

Profesorius Emilis Jemeljanovas (Emelyan Emelyanov) – geologas, Vilniaus universiteto 1958 m. laidos absolventas, po baigimo visą laiką dirba Rusijos mokslų akademijos Okeanologijos instituto Atlanto skyriuje Kaliningrade (Karaliaučiuje). Jis nenutraukė ryšių su Lietuvos geologų bendruomene ir yra dažnas svečias „Geologijos akiračių“ žurnalo puslapiuose. Praeitais metais garsi pasaulyje mokslinės literatūros leidykla „Springer“ anglų kalba išleido jo monografiją „Barjerų zonos vandenyne“ (*The Barrier Zones in the Ocean*). „G.A.“ žurnalo redakcija paprašė jo pasidalinti mintimis apie šiuos įdomius gamtos reiškinius.

Pasakodamas apie barjerų tyrimo ištakas prof. E. Jemeljanovas prisiminė, kad šia problema susidomėjo prieš 30 metų, perskaitęs 1976 m. paskutiniąją žymaus rusų geologo sedimentologo N. Strachovo publikaciją. Straipsnyje buvo rašoma apie jūrų ir vandenynų geocheminio zoniškumo tyrimų svarbą. Mokslinio tyrimo laivais „vagodamas“ pasaulinį vandenyną, E. Jemeljanovas vis įdėmiau žvelgė į įvairias ribas vandens masėje ir dugno nuosėdose, vis aiškiau pradėjo suvokti, kad ribos jūrose ir vandenynuose lemia ne tik sedimentogenezės bet ir rūdų susikaupimo procesus. Jo tyrimų rezultatai skelbti daugelyje mokslinių publikacijų, kuriose pateikta ir „Jūrų ir vandenynų geocheminių barjerų ir jų zonų klasifikacija“. Autorius prisimena, kad dirbdamas daug kur rėmėsi žinomo geochemiko A. Pelermano, tyrusio geocheminius barjerus sausumoje ir suformavusio cheminių elementų migracijos sampratą, darbais (1989). Sugebėjimas įžvelgti savo pirmtakų darbuose bendrošius gamtos dėsniumus ir kūrybingai pratęsti jų darbus – mokslininko brandos požymis.

Emilis Jemeljanovas, Rusijos mokslų akademijos P. Širšovo Okeanologijos instituto Atlanto skyrius, Kaliningradas

RIBŲ IR GEOCHEMINIŲ BARJERŲ REIŠMĖ JŪRŲ GEOLOGIJOJE

Gamtai būdingas stebėtinai tobulumas, kurį lemia ribų visuma.

Suvokę gamtoje egzistuojančias ribas, suprantame jos veikimo mechanizmą.

A. Baricco (iš romano „Jūra vandenyne“, 1993)

Anotacija

Jemeljanovas E. Ribų ir geocheminių barjerų reikšmė jūrų geologijoje // Geologijos akiračiai. ISSN 1392-0006. 2007, Nr. 1. 47-54 p.

Ribas, kur vandenyne susikerta įvairios srovės ir vyksta sudėtingi fiziniai bei cheminiai reiškiniai, dar mažai ištirtos, nes jūriniai tyrimai gerokai brangesni nei tyrimai sausumoje. Tokiose vietose kai kurie cheminiai elementai ir junginiai yra nusodinami, – jiems tai neperžengiamas barjeras.

Straipsnyje aptariama geocheminių barjerų samprata, cheminių elementų migracija, naudingosios iškasenos, kurios formuojasi barjerinėse zonose, ir mineralinių žaliavų sankaupų prognozavimo galimybės jūrose bei vandenynuose.

Abstract

Emelyanov E.M. Significance of Boundaries and Geochemical Barriers for Marine Geology // Geologijos akiračiai. ISSN 1392-0006. 2007. No. 1, p. 47-54.

Boundaries, where different streams intersect and intricate physical and chemical processes take place, are not fully investigated yet, because the marine researches are significantly more expensive than those performed on land. Such places are notable for deposition of some chemical elements and compounds, which, hence, stay within bounds in front of a barrier that cannot be outstepped.

A concept of geochemical barriers (GB) is discussed in the paper.

Keywords: marine geology, geochemical barriers, ocean, boundaries.

Received 14 December 2006, accepted 22 February 2007

Atlantic Branch of P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Prospect mira, 1, RF-23600 Kaliningrad. Tel. +8(4012) 216578; e-mail: abio@atlas.baltnet.ru

Įvairias jūrose ir vandenynuose esančias ribas bei jų zonas tyrė daugelis specialistų. Be nuo seno žinomų ribų tarp vandens ir sausumos, vandens ir atmosferos, buvo nustatytos įvairios ribos pačioje vandens ir vandenynų masėje. Jos dažniausiai susijusios su staigia fizinių ir cheminių van-

dens savybių, kurių geografinė padėtis vandenyne išlieka beveik nepakitusi, kaita. Jos buvo pavadintos *poliarinio fronto*, *subarktinio fronto*, *subtropinės konvergencijos* ir pan. pavadinimais. Skiriami trys tokių ribų tipai: * hidrologinis frontas, skiriantis šiltus ir šaltus vandenį; * ekvatoriaus

frontas, skiriantis vandenį, turinčius skirtingą Koriolio parametro ženklą; * druskingumo šuolio (haloklinos) ir tankio šuolio (piknoklinos) sluoksniai, skiriantys skirtingo druskingumo ir tankio vandenį. Šuolio sluoksnis – tai riba (barjeras), skirianti beveik vienodos temperatūros nuo 10 iki 100 m storio viršutinio vandens sluoksnį nuo giluminių vandenių.

