Baku, Machačkala, Krasnovodsk, Aktau (Ševčenko), Derbent a ďalších. Napr. na územiach severne od Kaspického mora boli zaplavené desiatky sídiel, z ktorých bolo presídlených viac ako 60 000 obyvateľov. Prenesené boli aj početné priemyselné objekty. Dochádza k poškodzovaniu rozsiahlych rekreačných zón. Pod vodou sa už nachádzajú stovky kilometrov povrchových aj podzemných komunikácií, ohrozené sú časti železníc na trasách Astrachaň-Kizľar, Lenkoraň-Astara, Kras-



**Obr. 1.** Rozsah ekologickej katastrofy na ruskom pobreží v spojitosti s anomálnym zdvihom hladiny Kaspického mora v r. 1978-95; 1 – oblasti zaplavené pri transgresii v r. 1978-95 (výška hladiny -26,5m pod hladinou mora), 2 – oblasti zóny priesakov a značného zvýšenia hladiny podzemných vôd, 3 – oblasti potenciálneho zaplavenia pri zvýšení hladiny na -25m pod hladinou mora, 4 – pobrežie Kaspického mora v 1.-10. st. n.l. (Derbentská regresia)

**Fig. 1.** Ecological impact to the Russian segment of the Caspian Sea coastal areas produced by the anomalous sea level rise in 1978-1995; 1 – transgressive flooding of 1978-1995 (-26,5 m below m.s.l.), 2 – areas of waterlogging and high rise of the ground water table, 3 – areas of probable flooding when the sea level will reach -25,0 m below m.s.l., 4 – Caspian coast in the I-X centuries AD (the Derbent regression)



novodský polostrov. Zaplavené sú aj veľké zavlažovacie zariadenia a viac ako 1 mil. ha poľnohospodárskej pôdy. V susedstve týchto oblastí dochádza k takým javom ako je stúpanie hladiny podzemných vôd spôsobujúce následne rozbahňovanie a zasoľovanie pôd, prienik spodnej vody do obydľí (Astrachaň). Každoročné škody, ktoré postihujú krajiny okolo Kaspického mora, sa vyčísľujú na niekoľko miliónov dolárov. Ich výška sa do roku 2000 zvýši na desiatky miliónov dolárov.

Kolísanie hladiny Kaspického mora odráža rôznu frekvenciu, periodické aj neperiodické prejavy dynamických procesov. Počas holocénu (9 000-10 000 rokov) dosahovala amplitúda kolísania 15 m (od -20 do -35 m n.m.). V období stacionárnych meraní (od r. 1837) táto hodnota nepresahovala 4 m (od -25 do -29 m n.m.). V druhej polovici 19. stor. dosahovala priemerná hladina -26 m n.m. s výkyvmi do 0,5- 0,8 m. V 20. stor. sa amplitúda zvýšila na 3 m. Zároveň rýchlosť poklesu hladiny dosiahla v r. 1929-1940 16,5 cm za rok, na druhej strane rýchlosť zdvihu hladiny v r. 1978-1995 bola 18,5 cm za rok. Zmeny hladiny za jednotlivé roky vykazovali značné rozdiely, a to od 8 do 40 cm. Aj napriek tomu, že sa pre Kaspické more vypracovávali rôzne modely, skutočný mechanizmus jeho dynamiky, vzájomný vzťah rôznych faktorov podmieňujúcich tento mechanizmus, ostávajú aj naďalej nejasné a v tomto kontexte dlhodobé prognózy nedôveryhodné (Voropajev, 1995; Problémy ..., 1963; Chublarjan, 1995; Kolísanie..., 1980).

Historicky prvé známe objasnenie mechanizmu fluktuácie Kaspického mora bolo podané z pohľadu tektoniky. V prácach Aristotela a Strabóna sa prioritná úloha pripisovala zdvihom a poklesom morského dna. Tejto koncepcie sa rovnako pridŕžovali aj ďalší učitelia stredoveku v strednej Ázii a na Blízkom východe. Napriek tomu sa od konca 19. stor. a aj v súčasnosti prioritnou javí klimatická koncepcia, ktorá sa opiera o početné dáta získané zo širokej siete hydrometeorologických staníc. Analogická databáza exaktných kvantitatívnych hodnotení tektonických pohybov donedávna absentovala. V dôsledku toho sa obidve koncepcie, tektonická aj klimatická, rozvíjali paralelne, izolovane, vo vzájomnom protiklade, pričom nenachádzali cestu k objektívnej integrácii. Až v ostatnom období sa situácia podstatne zmenila, a to na základe získania nových principiálne dôležitých poznatkov o morfoštruktúre a endogeodynamike Kaspického mora z pohľadu neomobilizmu, ako aj nové stacionárne dáta získané z pozemných a kozmických geodetických meraní (Lilienberg, 1980, 1994, 1996; Lilienberg, Jaščenko, 1991).

### Kríza hydrologicko-klimatickej koncepcie

Rozvoj hydrologicko-klimatickej koncepcie bol spojený s nasledujúcimi faktormi:

1. paleogeografickými (paleohydrologickými) – korelácia transgresie a regresie Kaspického mora so striedaním glaciálnych a interglaciálnych fáz pleistocénu
2. všeobecnou koreláciou zmien objemu riečneho odtoku so zmenami hladiny mora za obdobie stacionárnych meraní od roku 1840.

Výskumy ostatných decéní spochybňujú ideálnosť týchto vzájomných vzťahov. Početné datovania absolútneho veku kaspických morských, glaciálnych aj interglaciálnych sedimentov Východoeurópskej roviny dokazujú, že *transgresia Kaspického mora nie je absolútne totožná s vyvrcholením interglaciálov* (maximami fluvio-glaciálneho odtoku), ale môže spadať na

začiatok alebo na koniec interglaciálov, v niektorých prípadoch dokonca do obdobia glaciálov (Lilienberg, 1994, 1996; Svitoč, 1991). Ďalej bol zistený *nesúlad v salinite a teplote morskej vody v jednotlivých obdobiach transgresie a regresie Kaspiku s obdobiami postupu roztopených vôd ľadovca*. Ukázalo sa, že niektoré mohutné transgresie (bakuská, urundžiská, chazar-ská, ranochvalynská), priebeh ktorých sa tradične spájal s výdatným postupom sladkej vody ľadovca, sa naopak odlišujú zvýšenou salinitou a obdobia regresie medzi transgresiami (venedská, čelekenská, atefská, kaspická), priebeh ktorých sa spájal so znížením odtoku sladkej vody, zase zníženou salinitou. Analogická tendencia sa prejavuje aj v holocéne. Transgresia v spodnom holocéne znamenala zvýšenie salinity vody, regresia v strednom holocéne sa vyznačovala zvýšením sladkosti vody, v neskorom holocéne (neokaspická transgresia) sa opäť vyznačovala omnoho vyššou salinitou. Z uvedeného je zrejmé, že aj napriek tomu, že sa klíma javí ako jeden z hlavných faktorov transgresívno-regresívneho mechanizmu Kaspického mora, nie je jediným faktorom, ale pôsobí v integrácii s inými prírodnými faktormi. Ako príklad uvádzame v príspevku tektonický faktor a ním podmienenú fluidodynamiku ložísk ropy a plynu.

