

YER FIZIKASI

TOSHKENT

A-17

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

YER FIZIKASI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2014

TerDU ARM

№ _____

UO‘K: 550.35 (075)

KBK 26.21

A-17

**A-17 Yer fizikasi. (Darslik). –T.: «Fan va texnologiya»,
2014, 176 bet.**

ISBN 978–9943–4500–5–9

Mualliflar:

**A.A.Abidov, D.X.Atabayev, D.D.Xusanbayev, X.A.Abidov,
S.A.Rahmatova.**

UO‘K: 550.35 (075)

KBK 26.21

Taqrizchilar:

**X.D.Ishbayev – O‘zMU geologiya fakulteti dekani, professor;
Sh.X.Abdullayev – DK «GIDROINGEO» instituti gidrogeofizika
laboratoriyasi mudiri**

ISBN 978–9943–4500–5–9

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2014.

I BOB. OLAM, GALAKTIKA, QUYOSH SISTEMASI, SAYYORALAR

Olamning paydo bo'lishi va evolyutsiyasi haqidagi asosiy farazlar.

Quyosh sistemasi va Yer sayyorasi va Oyning vujudga kelish jarayonlari.

Yerning ichki va tashqi geosferalari haqidagi tushunchalar.

1.1. Olamning paydo bo'lishi va evolyutsiyasi haqidagi asosiy farazlar

So'nggi 20 yil ichida Olam haqidagi bizning tasavvurlarimiz ancha o'zgardi. Fizika, kimyo va geologiya fanlarining rivojlanishi, hozirgi kunda Olamning paydo bo'lishi haqida bir necha xil farazlarni ilm doirasiga olib kirdi. Har qanday faraz Olamning paydo bo'lishi, Quyosh sistemasi va sayyoralarning vujudga kelishi haqidagi tasavvurlarimizni boyitishga xizmat qiladi. Ammo shu bilan birga, bunday farazlarning kuchli taraflaridan tashqari ularning ilmiy tarafdin isbotlanmagan kamchiliklari ham mavjud.

Olamning paydo bo'lishi haqidagi keng tarqalgan va ko'pchilik tan olgan farazlardan biri – «Katta portlash» haqidagi tasavvurlarni ko'rib chiqamiz.

Katta portlashning o'zi nima?

Astrofiziklarning taxminiga ko'ra, katta portlashdan keyingi uch minut ichida harorat shu darajada yuqori bo'lganki, modda faqat elektron, proton va neytronlardan iborat bo'lgan. Moddaning harorati va zichligi tez sur'atlar bilan kamayib borgan, natijada faqat yengil elementlar – vodorod (75%) va undan geliy (25%) sintez bo'lgan. Katta portlashdan so'ng taxminan 20 minutlar o'tib, yulduzlarda qolgan elementlar sintez bo'la boshlagan va hozirgi Olamning tarkibi hosil bo'lgan. Olamning birlamchi moddasi sochilishi tufayli koinot kengayib borgan, ko'plab to'plamlar hosil bo'lgan va ular oxir-oqibat galaktikalarni tashkil etgan.

Shunday faraz ham mavjudki, unga ko'ra katta portlash «qora tuynuk» («чёрная дыра») kurtagidan ro'y bergan va natijada yangi Olam tug'ilgan hamda u o'zining mustaqil rivojlanishini boshlagan. Bizning Olam uchun $3 \cdot 10^{39}$ s vaqt o'tgach, barcha galaktikalar «qora tuynukka» mujassamlanib, barcha proton va neytronlarning fotonlarga, neytrino va elektron-pozitron paralarga parchalanishi ro'y beradi. «Qora tuynukning» gravitatsiya maydonida yangi kvant nurlanishi shaklidagi zarrachalar tug'iladi va qora tuynuklarning massalari bug'lanadi. Milliard yillar o'tib, Olamning «kollapsi» (ya'ni zichlashish, mujassamlanish ma'nosida) boshlanadi, uning o'lchamlari kichrayib, qiziy boshlaydi va u «qora tuynukka»aylanadi. So'ng yana hammasi boshqatdan boshlanadi (Darvin bo'yicha).

Boshqa farazga ko'ra (A.M.Cherepashuk, A.D.Chernin, 2003), Olamning kengayishi, uning kichrayishi bilan almashmaydi, balki tortishish kuchi unga qarshi bo'lgan kuchga tenglashib, Olamning fazoviy - vaqt karkasi (strukturasi) qotib o'zgaras bo'lib qoladi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilgan farazlardan murakkabroq bo'lgan g'oya Fridman va keyinchalik akad. M.A.Markov tomonidan ilgari suriladi. Ushbu farazga ko'ra, butun ulkan Olam yopiq sistemada bo'lib (ya'ni, Eynshteyn nazariyasi bo'yicha bu yopiq sistemadagi barcha jismlarning o'zaro tortishish energiyasi ularning umumiy massalariga teng: $E=ms^2$) va bu sistemaning o'lchamlari tashqi kuzatuvchi nuqtai nazaridan mikroskopik bo'lishi mumkin. Shunday qilib, har qanday obyektни yoki «fridman-mikrodunyosi» yoki «makrosistema» sifatida talqin qilish mumkin deb xulosa yasalgan.