Išaiškinti vandenynuose vykstantys fiziniai cheminiai ir biologiniai reiškiniai susiję su ribinėmis sąlygomis sąveikaujančiomis skirtingomis aplinkomis ir medžiagos fazėmis. Svarbiausios jų, leidžiančios sukurti Pasaulinio vandenyno struktūrą ir jo kaitos dėsningumą, yra aplinkas skiriančios veikliosios makroskopinės ir mikroskopinės vandenynų ribos. Nežiūrint į ribas sudarančių aplinkų skirtingą mastą, joms būdingas vienas dėsningumas – aktyvūs sąveikos procesai sutelkti ploname tarp sluoksnyje, kur vyksta intensyvi medžiagos ir energijos kaita, paspartinanti biologinės apykaitos procesus bei labai suintensyvinanti mikroorganizmų veiklą. Į veikliąsias vandenynų ribas galima žiūrėti kaip į hierarchinę sistemą, kur kiekviename lygyje kartojami tie patys procesai, pradedant atominiais, tačiau kiekvienam kitam sistemos lygiui būdingi ir saviti aplinkų sąveikos procesai. Tai susiję su skirtingais medžiagos pernašos ir jos transformacijos mechanizmais skirtinguose hierarchiniuose lygiuose: * mikroskopiniame – elektronų ir jonų kaita, molekulinė difuzija,

koaguliacija, adsorbicija ir kt.; * makroskopiniame – turbulentinė difuzija, vandens masės ir nešmenų pernaša, biogeocenozių metabolizmas ir kt.

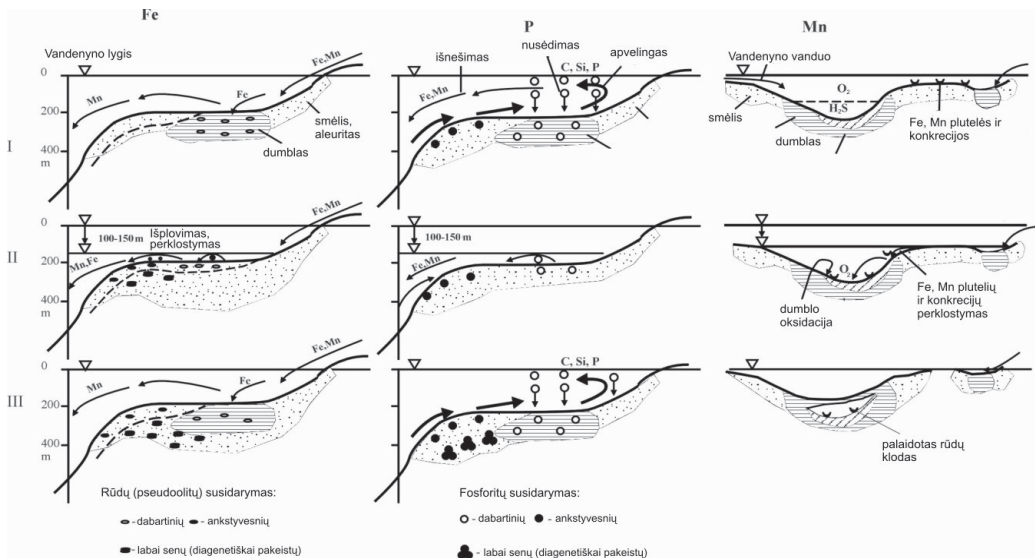
Geocheminių barjerų samprata

Veikliosios vandenynų ribos

- Makroskopinės: atmosfera-vanduo, vanduo-dugnas, vanduo-ledas, minėti hidrofrontai ir kt.
- Mikroskopinės: vanduo-nešmenys, vanduo-nuosėdų dalelės, vanduo-mikroorganizmai ir kt.

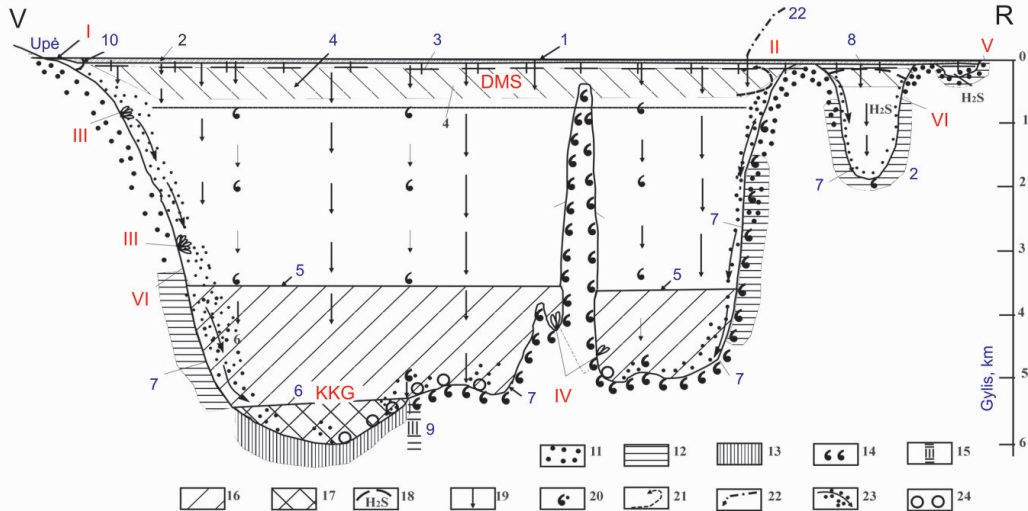
Veikliosios jūrų ir vandenynų ribos suformuoja ypatingas sąlygas įvairiems reiškiniams susidaryti. Tarp jų reikėtų išskirti *geocheminius barjerus*, kur nedideliu atstumu vienu cheminių elementų migracijos proceso intensyvumas sumažėja, – jie kaupiasi dugno nuosėdose ir dėl to padidėja jų koncentracija, kitų atvirkščiai – migracijos intensyvumas padidėja, o jų koncentracija sumažėja, – jie iš barjero zonos yra išnešami. 1 paveiksle pavaizduotos trys geležies, fosforo ir mangano naudingųjų iškasenų rūšių susidarymo stadijos (transgresijos, regresijos, transgresijos ir/ar palaidotos rūdos susidarymo), kurių metu susidaro pseudooolitinės geležies (Fe) ir karbonatinės mangano (Mn) rūdos bei fosforitai, naudojami trąšų gamybai.