Zásadnú porážku utrpela hydrologicko-klimatická koncepcia zverejnením chybných prognóz týkajúcej sa zmien hladiny Kaspického mora do r. 2000, ktorá sa navonok opierala o zdaniho exaktné stacionárne a štatistické dáta. Väčšina hydroológov a klimatológov, ktorí sa zaoberali touto problematikou v 50-60-tych rokoch, jednoznačne predpovedala prudký pokles hladiny Kaspického mora do r. 2000. Odlišnosti v názoroch sa týkali len veľkosti amplitúdy tohto poklesu. S touto tendenciou počítali plány ekonomického využitia nových území (napr. značný rast mesta Baku na teritóriu vysušeného šelfu). Avšak aj napriek všetkým týmto prognózam hladina Kaspického mora začala od roku 1978 rýchlo stúpať a do roku 1995 sa zvýšila o 2,7 m, čo spôsobilo rozsiahlu prírodnú katastrofu na priľahlých pobrežných územiach (obr. 1).

Príčiny podobných chýb v prognózach majú metodologickú podstatu. Nazerali na dynamiku Kaspického mora ako na jednoduchý jednostranný (lineárny) proces, pričom nebrali do úvahy reálne klimatické zmeny za toto obdobie (Caspy, 1995; Kublarjan, 1995). Okrem toho nezohľadňovali ani ďalšie prírodné a antropogénne faktory. Je potrebné poznamenať, že reálnu prognózu o značnom zvýšení (nie poklese) hladiny Kaspického mora do r. 2000 vypracovala len malá skupina tých klimatológov, ktorí analyzovali zmeny vo vzťahu Slnko-Zem a ich vplyv na globálne procesy cirkulácie, t.j. opustili úzky jednostranný rámec tohto problému.

Na výrazné výkyvy vodnej bilancie a anomálie vo výške hladiny Kaspického mora poukazovali výsledky získané z rôznych etáp stacionárnych meraní. Na ich základe boli vyčlenené periódy takých anomálií, kedy objem riečného odtoku výrazne stúpal, ale hladina Kaspického mora klesala a naopak – v istých periódach, počas ktorých sa objem riečného odtoku podstatne zmenšoval, hladina mora nevysvetliteľne stúpala. Je zrejmé, že kolísanie (fluktuáciu) hladiny Kaspického mora ovplyvňovali nielen zmeny v množstve atmosférických zrážok a objem riečného odtoku, ale aj vplyv iných prírodných faktorov vrátane tektonického. Je typické, že prejavy ničivých zemetrasení v Kaspickom regióne boli sprevádzané značnými výkyvmi v celkovom ročnom objeme vody. Porovnaním dynamiky klímy a výšky hladiny mora došli v ostatnom období niektorí klimatológovia k záveru, že „kolísanie hladiny Kaspiku



nie je adekvátne zmenám klímy v jeho úmorí“. Niektorí z nich dokonca prepokladajú, že rozhodujúcim faktorom v tých kolísaniach Kaspického mora, ktoré majú zjavný anomálny charakter, sú tektonické pohyby.

### **Zdôvodnenie morfoštruktúrno-geodynamickej koncepcie**

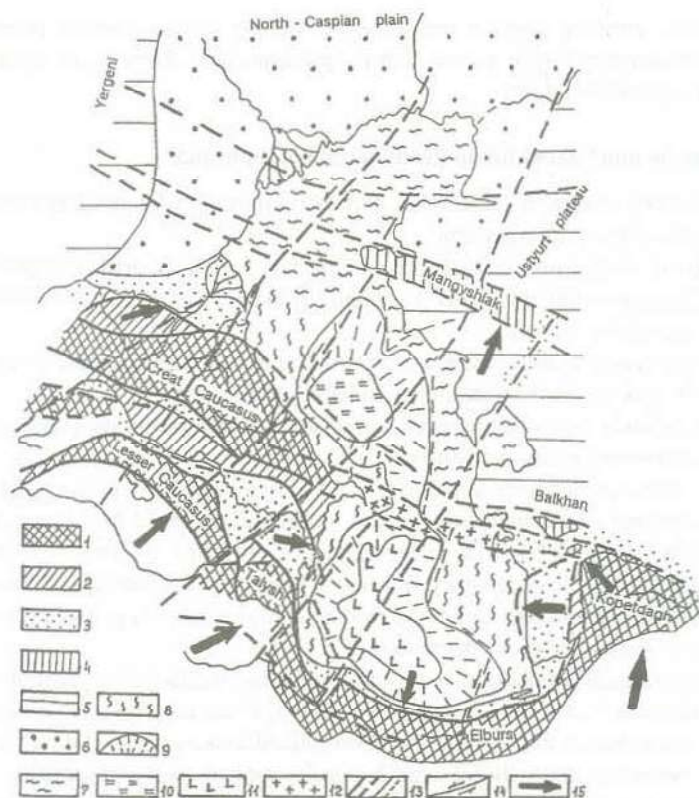
Argumentácia v prospech tektonickej morfoštruktúrno-geodynamickej koncepcie môže byť podložená nasledujúcimi faktormi:

1. rozhodujúcou úlohou pulzačných horizontálnych pohybov v morfotektogenéze Kaspickej depresie, ktoré podmieňujú zmeny jej objemu aj hladiny (nezávisle od zmien v množstve pritekajúcich vôd do mora),
2. všeobecným vzájomným vzťahom medzi veľkými transgresiami a regresiami Kaspického mora s hlavnými fázami regionálnej aj globálnej tektogenézy,
3. výrazným pokrokom v stacionárnych meraniach intenzity recentných tektonických pohybov a ich priestorovo-časových zmien.