Barjero riba laikomas atstumas nuo jo centrinės dalies iki vietos, kur medžiagos koncentraci-



1 pav. Geležies pseudooolitų ir fosforitų vandenyno šelfe (Vakarų Afrika) ir karbonatinės mangano rūdos (ties naftos platforma Baltijos jūroje) trys susidarymo stadijos (Emelyanov, 1998, 2005): I – transgresinė, II – regresinė, III – transgresinė (palaidotas rūdos klodas).

Fig. 1. Three stages of formation of pseudooolithic iron ores (Fe) and phosphorites (P) on the ocean shelf carbonate manganese ores (Mn). (Emelyanov, 1998, 2005): I – transgressive, II – regressive, III – transgressive (or a stage of the burial of the ore layer).



2 pav. Svarbiausios barjerinės zonos vandenyne, nuosėdų ir cheminių elementų persiskirstymas ir kaupimasis dugne (Emelyanov, 1982, 1998). Horizontalios barjerinės zonos: I – hidrofrontas arba barjero tarp upės ir jūros zona; II – priekrantės apvelingo zona; III – požeminio vandens povandeniniai šaltiniai; IV – barjerinė zona tarp hidrotermos ir jūros vandens; V – kranto ir jūros barjero zona; VI – riba, ties kuria klastinę medžiagą keičia molingas nuosėdos. Vertikalios barjerinės zonos: 1 – vandenynas – atmosfera (arba viršutinis mikrosluoksnis); 2 – fotosintezės sluoksnis; 3 – šuolio sluoksnis; 4 – deguonies minimumo sluoksnis (DMS); 5 – lizoklina; 6 – karbonatų kompensavimo gylio (KKG); 7 – barjerinė zona tarp vandens ir dugno; 8 – redukcijos ir oksidacijos barjeras vandens sluoksnyje (O_2 - H_2S); 9 – redukcijos ir oksidacijos (Eh) barjeras dumbliuose (čia redukuotas nuosėdas keičia oksiduotos nuosėdos); 10 – druskingumo barjeras (zona tarp upės ir jūros vandens). Specialieji legendos simboliai (11-23): 11 – klastinės nuosėdos (smėlis, aleuritas); 12 – terigeninis dumblas; 13 – pelaginis raudonasis molis; 14 – biogeninės karbonatinės nuosėdos; 15 – susisluoksniavę oksiduoti (raudonasis molis) ir redukuoti (terigeninis) dumblai pelaginėje vandenyne srityje; 16 – sluoksnis tarp lizoklinos ir karbonatų kompensavimo gylio (KKG); 17 – sluoksnis žemiau KKG; 18 – deguonies išnykimo ir H_2S atsiradimo lygis vandens sluoksniuose; 19 – organinio detrito „lietus“; 20 – biogeninio karbonatinio detrito „lietus“; 21 – apvelingas; 22 – eolinės medžiagos prietaka; 23 – drumstas priedugnis (nefeloidų sluoksnis); 24 – Fe-Mn konkretijos.

Fig. 2. The most important barrier zones in the ocean and the processes of the redistribution and accumulation of sedimentary material and chemical elements on the bottom. According to E.M. Emelyanov (1982) with additions. *Horizontal barrier zones*: I – hydrofront or river-sea barrier zone; II – near-shore upwelling front; III – front of divergences; IV – ice-water zone (not shown in the figure); V – underwater springs of groundwaters; VI – hydrotherm-seawater barrier zone; VII – shore-sea barrier zone (1st, 2nd and 3rd mechanical zones); VIII – border where clastic sediments change into clay sediments (3rd mechanical zone). *Vertical barrier zones*: 1 – ocean-atmosphere (or upper microlayer); 2 – photic layer; 3 – discontinuity layer (halocline, pycnocline); 4 – oxygen minimum layer (OML); 5 – start of lysocline; 6 – Carbonate Compensation Depth (CCD) (for $CaCO_3$); 7 – water-bottom barrier zone; 8 – redox barrier in the water strata (O_2 - H_2S layer); 9 – redox (Eh) barrier in muds (layer where reduced sediments change into oxidized ones); 10 – salinity barrier (river-sea zone). *Legend shown by special symbols 11-23*: 11 – clastic sediments (sand, aleurites); 12 – terrigenous mud; 13 – pelagic red clay; 14 – biogenic calcareous sediments; 15 – interlayering of the oxidized (red clay) and reduced (terrigenous) muds in the pelagic area of the ocean; 16 – the layer between the lysocline and the CCD; 17 – the layer below the CCD; 18 – the layer of O_2 disappearance and H_2S appearance in the water strata; 19 – rain of organic detritus, (soft particles of organisms); 20 – rain of biogenic calcareous detritus; 21 – upwelling; 22 – flux of aeolian material; 23 – near-bottom turbidity layer (nepheloid layer); 24 – FMNs.