*Kaspický región predstavuje unikátny geomorfologický, tektonický a geodynamický uzol globálneho významu* vyznačujúci sa vysokou mobilitou (Caspy, 1995; Caspian Sea, 1987; Lilienberg, 1980, 1994, 1996). Tu sa pretínajú dva orogénne systémy – submeridionálny uralský a kváziravnobezkový alpínsky (Kaukaz – Kopetdag) a stretávajú sa 3 dosky – ruská, skýtska a turanská. Na celú túto zložitú heterogénnu morfoštruktúru je diskordantne naložená mladá submeridionálna Kaspická depresia (obr. 2).

V ostatných rokoch boli získané nové podstatné údaje o mladých aj recentných tectogénnych mechanizmoch z *pohľadu neomobilizmu*. Hlavným mechanizmom v kaukazsko-kaspickej kolíznej suture medzi eurázijskou a arabskou litosférickou doskou je pulzatívny tlak na severný až severovýchodný výbežok arabskej dosky spojený s otvorením riftov v Červenom mori a Adenskom zálive. Tento tlak viedol k výraznému priečnemu stlačeniu orogénneho pásma a depresie Kaspického mora, k ohnutiu všetkých horských systémov Malej Ázie a Blízkeho východu smerom na severovýchod, k formovaniu príkrovových morfoštruktúr, diagonálnych ľavostranných presunov veľkých krýh; pozdĺžnych subdukčných zón so strmým úklonom seizmofokálnych plôch smerom na severovýchod. Dynamika evolúcie morfoštruktúr a hlavných črtí reliéfu je určovaná *mechanizmom horizontálnej kontrakcie resp. expanzie* (Lilienberg, 1994, 1996, 1997; Lilienberg, Jaščenko, 1991). Vertikálne pohyby ovplyvňujúce diferenciáciu reliéfu môžu byť chápané ako prejav tohto mechanizmu. Výsledkom týchto pohybov je fakt, že sa územie skýtskej a arabskej dosky v období pliocén-kvartér priblížilo o 350-400 km. Kaspická depresia sa prudko deformovala a jej stredná časť bola prehnutá v západo-východnom smere. Súčasný reliéf depresie nezodpovedá ani mladej ani pliocénnej, ale ani pleistocénnej štruktúre – t.j. javí sa ako veľmi mladá, prevažne holocénneho veku. Pritom orogénno-štruktúrne fázy a fázy vrásnenia zodpovedajú fázam aktivizácie otvorenia adenského riftu a riftu v Červenom mori (10-12, 3-4, 1 mil rokov), a tiež aj fázam aktivizácie rozpínania Stredoatlantického chrbta a oživenia pohybov v stredomorskom pásme.

*Hlavné etapy prestavby morfoštruktúry Kaspickej depresie a zmien v klimatických pomeroch sa vo všeobecných črtách často zhodovali*, čo spôsobovalo zmeny vo vodnej bilancii aj výške hladiny mora. Je zaujímavé, že všetky prechody od rovnovážneho k nerovnovážnemu



Obr. 2. Morfoštruktúrno-geodynamická schéma Kaspického regiónu a priľahlých oblastí

Morfoštruktúry medziplatňovej kolízie: 1 – príkrovové pohoria (Veľký a Malý Kaukaz, Talyš, Elburs, Kopetdag a iné), 2 – príkrovovo-vrásové inverzné nízke pohoria medzihorských depresii a predhlbní, 3 – roviny medzihorských oblastí a predhlbní; Morfoštruktúry platformy: 4 – príkrovové nízke pohoria, 5 – blokovo-príkrovové plošiny a vyvýšeniny, 6 – platformné depresné roviny; Morfoštruktúry superponovanej Kaspickej depresie: 7 – šelf platformy, 8 – šelf v orogeosynklinálnej kolíznej zóne, 9 – svah, 10 – dno heterogénnej depresie, 11 – dno depresie v kolíznej zóne, 12 – hrastový zdvih sutury; Ostatné znaky: 13 – zlomy regionálnej a interregionálnej mierky odlišné v charaktere a type, 14 – zdvihové deformácie, 15 – smery regionálnych horizontálnych presunov

Fig. 2. Morphostructural- geodynamic sketch of the Caspian region and adjacent areas

Morphostructures of the interplate collision: 1 – nappe-overthrust mountainous systems of the Great and Lesser Caucasus, Talysh, Elburs, Kopet-Dagh and other, 2 – inverted nappe-fold low mountains of intermontane depressions and foredeeps, 3 – intermontane and foredeep flat lands; Platform morphostructures: 4 – nappe-overthrust low mountains, 5 – block-overthrust plateaus and rises, 6 – platform depression plains; Morphostructures of the superimposed Caspian Depression: 7 – platform shelf, 8 – shelf within the oro-geosyncline collision zone, 9 – slope, 10 – bed of the heterogeneous depression, 11 – bed of the depression associated with the collision zone, 12 – horst-overthrust uplift of the suture zone; Miscellaneous: 13 – faults of a regional and interregional scale, different in rank and type, 14 – wrenching, 15 – trends of lateral displacements



stavu boli krátkodobé, impulzívne a mali katastrofický charakter. Ako sa neskôr ukázalo, *etapám transgresie* (aj s ich istým časovým predstihom) obyčajne zodpovedali etapy regionálnej kontrakcie, intenzívneho vysladzovania, úbytku priestoru, zmeny reliéfu a objemu depresie. Zároveň opätovne sa rozrastajúce povodia boli diskordantne naložené na predchádzajúci štruktúrny plán. Tento vývoj je typický pre pontskú (N1), akčagylskú (N13), apšerónsku (N23), bakuskú (Q1), chazarskú (Q2) a čiastočne chvalynskú (Q3) transgresiu. Analogicky *fázy regresie* pripadajú na *obdobia expanzie*. Amplitúdy kvartérnych zlomov v južnej časti Kaspického mora dosahujú miestami viac ako 1 km (pri maximálnej súčasnej hĺbke depresie 1025 m), rozdiely v tektonických skokoch v reliéfe dna dosahujú stovky metrov (Lilienberg, 1996, 1997).

Tieto materiály poukazujú na fakt, že *podiel tektonických mechanizmov na transgresívno-regresívnom režime Kaspického mora bol jedným z dominantných*. Preto sa klimatická koncepcia ignorujúca tento fakt javí ako jednostranná a nepostačujúca.

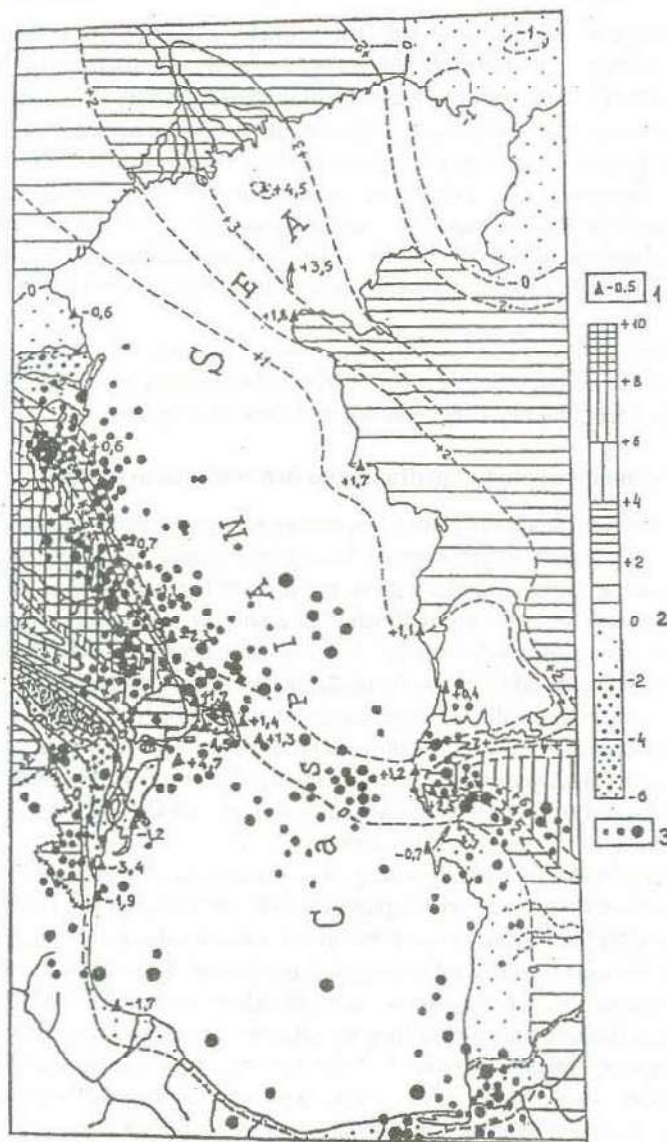
#### Recentné tektonické pohyby (podľa najnovších stacionárnych dát)

Principiálne odlišné predstavy o intenzite, zmenách a mechanizme recentnej geodynamiky poskytujú výsledky stacionárnych meraní. Na základe údajov získaných družicovým GPS meraním sa výbežok arabskej platne v 90-tych rokoch pohyboval smerom na severovýchod rýchlosťou 35 cm/rok, čo viedlo k vzdiaľovaniu sa anatólskej a iránskej mikroplatne (vrátane depresie južnej časti Kaspického mora). Boli zaznamenané horizontálne presuny pozdĺž terského, východodagestanského a predkopetdagského zlomu s rýchlosťou 2-5 cm/rok, čo je porovnateľné s presunmi pozdĺž severoanatólskeho zlomu (5-9cm/rok). Na západnom Kaukaze a v Zakaukazsku GPS merania stanovujú rýchlosť presunov zón regionálnych zdvihov v rozmedzí 1-2 cm/rok. Zmeny rýchlostí v čase majú pulzačný charakter, pričom sú prejavom mechanizmu kontrakcia – expanzia, čo nemôže ostať bez adekvátneho vplyvu na príslušné deformácie a zmeny v objeme Kaspickej depresie.

O ešte širšiu bázu sa opierajú pozemné geodetické merania založené na sieti vysokopresného opakovaného nivelovania Peri-Kaspickej oblasti a priľahlých území o rozlohe viac ako 30 000 km, na ktorej sa nachádza asi 4 500 sídiel. Okrem toho je v Prikaspijskom regióne vybudovaných 10 špeciálnych geodynamických polygónov, kde sa uskutočňujú pravidelné merania. Existuje tu sieť mareografov s časovým radom pozorovaní 70-100 a viac rokov. To umožnilo konštrukciu niekoľkých máp recentných vertikálnych pohybov morfoštruktúr Kaukazsko-kaspickej oblasti v mierke 1: 2 500 000 pre rôzne časové úseky v XX. storočí (Lilienberg, 1980, 1994; Map...1973, 1989), značného počtu morfoštruktúrno-geodynamických profilov, ako aj analýzu základných priestorovo-časových zákonitostí v zmenách recentných pohybov.

V poli vertikálnych pohybov sa odrážajú všetky základné morfoštruktúry rôznych typov aj hierarchie, pričom každá z nich sa odlišuje svojou mobilitou, diferenciáciou, individuálnym charakterom a štýlom geodynamiky (obr. 3). Najväčšie zdvihy horských systémov Veľkého Kaukazu, Malého Kaukazu a Krasnovodskej plošiny dosahujú hodnoty 1-1,5 cm /rok, v oblasti nízkych pohorí vo východnom Dagestane, Kobystane, na Mangyšlaku a plošine Ust'-jurt 0,5 cm/rok, na rovinách severného pobrežia Kaspického mora a v západnom Turkmenistane





**Obr. 3.** Schéma intenzity, smerov a diferenciácie recentných tektonických pohybov Kaspického regiónu v 1. polovici 20. storočia; 1 – mareografické stanice a namerané rýchlosti v mm/rok, 2 – oblasti zdvihov a poklesov (mm/rok) podľa opakovanej nivelácie, 3 – epicentrá zemetrasení rôznej sily

**Fig. 3.** Directions and rates of differentiation of recent tectonic motions in the Caspian region for the middle of the XX century (by D.A. Lilienberg, V.A. Matskova, and S.V. Pobedonostev); 1 – mareographic stations and measured velocities in mm/y, 2 – areas of uplifting and subsidence (mm/y) as per repeated level survey, 3 – epicenters of earthquakes of different magnitude

od +2 do -3 mm/rok. Najväčšie poklesy pripadajú na Kurinskú nížinu (-0,5 až -1 cm/rok), stredné hodnoty 0 až -3 mm/rok na Tersko-sulackú a Samurskú zníženinu. Vertikálne pohyby sú odrazom najmä blokovej diferenciácie zemskej kôry. Pre zóny zlomov sú typické zmeny s veľkým gradientom intenzity pohybov (0,5-1 cm/rok/km).