- ◆ Barjerų zonos jūrose ir vandenynuose – dar mažai ištirti reiškiniai. Tai suprantama, nes tyrimai jūrose bei vandenynuose ir sudėtingi, ir brangūs. Tad jie dar tik formuojasi į naują tyrimų kryptį, kurią galima būtų pavadinti litologine geochemine vandenyno limologija.
- ◆ Limologija (*limes* – riba) gali būti aiškinama kaip mokslas apie mus supančioje aplinkoje egzistuojančias įvairios kilmės ribas ir jose vykstančius procesus.
- ◆ Straipsnio pradžioje pateikto epigrafo autoriaus A. Baricco žodžiais tariant, „Ten, kur gamta sukuria savo ribas, gimsta ypatingi vaizdiniai“. Kaip ribų sukurti vaizdiniai atrodo jūrose ir vandenynuose, E. Emelyanovas yra aprašęs publikacijose (Emelyanov, 1982, 1998; Emelyanov ir kt., 1989; Emelyanov, 2005) ir kviečia paklausti sudėtingais medžiagos migracijos keliais pasaulinio vandenyno platybėse.

ja sumažėja 10-20 %, lyginant su centrine barjero dalimi. Dažnai nedideliu atstumu ar ploname sluoksnyje susidaro ne vienas, o keli barjerai. Tokie plotai vadinami *geocheminėmis barjerų zonomis*. Svarbiausių horizontalių ir vertikalų geocheminių barjerų zonų vieta vandenyno pjūvyje nurodyta 2 pav. Geocheminė barjero zona – tai natūrali riba (sluoksnis, juosta), nuo kurios į abi puses egzistuoja savitos hidrodinaminės, fizinės cheminės ir geocheminės bei mikrobiologinės sedimentacijos (nuosėdų klostymosi) sąlygos, lemiančios staigią cheminių elementų ir jų asociacijų migracijos formų, intensyvumo bei koncentracijos kaitą. Makro- ir mikroelementų koncentracijos vandenyje bei santykinė koncentracija (procentais) nešmenyse ir nuosėdose abipus barjero zonos dažniausiai kinta daugiau nei 2-10, kai kada – net 1000-10 000 kartų. Taigi svarbiausi kriterijai, kuriais vadovaujantis išskiriamos geocheminių barjerų zonos, yra staigi cheminių elementų absoliučios ir santykinės koncentracijos bei jų migracijos formų kaita. Geocheminės barjerų zonos – tai aplinkos sąlygų vientisumo staigi kaita horizontalia ir/ar vertikalia kryptimis.

Svarbiausiu kiekybiniu geocheminių barjerų zonų rodikliu yra medžiagos koncentracijos gradientas $G = (m_1 - m_2) / L$, čia m_1, m_2 – elemento koncentracija ar/ir fiziniai aplinkos rodikliai (pH, Eh ir kt.) prieš barjerą ir už barjero; L – barjero plotis, m. Skirtingai nuo sausumoje susidariusių geocheminių barjerų, kur medžiaga dažniausiai atnešama iš vienos pusės, jūrose ir vandenynuose medžiagos srautas barjero link neretai juda

Vartojami terminai

Medžiagos migracija – medžiagos Žemės plutoje pernešimas iš vienos vietos į kitą, veikiant įvairiems gamtiniams fiziniams ir cheminiams procesams bei jėgoms – vandeniui, vėjui, gravitacijai, difuzijai ir kt.

Haloklina, termoklina, pīknoklina – vandenyno vandens masės sluoksniai, kuriuose einant gilyn šuoliškai kinta druskingumas, temperatūra ir vandens tankis.

Lizoklina – vandens masės sluoksnis, skiriantis gerai išlikusių ir gerokai aptirpusių karbonatinių mikrofosilijų kompleksus, arba gylis, nuo kurio prasideda gana ryškus nuosėdų karbonatingumo sumažėjimas.

Apvelingas – kylančios giluminio vandens srovės, vandens masių pernešimas iš gilumos į vandenyno paviršų.

Abisalinė zona – giliausios vandenyno vietos, kur gylis siekia daugiau kaip 4000 m.

Pelaginis – jūrinis, priklausantis jūrai ar vandenynui (pavyzdžiui, pelaginės nuosėdos, pelaginiai organizmai).

iš abiejų pusių: iš vienos pusės nešami vieni elementai ar jų formos, iš kitos – kiti elementai ar jų formos. Todėl geocheminių barjerų zonos dažnai stebimos skirtingo ženklo anomalijos (t.y. gerokai padidėję ar sumažėję medžiagos kiekiai ar junginių formos).

Ilgas cheminių elementų migracijos kelias

Jeigu mintimis pasektume tolimame hidrologinio baseino kampelyje uolienos ar mineralo dalelių, „pasiruošusių“ migruoti tūkstančius kilometrų – nuo sausumos kalnuotų sričių iki jūrų ir vandenynų centrinių dalių, kelią, tai jų „likimas“ būtų labai skirtingas. Vienos jų, pasiekusios pelagines sritis, nusėda ir tampa vandens baseino dugno nuosėdų dalimi. Kitos, pasiekusios jūros ar vandenyno paviršių, „skęsdamos“ praeina daugybę barjerų – patenka į gyvųjų organizmų medžiagų apykaitos sistemą, iš dalies išstipsta, prarasdamos vienus ir įgydamos kitų atomų ar molekulių. Tačiau galutinis jų tikslas – pasiekti vandens baseino dugną ir nusėdus šalia kitų tokių pat dalelių formuoti dugno nuosėdų sluoksnį. Tai sudėtingas kelias. Mintyse mes jį galime įsivaizduoti, tačiau ar jį galima pavaizduoti akivaizdžiai? Kol kas nėra tokių schemų ir diagramų, kurios leistų vaizdais paaiškinti visus sudėtingus fizinius ir cheminius procesus, vykstančius jūrose ir vandenynuose. Tačiau tikėkimės, kad greitai bus sukurti modeliai – blokinės diagramos, kuriose įvairiais ženklais ir spalvomis bus parodyti visi jau žinomi barjerai ir barjerų zonos, ir tai, kas bus išaiškinta ateityje.