Opakované nivelačné a mareografické merania (obr. 4) dokazujú, že *vertikálne pohyby* nie sú lineárne (t.j. jednosmerné), ako sa to predpokladalo v minulosti, ale *premenlivé* spojenú so zmenami režimu rotácie Zeme (Lilienberg, 1980, 1994, 1997). Hlavné (*pozitívne aj negatívne*), *podliehajúce zmenám intenzity v čase, ktoré majú oscilačno-vlnovú povahu* kvázi-rovnobežkové morfoštruktúrne zóny – Predkaukazsko, Veľký Kaukaz, Zakaukazsko, Zakaukazská depresia, Malý Kaukaz a Severoarménska náhorná plošina sú vystavované striedavým zdvihom a poklesom s kváziperiodicitou 10-15 a 25-30 rokov.

Striedanie pozdĺžnych zdvihov a poklesov môže byť interpretované ako výsledok striedania fáz horizontálnej kontrakcie a expanzie. Keďže spomenuté morfoštruktúry pretínajú Kaspické more, príslušný mechanizmus spôsobuje kváziperiodické zmenšovanie alebo rozširovanie depresie v submeridionálnom smere.

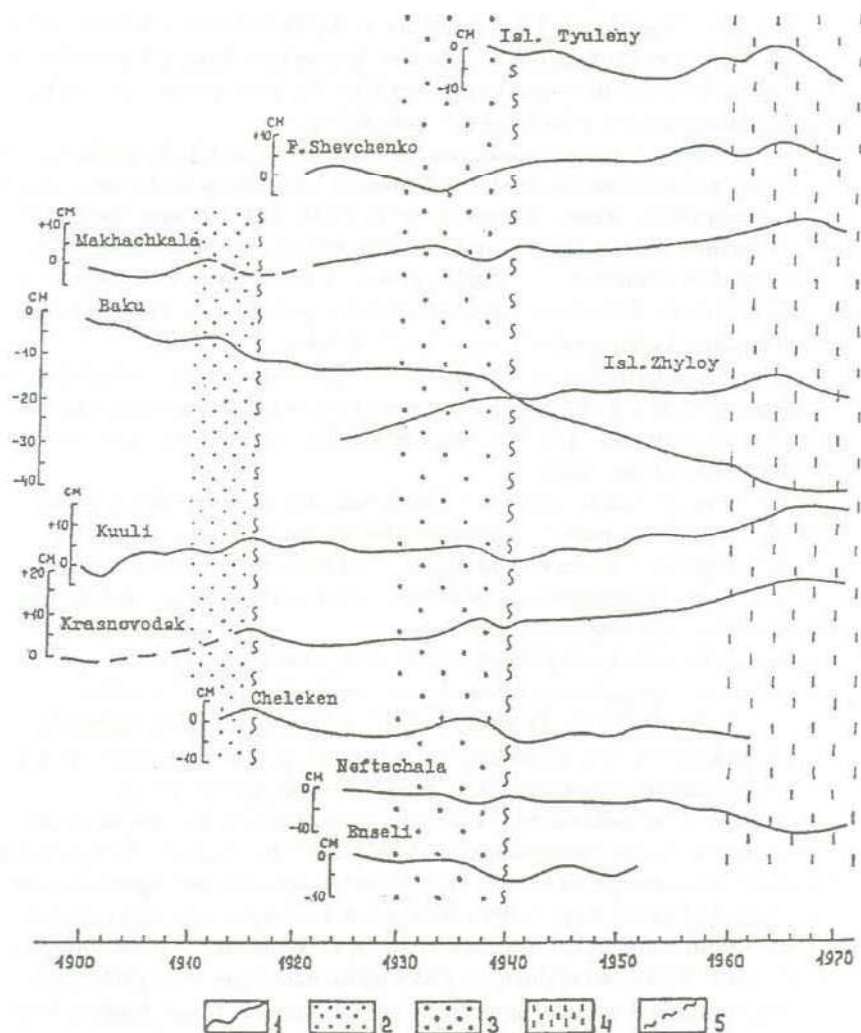
Na druhej strane geodetické merania v Predkaukazsku, Zakaukazsku a v Zakaspickej oblasti potvrdili analogický priebeh submeridionálnych vln zdvihov a poklesov priečných blokových morfoštruktúr, čo vedie k striedavým kontrakciám a rozpínaniam depresie v kvázi-rovnobežkovom smere. Interferencia pozdĺžnych a priečných vln určuje zložitú dynamiku morfoštruktúrneho vývoja Kaspického regiónu.

Merania na geodynamických polygónoch, pozdĺž jednotlivých línií a v geodetických bodoch poukazujú na *pravidelnú aj nepravidelnú rytmickosť vertikálnych pohybov* s postupnosťou 100-120, 50-60, 35-40, 25-30, 10-15, 5-7, 2-3 a 1 rok. Tento jav je možné sledovať aj na základe iných komponentov geodynamiky: bahenného (ropno-plynového) vulkanizmu, seizmicity, fluidodynamiky, zmenami v ťažbe ropy a zemného plynu (tab. 1).

Pre zmeny bahenného vulkanizmu a seizmicity sú typické dve zákonitosti: *K aktivizácii ich činnosti dochádza vo fázach rozpínania a zníženia hladiny Kaspiku* (obr. 5). Výrazné skoky uvoľňovania seizmickej energie na Beniofových grafoch sú sprevádzané impulzívnymi fázami poklesu alebo zdvihu hladiny mora a silné zemetrasenia výraznými výkyvmi vodnej bilancie. Celkovo možno postrehnúť zhodu tendencií endo- aj exodynamiky – katastrofický pokles hladiny Kaspiku v r. 1929-1940 sa zhoduje s obdobím rozsiahleho procesu aktivizácie seizmicity v severných častiach alpínskeho orogénneho pásma (Karpáty, Krym, Kaukaz, Kopetdag, juh Ruskej roviny) a katastrofický zdvih hladiny v rokoch 1978-95 s analogickým procesom v stredných častiach alpínskeho orogénneho pásma (severovýchod Turecka, Zakaukazsko, Severný Irán, Západný Turkmenistan). Od roku 1978 sa stráca všeobecná korelácia chodu hladiny Kaspiku s dynamikou Azorského tlakového maxima a atmosférickými procesmi v oblasti Severného ľadového oceánu, to znamená, že sa vytvára vzájomná súvislosť medzi rozsiahlymi endodynamickými a klimatogénnymi procesmi na globálnej úrovni (Lilienberg, 1994, 1997).

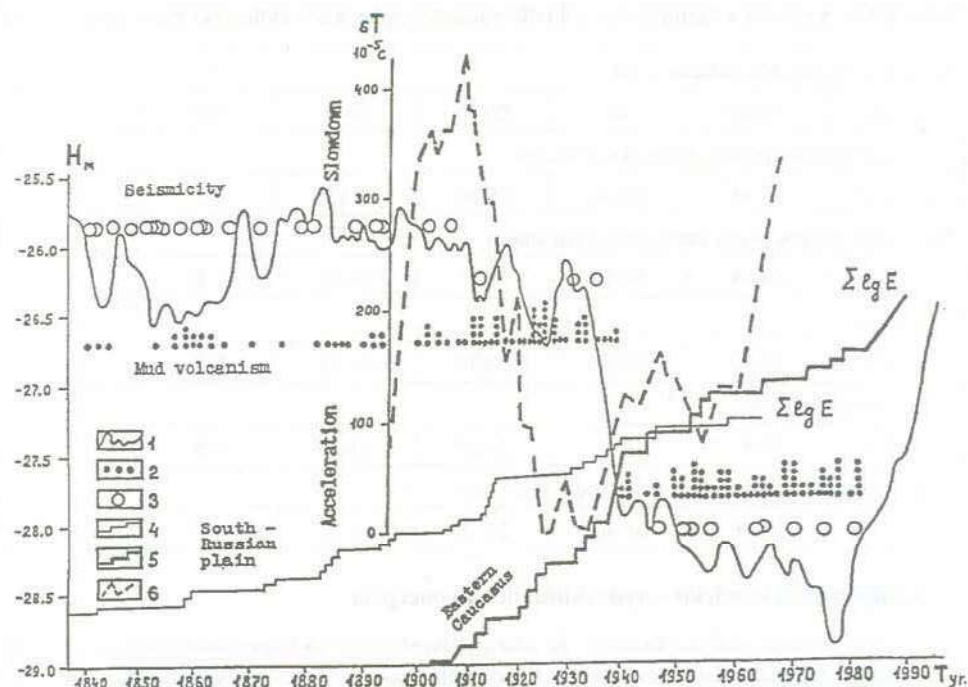
Všestranne a systematické stacionárne merania recentných tektonických pohybov umožňujú porovnať ich zmeny s rovnako získanými meraniami v kolísaní hladiny Kaspiku a zmenami hydroklimatických procesov (tab. 1). Ukazuje sa, že *frekvencia endo- a exodynamiky*





**Obr. 4.** Oscilačno-vlnové vertikálne pohyby pobrežia Kaspického mora na základe mareografických meraní; 1 – krivka amplitúd rýchlosti pohybov podľa S. V. Pobedonosceva (1972), 2 – 5-ročné fázy aktivizácie pohybov, 3 – 10-ročné fázy aktivizácie diferencovaných pohybov, 4 – 10-ročné fázy aktivizácie monotónnych pohybov, 5 – hranice 25-30-ročných cyklov pohybov.

**Fig. 4.** Oscillatory-wave vertical motions of the Caspian Sea coast as per mareographic data; 1 – graphs of the motion amplitudes after S. V. Pobedonostsev (1972), 2 – five-year-long phase of motions activation, 3 – twenty-year-long of active differential motions, 4 – ten-year-long phase of rather monotonous motions, 5 – boundaries of 25-30-year motion cycles



Obr. 5. Vzájomné vzťahy medzi kolísaním hladiny Kaspického mora, seizmicitou a bahenným (ropno-plynovým) vulkanizmom; 1 – graf kolísania hladiny Kaspického mora podľa mareografických údajov, 2 – erupcie bahenných sopiek podľa V. A. Gorina, Z. A. Buniat-Zade (1971) a D. A. Lilienberga (1969, 1994), 3 – epicentrá silných zemetrasení, 4 – graf uvoľnenej celkovej seizmickej energie pre juh Ruskej roviny podľa I. V. Ananjeva, D. A. Lilienberga, J. K. Ščukina (1973), 5 – graf uvoľnenej celkovej seizmickej energie pre Východný Kaukaz, 6 – zmeny v rotačnom režime Zeme

Fig. 5. Relations of the Caspian Sea level fluctuations, seismicity, and mud (oil-gas) volcanism; 1 – graph of the Caspian Sea level fluctuations as per mareographic data, 2 – mud-volcanic eruptions after V.V. Gorin, Z.A. Buniat-Zadeh (1971) and D.A. Lilienberg (1969, 1994), 3 – epicenters of strong earthquakes, 4 – graph of total seismic energy release for the south of the Russian Plain after I.V. Anan'in, D.A. Lilienberg, Yu.K. Shchukin (1973), 5 – same for the Eastern Caucasus, 6 – changes of the Earth's rotation

je vo všeobecných črtách zhodná, aj keď sa vyskytujú tak pravidelné ako aj nepravidelné tendencie a isté zámeny v jednotlivých fázach. Kvázirytmičnosť v slede 100-120, 50-60, 35-40, 25-30, 10-15, 5-7, 2-3 a 1 rok je možné sledovať vo všetkých komponentoch súčasnej geodynamiky – v horizontálnych aj vertikálnych pohyboch, bahennom vulkanizme, seizmicite, fluidodynamike a pod. a dobre korešponduje s analogickou rytmičnosťou tak hydroklimatických procesov, ako aj rytmičnosťou aktivizácie slnečnej aktivity vcelku.