Vandenyno vandens masę galima įsivaizduoti kaip trimatį kūną. Tačiau kalbant apie barjerų modelius būtų patogu, kad vandens masė būtų lyg ir nematoma. Tuomet modelyje išryškėja juostų pavidalo barjerinės zonos, kurios vaizduojamos įvairiomis spalvomis, pavyzdžiui: * foto-sintezės zona ir visa aplinka, susijusi su gyvosios vandenyno masės generavimu, žymima žalia spalva ir jos atspalviais; * visos ribos, susijusios su druskingumo kaita ir fiziniams bei cheminiams barjerams, – mėlyna spalva; * procesai, susiję su vulkanizmu, – raudona spalva ir pan. Modelyje matoma vandenyno dalis – barjerinės zonos – vaizduojama tik trimatėje erdvėje, o linijos, juostos ir zonos sudarytų „nervingą“ apytakinę pulsuojančią sistemą, kuri vienoje vietoje išsilenkia, kitoje – išsiplečia ir kinta laike sustiprėdama ar susilpnėdama. Visa vandens masė tarp tokio pulsuojančio karkaso yra lyg ir pasyvus fonas. Tačiau ir jame, kaip ir barjerinėse zonos,

atsiranda dalelių, kurios, nesilaikydamos barjerinių zonų „principų“, keičiasi atomais ar molekulėmis ir įgauna fizinę cheminę pusiausvyrą. Stebėtina, kad tokių dalelių yra nesuskaičiuojama daugybė ir kad tie blykstelėjimai niekuomet nesibaigia, nes tai yra pasekmė tų reiškinių, kurie vyksta atmosferoje ir yra susiję su Saulės radiacija bei kitais kosminiais reiškiniais.

Barjerinių zonų naudingosios iškasenos

Minėto 3D hipotetinio modelio blokinėje schemoje augsine spalva galima išskirti šviečiančias mineralinių žaliavų – naudingųjų iškasenų sąkaupas, susidarantįs jūrų ir vandenynų dugne barjerų vietose (ar arti jų), ir juodai raudonas aptariamą pulsuojančios sistemos juostas – jūrų ir vandenynų „opų“ vietas, kurios susidaro dėl taršos – lengvabūdiškos, o gal ir nusikalstamos žmonijos veiklos aplinkos, konkrečiai, pasaulinio vandenyno atžvilgiu. Nėra abejonės, kad realizavę tokį dabar dar tik mintyse įmanomą modelį mokslininkai tuo neapsiribos. Išsiaiškinę dabartinių vandenynų barjerų ir jų zonų susidarymo dėsningumus, jie pradės rekonstruoti vandenynų sedimentacijos procesus bei aiškintis analogiškų zonų susidarymo galimybes prieš daugelį milijonų metų. Šis darbas iš dalies jau pradėtas, tačiau tokios apimties rekonstrukcijų, apie kurias kalbama šiame straipsnyje, galima tikėtis tik ateityje.

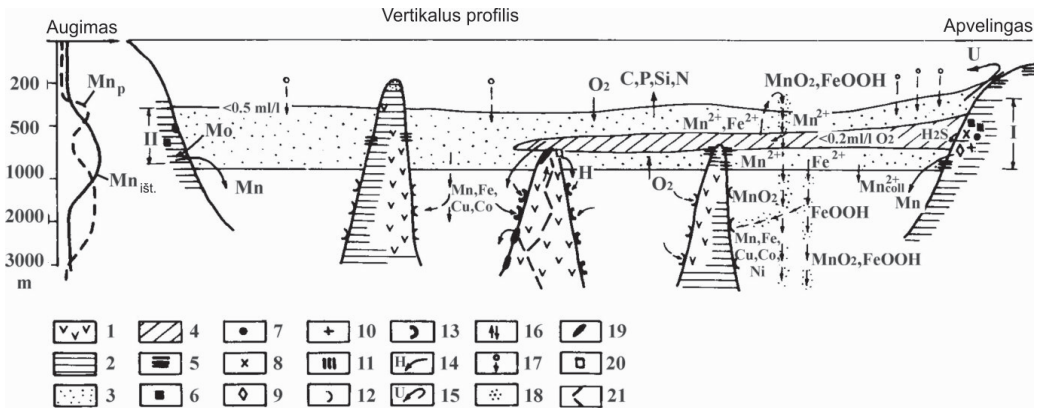
Tarp daugybės įvairiausių prigimties gamtinių ribų ir barjerų, susijusių su skirtingais materijos organizacijos lygiais – nuo mažiausios koloidinės dalelės iki laštelės ir iki stambių ekosistemų bei globalių Žemės sferų ribų, pakankamai argumentuotai pasisėkė nustatyti tik dalį tokių barjerų, pereinant per kuriuos staigiai kinta medžiagos sudėtis ir jos migracijos formos. Mokslininkų pastangos nustatyti bendruosius gamtinių barjerų susidarymo dėsningumus ir ypatumus, juos sistematizuoti ir parengti atitinkamas klasifikacijas, pagrįsti paribių efektų tyrimo metodikas ir metodologijas atvertų plačias galimybes, kurios leistų prognozuoti vandenynuose vykstančių procesų geochemines ir ekologines pasekmes, mineralinių ir biologinių resursų sąkaupas, taršos ir sivalos vietas, rekreacijai palankias teritorijas.

Knygoje „Barjerų zonos vandenynė“ („Barrier zones in the Ocean“, Emelyanov, 2005) pasėkė susietos su priežastimi: * sąnašynų susidarymas – su mechaniniais barjeriais; * angliavandenilių (naftos) ir geležies pseudoolitinių rūdų sąkaupos – su geocheminių barjerų <upė-jūra> zonomis; * fosforitų susidarymas – su

priekrantės apvelingo frontu; * geležies mangano konkretijos jūrų šelfo zonose – su haloklina ir piknoklina; * geležies mangano konkretijų susidarymas atviroje jūroje ar vandenynė – su hidrofrintu; * kobalto mangano plutelės susidarymas ant povandeninių kalnų šlaitų vandenynė – su deguonies minimumo sluoksniu; * karbonatinės oksidinės mangano nikelio rūdos susidarymas – su redukcijos barjeru, atsirandančiu tarp O_2 - H_2S zonų vandenynė (3 pav.); * geležies mangano rūdos susidarymas – su nuosėdų sluoksnyje esančiu oksidinės-redukcinės ar tik redukcinės (Eh) geocheminės aplinkos barjeru; * geležies mangano konkretijų susidarymas atviroje jūroje – su gilumine karbonatine kompensacija. Be to, knygoje aptarti barjerai, kuriuose susidaro sideritas ($FeCO_3$), taip pat sluoksniuota barjerų sistema, susijusi su hidroterminiais šaltiniais, kurių aplinkoje susidaro sulfidinės vario, cinko ir kitų metalų rūdos, dažnai turtingos tauriųjų metalų.