**Tabuľka 1:** Storočné kvázirytm (v rokoch) súčasnej endo- a exodynamiky Kaspického mora

| Kolísania hladiny Kaspického mora                |       |       |       |       |     |     |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| 10-120                                           | 50-60 | 40    | 25-30 | 10-15 | 5-7 | 3-4 |
| Vertikálne pohyby podľa geodetických údajov      |       |       |       |       |     |     |
| 100-110                                          | 55-65 | 35-40 | 25-30 | 9-12  | 5-7 | 2-3 |
| Vertikálne pohyby podľa mareografických údajov   |       |       |       |       |     |     |
| 110-120                                          | 60-65 | 40-50 | 30-35 | 10-12 | 5-7 | 3-4 |
| Seizmicita                                       |       |       |       |       |     |     |
| 100-120                                          | 50-60 | 35-40 | 20-30 | 10-15 | 5-7 | 3-5 |
| Bahenný vulkanizmus                              |       |       |       |       |     |     |
| 100-120                                          | 50-60 | 40    | 25-35 | 10-12 | 4-5 | 2-3 |
| Fluidodynamika (ropa, zemný plyn, podzemné vody) |       |       |       |       |     |     |
| –                                                | 50-60 | 35-40 | 20-25 | 10-12 | 3-5 | 2-3 |

### Komplexná tektonicko – hydroklimatická koncepcia

Predchádzajúca analýza ukazuje, že kríza jednostrannej aj hypertrofovanej klimatickej koncepcie je zákonitá. Kolísanie hladiny Kaspického mora sa deje v dôsledku nielen *klimatických zmien*, ale aj za bezprostredného pôsobenia takého významného faktora ako je *morfotektonogénna*. Tento jav je dobre sledovateľný v geologickej evolúcii Kaspickej depresie, ale aj v súčasnom období. Konkrétny prínos tektogénneho a klimatogénneho faktora mohol byť pritom rôzny v rôznych etapách. Preto je nevyhnutné prejsť od jednostranných schém mechanizmu kolísania Kaspického mora ku *komplexnej integrovanej koncepcii jednotného tektonicko-hydroklimatického mechanizmu* (Lilienberg, 1994, 1996, 1997).

*Fenomén Kaspického mora predstavuje zložitý a otvorený prírodný (v súčasnom období prírodno-technický) geosystém.* Existujú tu jednotné mechanizmy geodynamiky globálneho a regionálneho rozvoja, ktoré zjednocujú spoločné zdroje energie (kozmickej, pozemnej a inej), ale aj energetiku iba endogénnych alebo iba exogénnych procesov. V súlade s tým sa v prejavoch endo- a exogenézy odrážajú na jednej strane mechanizmy spoločné pre obe formy, na druhej strane špecifické autonómne mechanizmy vlastné pre každú formu zvlášť a rovnako aj zložené kombinácie ich vzájomného vplyvu a vzájomných vzťahov, vrátane rôznych kaskádovo-energetických systémov rôzneho typu, úrovne a sily. *Fenomén Kaspického mora sa v tomto chápaní javí ako regionálna reakcia na všeobecné zmeny globálneho prírodného geosystému.*

Podľa prejavov tektogénnych, klimatogénnych a antropogénnych mechanizmov katastrof v oblasti Kaspického mora sme vyčlenili 3 typy *vzájomného pôsobenia*:

*Aralský typ* – keď je orientácia tektogénnych, klimatogénnych a antropogénnych procesov identická v čase a ich integráciou sa dosahuje maximálny ekologický efekt. K tomuto typu

možno priradiť anomálny pokles hladiny Kaspického mora v r. 1929-40 a s ním spojené sociálno-ekonomické následky.

*Kaspický typ* – orientácia tektonogénnych a klimatogénnych procesov sa časovo zhoduje, procesy sa integrujú, orientácia antropogénnych procesov je však protikladná. Takým bol anomálny zdvih hladiny Kaspiku v r. 1978-97 a s ním spojené sociálno-ekonomické dôsledky.

Je možné vyčleniť aj *zmiešaný aralsko-kaspický typ* vzájomného pôsobenia. Je zrejmé, že v týchto mechanizmoch môže byť úloha antropogénneho faktora rôzna – destabilizujúca (v prvom type), stabilizujúca (v druhom type). To isté platí aj pre tektonogénny faktor.

Preložila PaedDr. Alena Madziková

Konzultant: Doc. RNDr. Ján Harčár, CSc.

### Literatúra:

- ANANIN, I. V., LILIENBERG, D. A., ŠČUKIN, J. K. (1973): Sootnošeniye sovremennykh vertikal'nykh dvizheniy, morfostrukturnoy differenciacii zemnoy kory a sejmičností. Sovremennyye dvizheniya zemnoy kory. (metodika i rezul'taty issledovaniy). Tom 5. Izdatel'stvo Estonskoj Akademii nauk. Tallin. 605-616.
- GORIN, B. A., BUNIAT-ZADE, Z. A. (1971): Glubinnyye razlomy, gazoneft'noy vulkanizma i neftegazovyye mestoroždeniya Južno-Kaspijskoj depresii. Azgosuzdat. Baku. 190s.
- CASPY-95 (1995): Interantional Conference. Abstracts. Moscow. 147p.
- Kaspijskoje more: Geologija i neftegazonosnosť, 1987. Izdatel'stvo Nauka. Moskva. 295s.
- LILIENBERG, D. A. (1980): General'nyye i regional'nyye zakonomernosti sovremennoj geodinamiki Kavkaza (po novym geodezičeskim i geomorfologičeskim dannym). Sovremennyye dvizheniya zemnoy kory. Izdatel'stvo Naukova dumka. Kijev. 207-217.
- LILIENBERG, D. A. (1994): Novyye podchody v izučenii sovremennoj geodinamiki Kaspijskogo regiona i voprosy jejo monitoringa. Izvestija Rossijskoj akademii nauk, Serija geografičeskaja. No. 2. 16-36.
- LILIENBERG, D. A. (1994): Cyclicity in manifestation of recent geodynamics in the Aral-Caspian region and anomalous changes of the Caspian Sea level. Zeitschrift für geologische Wissenschaften. T. 22, No. 3-4. 479-485.
- LILIENBERG, D. A. (1996): Problemy morfotektoniki, geodinamiki i geoekologii Kaspija. Izvestija Rossijskoj akademii nauk, Serija geografičeskaja. No. 6. 140-146.
- LILIENBERG, D. A. (1997): Morphostructural-geodynamics features and tectonic-climatic mechanism of the Caspian Sea level fluctuations. To International conference „Neotectonics and its influence on the formation of oil and gas fields“ (Papers). Azerbaijan Baku. 18p.
- LILIENBERG, D. A., MESHCHERSKY, I. N. (1969): On the role of tectonic and non-tectonic factors in recent deformations of the Earth's surface (Caspian Peninsula). Third International symposium „Problems of recent crustal movements“. Moscow. 322-332.
- LILIENBERG, D. A., YASHCHENKO, V. R. (1991): Contribution of geodetic techniques to study on recent geodynamics in seismically active mountainous (To XX General Assembly of the IUGG). Moscow: SGC of the USSR Academy of Sciences. 55p.