Rūdinių žaliavų susidarymo sąlygos ir jų paieškos kriterijai

- ◆ Pseudoolito (šamozito-hidrogiotito) geležies rūda susidaro drėgminėje klimatinėje srityje, pirmiausia – ekvatoriaus zonoje: šelfo ribose, vandenynė arti upių žiočių, šelfo nuogulų facijose, hidrodinaminėse gaudyklėse atviraime vandenynė ar įlankose (pirminės šamozito nuosėdos), taip pat pirminių geležingų hidrogiotito nuosėdų perplavimo zonoje.
- ◆ Geležies mangano konkretijos susidaro sausrinėje klimatinėje srityje: gyliuose, kurie konkretijų susidarymo metu yra artimi kritiniam $CaCO_3$ gyliui (dažniausiai – 4,7-5,5 km); vandenynų vietose, gerokai nutolusiose nuo kontinentų, kur stiprios priedugnio srovės, o susidarant konkretijoms nuosėdų kaupimasis vyksta labai silpnai; vietose, kur ilgą laiką nesiklostė nuosėdos.
- ◆ Pirminė karbonatinė mangano rūda dažniausiai susidaro sekliose pusiau uždaroje įdaubose, kuriose periodiškai susidarydavo redukcinė aplinka ir sieros vandenilio dujos.
- ◆ Oksidinei karbonatinei mangano rūdai susidaryti palankiausias sąlygos ten, kur susisiekia dvi hidrogeocheminės aplinkos – oksidacinė, vykstant Fe ir Mn intensyviai prietakai į baseiną, ir periodiškai susidaranti redukcinė aplinka. Be to, ši rūda gali susidaryti, kai sedimentacijos proceso metu transgresiją keičia regresija arba kai klimatas yra artimas normaliam drėgminiam klimatui.
- ◆ Fosforitų dažniausiai randama trijose situacijose: pirminių fosforitų – vidurinėje šelfo dalyje, apvelingo zonoje; antrinių perklostytų fosforitų – ties šelfo briauna; ant povandeninių kalnų viršūnių.



3 pav. Geocheminiai procesai vandenyno deguonies minimumo sluoksnyje (DMS) (Emelyanov, 1982, 1998): 1 – bazaltai; 2 – nuosėdos; 3 – DMS (O_2 koncentracija 0,5–0,2 ml/l, kartais 1,0–0,5 ml/l); 4 – DMS vidurys ($O_2 < 0,2$ ml/l, kartais anaerobinės sąlygos); 5 – fosforitų susidarymas ir nuosėdų praturtinimas fosfatais diagenetinės metu; 6 – geležies sulfidai; 7 – glaukonitas; 8 – vivianitas; 9 – baritas; 10 – magnio karbonatai (?); 11 – perklostyti fosforitai; 12 – Fe-Mn plutelės kalnų šlaituose; 13 – tas pat, veikiant hidrotermoms (H); 14 – hidrotermos; 15 – apvelingas (U); 16 – elementų kaitos kryptis; 17 – šviežios biogeninės medžiagos srautas (gumuliukai, foraminiferos, pteropodai, kokolitai, diatominiai dumbliai, silikoflageliatai ir kt.) iš fotosintezės ir haloklinos zonos; 18 – Fe ir Mn oksidų susidarymas; 19 – geležingos hidroterminės nuosėdos; 20 – galimas sulfidų susidarymas hidroterminėse nuosėdose; 21 – plyšiai. VP – vertikalus profilis, atspindintis dispersinio (Mn_p) ir ištirpusio mangano (Mn_{ist}) pasiskirstymą jūrų vandenyje: I – redukuoto dumblo facija viršutinėje kontinentinio šlaito dalyje apvelingo zonoje (profilio dešinėje), II – tas pat, už apvelingo zonos ribų (profilio kairėje); coll – koloidai; GBZ – geocheminio barjero zona; DMS – deguonies minimumo sluoksnis.

3 paveiksle pavaizduoti procesai, vykstantys vandenyno deguonies minimumo sluoksnyje (DMS) ir formuojantys savitą geocheminių barjerų zoną. Vertikaliame vandenyno pjūvyje matyti dispersinio (Mn_p) ir ištirpusio (Mn_{ist}) mangano pasiskirstymo tendencija didėjant gyliui, taip pat redukuoto dumblo facijoms būdingi cheminiai elementai bei junginiai, kurie kaupiasi viršutinėje kontinentinio šlaito dalyje – apvelingo zonoje (žr. dešinėje pjūvio pusėje) ir už apvelingo zonos ribų (žr. kairėje pjūvio pusėje).

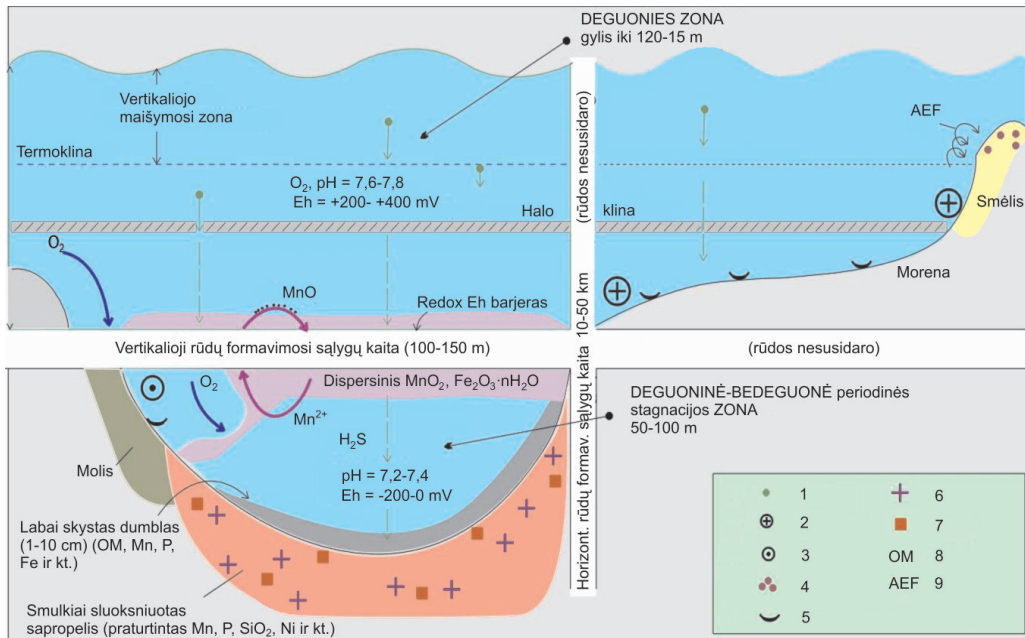
Mineralinių žaliavų sankaupų prognozavimo galimybės

Aiškinantis dabartinių žinių lygyje mineralinių žaliavų susidarymo jūrose ir vandenynuose aplinkybes, galima kalbėti tik apie jų kaupimosi geocheminių barjerų aplinkoje prognozavimą, neličiant naudingųjų iškasenų telkinių susidarymo

Fig. 3. Processes in GBZ OML in ocean: 1 – basalts; 2 – sediments; 3 – OML with concentrations of $O_2 = 0.5-0.2$ ml/l (sometimes 1.0-0.5 ml/l); 4 – central part of OML with < 0.2 ml/l of O_2 (or sometimes under anaerobic conditions); 5 – formation of phosphorites and enrichment of sediments by phosphates during diagenetic processes; 6 – iron sulfides; 7 – glauconite; 8 – vivianite; 9 – barite; 10 – magnesium carbonates (?); 11 – phosphorites redeposited; 12 – ferromanganese crusts on mountain slopes; 13 – same, but under influence of hydrotherms (H); 14 – hydrotherms (H); 15 – upwelling (U); 16 – direction of elemental exchange; 17 – flux of fresh biogenic material (pellets, foraminifera, pteropods, coccoliths, diatoms, silicoflagellates and others) from photic layer and from halocline; 18 – Fe- and Mn oxide formation; 19 – ferruginous hydrothermal deposits; 20 – possible formation of sulfides in hydrothermal deposits; 21 – fractures. VP – vertical profile, which shows a tendency to particulate (Mn_p) and dissolved (Mn_{dis}) manganese distribution in sea water: I – facies of reduced mud in upper part of continental slope in upwelling zone; II – same, but outside upwelling zone. Coll – colloidal. GBZ – geochemical barrier zone; OML – oxygen minimum layer.

klausimų. Prognozuojant akvatorijose rūdinius laukus ir sluoksnius, pirmiausia būtina atlikti jų kaupimosi laikotarpio sąlygų paleorekonstrukciją. Prie tokių rekonstruojamų sąlygų priskiriama: paleohidrodinaminė ir paleohidrocheminė aplinka; geomorfologiniai ir tektoniniai dugno ypatumai; prognozuojamojo rūdingo lauko padėtis kranto, šelfo, žemyninio šlaito, vandenyno vidurio okeaninio kalnagūbrio ar vulkano konuso atžvilgiu. Būtina atsižvelgti ir į paleoklimatines sąlygas.

Jau buvo minėta, kad vandenynėse stebimas ne tik horizontalusis platuminis, bet ir vertikalusis giluminis nešmenų (pakibusių dalelių) ir cheminių elementų pasiskirstymas vandens masėje bei autogeninių mineralų ir rūdų dugno nuosėdose. Fosforitai, pseudoolitinės geležies rūdos, kriauklėklintys, statybinis smėlis, sąnašynai – tipiški šelfo dariniai, klintis ir mergelis – vidutinio ir didelio gylio, kokolitas (kreididos) ir molingas mergelis – didelio gylio, pelaginis (raudonas)



4 pav. Oksidinės karbonatinės mangano (Mn) rūdos formavimosi modelis (Emelyanov, 2005): 1 – organinis detritas; 2 – srovė; 3 – epizodinės jūrų srovės su deguonies intruzijomis; 4 – diagenetinės Fe-Mn kongrecijos; 5 – oksidinės Mn-Fe plutelės; 6 – rodochozitas (MnCO₃); 7 – geležies sulfidas (FeS); 8 – organinė medžiaga (OM); 9 – aktyvios hidrodinaminės zonos, kuriose formuojasi aukštos energijos facijos.

molis – labai didelio (abisalinio) gylio dariniai.

Dabartiniuose vandenynuose galima išskirti tris geležies mangano rūdų kaupimosi batimetrinių lygius ir su jais susijusias rūdų kaupimosi vietas: * šelfe, kur kaupiasi hidrogiotitas, šamozitas ir karbonatinis manganas; * vidutinio gylio, kur susidaro kobalto mangano plutelė; * pelaginj, kur formuojasi geležies mangano kongrecijos. Dažniausiai dabartinėse nuosėdose randamos hidroterminės-nuosėdinės kilmės rūdos užima tarpinę padėtį, – jos susidaro tarp vidutinio ir pelaginio gylių.