- Map of recent crustal movements in the Eastern and Central Europe, 1973. Sc. 1: 2 500 000. GUGC USSR. Moscow.
- Map of recent crustal movements in the USSR, 1989. Sc. 1: 5 000 000. GUGC USSR. Moscow.
- POBEDONOSCEV, C. V. (1972): Metody opredelenija sovremennykh vertikal'nykh dviženij poberežnykh ozer i morej po urovnemernym dannym. Izd. Instituta geografii AN SSSR. Moskva. 16s.
- SVITOČ, A. A. (1991): Kolebanija urovňa Kaspijskogo morja v plejstocene. Izdatel'stvo Nauka. Moskva. 5-100.
- CHUBLARJAN, M. G. (1995): Fenomen Kaspija. Vestnik Rossijskoj akademii nauk. T. 65. No. 7. 616-630.

### RECENT TECTONIC PROCESSES AND FLUCTUATION OF THE CASPIAN SEA LEVEL

*Dmitrij Anatoljevič LILIENBERG*

#### Summary

The Caspian phenomenon results from the long-term interaction of the lithosphere, hydrosphere, atmosphere, global and regional factors forming an integral natural system. Any change in each of those components produces a direct impact on the sea level.

During the latest years the principally new data on a morphostructure, recent and contemporary tectogenic mechanisms have been collected. As revealed, the leading role in deformation of the Caspian Depression belongs to lateral motions parented by a plate collision and stress coming from the Arabian Plate Projection, a pulsatory stress-strain mechanism controlling the Caspian Depression capacity (regardless to the actual water volume), oscillatory wave vertical motions associated with the Earth's rotation fluctuation, existence of mantle plumes, etc.

The principal stages of the Pliocene-Quaternary evolution of the Caspian, its major transgressions and regressions are associated with the radical reorganization of the depression morphostructure, water balance and level. Characteristically that all transitions from the stable to unstable status were short, impulsive, and disastrous. The transgression stages are correlated (insignificantly leading in time) with the periods of general contraction and rootless folding causing general contraction, reorganization of morphology and basin capacity, new depression slopes development. Growing basins were discordantly superimposed over the older structural pattern. This is known for the Pontus, Akchagyl, Apsheron, Baku, and Khazar sea transgressions. The stages of deep regression (up to few hundreds of meters) correlate with the regional spreading, erosion of slopes, expansion of paleodeltas. The present-day morphology was formed in late Pleistocene-Holocene and does not match with that of preceding stages.

Climate changes are in certain correlation with tectogenic stages. This fact points to an existence of the common tectonic and climatic integral mechanism. So the transgression and regression events in the Caspian can be considered as a regional answer to global changes of the geosystem.

An analysis of instrumental data shows an oscillatory-wave nature of contemporary vertical motions in the Caspian region and adjacent areas. They reveal themselves in a quaziperiodic 100-120, 50-60, 35-40, 25-30, 10-15, 5-7, 2-3, and 1-year cycles. That correlates with the analogue periodicity of hydrologic and climatic processes and can be traced in different aspects of endodynamics such as vertical and lateral crustal motions, seismicity, mud volcanism, dynamics of underground waters, variations in oil and gas production.

The lateral velocity of the tectonic motions is assessed to be in the range of 4-7 cm/year, the vertical velocity makes up 1-2 cm/year (for the cycles of few tens of years) and 3-6 cm/year (for the shorter cycles), i.e. 10-4 – 10-5, same as an order of the Caspian level fluctuation. Tendencies of endo- and exogenous processes coincide in many points. For example, the anomalous drop of the Caspian level in 1929-95 were coincident with activation of large-scale processes (seismicity) in the adjacent areas of northern and intermediate orogens (respectively) of the Alpine belt.

In „caspianology“, the contribution of tectogenic and climatogenic factors to the Caspian sea level fluctuations were traditionally considered as independent from each other. Such a unilateral approach shall be changed to the integral concept of the tectonic and climatic mechanism with a different shares belonging to the tectogenic and climatogenic components in different stages of evolution. To instrumentally monitor the named processes the project of the International Caspian Test Area has been developed.

**Recenzent:** Doc. RNDr. Ján Harčár, CSc.

## POZNÁMKY KE GEOMORFOLOGICKÝM POMĚRŮM ČÁSTI KRÁLICKÉHO SNĚŽNÍKU V ČESKÉ REPUBLICE

Jaromír DEMEK<sup>1)</sup>, Jiří KOPECKÝ<sup>2)</sup>

### Abstract

*Geomorphology of Mt. Králický Sněžník, Czech Republic. Mt. Králický Sněžník (1423.7 m a.s.l.) is situated in notheastern part of the Bohemian Highlands on the boundary between Czech Republic and Poland ( see Fig. 1). Mt. Králický Sněžník was a high mountain group as early as the Tertiary Period. This has been confirmed by pediments in valley of the Morava R. and Malá Morava R. Pediments cut crystalline bedrock and are covered by Neogene (the most probably Pliocene) lacustrine and fluvial deposits. There are also forms of tropical karst on pediment ( e.g. cockpits). A harsh cold climate, which ruled in area in glacials is evident from numerous cryogenic phenomena (nivation hollows, frost-riven cliffs, cryoplanation teraces, polygonal grounds, etc.). But there are not typical glacial erosion forms. Authors propose hypothese of presence cold-base glaciers in the mountain group during Pleistocene glacials.*

**Keywords:** Bohemian Highlands, pediments, cold-base Pleistocene glaciers

---

Prof. RNDr. Jaromír DEMEK, DrSc., Jiří KOPECKÝ

<sup>1)</sup> Katedra geografie Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity, Poříčí 7, 603 00 Brno, Česká republika

<sup>2)</sup> Správa chráněných krajinných oblastí České republiky Správa CHKO Broumovsko, Ledhujská 59  
549 54 Police nad Metují Česká republika