Kalbant apie rūdų susidarymą jūrose ir vandenynuose, būtina pažymėti vertikalųjų barjerų batimetrinių lygių ir geocheminių barjerinių zonų svarbą. Tai itin svarbu tiriant rūdų susidarymą I šelfo lygyje (4 pav.). Transgresijos metu šelfo zonoje kaupiasi nuosėdos, kurios yra tik šiek tiek „praturtintos“ rūdiniais komponentais (Emelyanov et al., 1989). Regresijos metu vyksta nuosėdų, susidariusių transgresijos metu, „apdorojimas“ – iš jų išnešamos smulkios nerūdinių medžiagų dalelės ir dėl to nuosėdose padidėja rūdinių komponentų koncentracija. Įtakos rūdingumo

Fig. 4. Model of the formation of the oxic – carbonate Mn ores (Emelyanov, 2005): 1 – organic detritus, 2 – current, 3 – episodic current (intrusion of O₂), 4 – diagenetic Fe-Mn nodules, 5 – oxic Mn-Fe ores (crust), 6 – MnCO₃ (rhodochosite), 6 – FeS, 7 – OM (organic matter), 8 – HEF (high energy facies).

formavimuisi turi ir vertikalūs deguonies minimumo sluoksnio, lizoklinos ir kitų barjerų svyravimai. Apibendrinus sukauptas žinias apie įvairių barjerų reikšmę rūdinių žaliavų susidarymui, galima daryti kai kurias išvadas.

Mineralinių žaliavų paieškos vandenynuose turi būti kryptinga, pagrįsta jų formavimosi ir slūgsojimo sąlygomis. Tačiau bet kokiui atveju galioja du bendri reikalavimai: pirma, būtina atlikti facinę analizę, antra, būtinas paieškų regiono litologinis geocheminis rajonavimas tų nuosėdų, kurių sluoksniuose tikimasi aptikti mineralinių žaliavų sankaupų.

Baigiamosios pastabos

Litologinių barjerų, ties kuriais jūrose ir vandenynuose vyksta ženklūs rūdinių medžiagų migracijos pokyčiai, tyrimai – vienas svarbių geologijos mokslo uždavinių. Sukauptos žinios ir rūdinių formavimosi modelio suvokimas leidžia geologams taikyti paieškinių kriterijų kompleksą, kad mineralinių žaliavų jūrose ir vandenynuose prognozavimas neapsiribotų tik naudingųjų

iškasenų sancaupų vietų nustatymu, bet ir padėtų išaiškinti optimalias rūdų formavimosi geologinės aplinkos sąlygas. Nauja mineralinių žaliavų sancaupų geocheminių barjerų zonoje prognozavimo tikslinės paskirties samprata reikalauja ir naujos pagrįstos prognozavimo metodologijos, kurios esminis principas – prognozavimas turi remtis ne vien tiesioginiais rūdinių medžiagų požymiais, bet ir kriterijais, liudijančiais apie optimalias mineralinės žaliavos susidarymo galimybes.

Literatūra

- Страхов, Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. – М., 1976. – 299 с.
 Перельман, А.И. Геохимия. – М., 1989. – 527 с.
 Емельянов, Е.М. Седиментогенез в бассейне Атлантического океана/ Под ред. А.П.Лисицына. – М., 1982. – 190 с.
 Емельянов, Е.М. Барьерные зоны в океане // Осадко- и рудообразование, геоэкология. – Калининград, 1998. – 416 с.
 Emelyanov, E.M. Barrier zones in the ocean. – Berlin, Heidelberg – New York: Springer, 2005. – 636 p.
 Емельянов, Е.М., Тримонис, Э.С., Харин, Г.С. Палеоокеанология Атлантического океана. – Л., 1989. – 247 с.

Summary

Significance of Boundaries and Geochemical Barriers for Marine Geology

Considering the processes of sedimentogenesis and ore-formation the scientists paid attention to various boundary zones in the ocean where the processes of matter supply, transformation and redeposition occur more actively. These boundary zones affect greatly the quantities and composition of the material suspended in water (suspended matter) as well as the bottom sediments.

The idea of geochemical barriers (GB) and boundary zones applied to the oceans as seen by the author is that these zones represent areas (or layers) of water or sedimentary strata in the seas and oceans where within a limited distance a sharp drop in migration intensity of certain chemical elements takes place (and consequently a drop in their concentration) and an increase of others.

The proposed research deals with creating and developing of a new scientific branch – lithologic-geochemical limology of the ocean. Limology, as implied by the word «limes» meaning «boundary», is defined as a science studying the system of boundaries and divisions of various nature in the environment (Emelyanov, 2005).

The reader, together with the author, has traced the migration of a particle and covered thousands of miles – from mountains at the bor-

Litologinių geocheminių barjerų, sudarančių vieną iš mus supančios aplinkos natūralių (gamtinių) ribų klasę, tyrimai yra seniai egzistuojančio limologijos mokslo dalis. Vienas svarbiausių vandenyno limologijos uždavinių – jų „barjerinės infrastruktūros“ sąsajų su mineralinių žaliavų geneze išaiškinimas. Norint sėkmingai išspręsti šį uždavinį, būtina vadovautis sisteminiais metodologiniais principais taikant fizikinio ir matematinio modeliavimo metodus.

ders of the catchment basin to the pelagic areas of the ocean where the particle settled on the seafloor and became a part of the bottom sediment. Other particles began their journey to the oceanic depths from the surface of the ocean. In its descent, the particle encountered many obstacles and barriers along the way. At these barriers, the particle was transformed: it passed through the stomach of a living organism and was partially dissolved, losing certain atoms and molecules while acquiring others. It, however, invariably moved toward its destination – the seafloor, where it joined other particles and became a part of what we call bottom sediment or sedimentary rock. This is an extremely complicated route. We understand it in our minds, but could it be represented visually? In the future a block diagram could be created that would visually represent the processes occurring in the ocean.

The diagram would also indicate deposits of mineral resources formed on the seafloor by barriers and barrier zones (or near them). Black-and-red stripes would indicate areas where the nervous and circulatory systems are destroyed by detrimental human activity.

Having studied the ocean model, scientists can proceed further. When the features and criteria (indicators) of barriers and barrier zones in the ocean have been defined, scientists will be able to restore the oceans of the past (the framework of barrier zones). This work has already been started, but combined research can be carried out in the future.