Ma'lumki, agar barcha fizik maydonlar va zarrachalar olib tashlansa vakuum hosil bo'ladi. Ammo bunda bo'shliqning kvant «qaynashi» – «vakuum ko'pigi» saqlanib qoladi. Olam shu «vakuum ko'pigidan» har xil fizik xossalarga ega bo'lgan «soxta vakuumni», har xil zichlikdagi materiya va antimateriyani, o'z-o'zini hosil qiladi. Vakuum mikrodunyoning zarrachalari bilan «qaynab» yotibdi. Bu zarrachalarning o'zaro ta'siri energiyasi juda kichik bo'lsa-da, lekin noldan farqli. Qayerda energiya bo'lsa, shu yerda albatta, tortishish va itarishish kuchlari mavjud bo'ladi, ya'ni vakuumda ham gravitatsiya kuchlari mavjuddir. Agar gravitatsiya butun Olam materiyasining harakatini boshqaruvchi kuch bo'lsa, neytrino bu Olamning eng asosiy zarrachasidir. U elektrondan 20 ming barobar, protondan esa 40 million barobar yengil.

Astrofiziklar (I.D.Novikov, 1985,1988) kuzatishlari neytrinoning galaktikalardagi massasidan uning galaktikalar to'plamlaridagi yashirin massasi 20 marta ortiqligini ko'rsatdi. Vakuumnin g zichligi $5 \cdot 10^{-30} \text{g/sm}^3$, nurlanayotgan moddaning o'rtacha zichligi $2 \cdot 10^{-31} \text{g/sm}^3$, qora materiyaning o'rtacha zichligi (neytrino bo'lishi mumkin) $2 \cdot 10^{-30} \text{g/sm}^3$, ya'ni Olam energiyasining 67% vakuumga, 30% neytrinoga, moddalarga (barionlar) 3% va nurlanishga 0,03% tegishli.

Olam tug'ilishining birinchi soniyalari qanday bo'lgan? Katta portlashning birinchi soniyalarida 10^{13}K haroratda bir vaqtning o'zida juda ko'p miqdorda zarra – «antizarra bug'lari» vujudga kelgan. Ularning ichida elektron va pozitron, proton va antiproton, neytron va antineytronlar bo'lgan. Bu yuqori haroratli plazmada bug' zarrachalardan tashqari bug'i bo'lmagan zarrachalar ham mavjud bo'lgan. Taxminan har bir milliard bug' zarrachalarga bitta bug'i yo'q zarracha to'g'ri kelgan. Haroratning pasayishi natijasida bug' zarrachalar o'zaro yo'qolib, relik fotonlarga aylangan. Ortiqcha bug'i yo'q zarrachalardan esa bizni o'rab turgan dunyo, yulduzlar, sayyoralar va yulduzlararo gazlar hosil bo'lgan. Buning sababi zarra va antizarra reaksiyalarining tezligi har xilligida bo'lgan. Haroratning pasayishi va moddalarning sochilishi annigilyatsiya jarayonini sekinlashtiradi va zarralar quyuqligi o'zgaras bo'lib qoladi, oddiy materiyaning zichligi kamayadi va katta portlashdan keyingi 10^{-34} sekundda uning zichligi «soxta vakuum» zichligiga tenglashib, uning gravitatsiyasi bir-biridan itarilish kuchini hosil qiladi. 10^{-34} s dan 10^{-32} s vaqtda Olam o'Ichamlari 10^{50} marta kattalashdi. Lekin bu kengayib borayotgan Olamning holati omonatdir. Oddiy materiyaning zichligi «soxta vakuum» zichligidan nihoyatda yo'q darajada kamayib ketadi. Shu vaqtda zichligi katta «soxta vakuum» holatidan oddiy qaynoq materiyaga o'tish boshlanadi. Bunda katta energiya va zarra – antizarralar hosil bo'ladi, Olam ya'na qiziy boshlaydi. Bu hodisa xuddi muzdek suyuqlikda har xil tarafga tarqalgan birinchi muz kristallari paydo bo'layotgan sharoitga o'xshaydi.

Katta portlashning boshlang'ich nuqtasi

Olam avvalo, o'Ichami 10^{-33} sm, zichligi 10^{93}g/sm^3 va harorati 10^{11}K dan yuqori bo'lgan kvazinuqtada mujassamlashgan. Bu zarracha superadron nomini olgan. Bundan taxminan 15 mlrd. yil

oldin bu zarracha portlagan va Olam kengayishni boshlagan. Olam kengayishi evolyutsiyasini astrofiziklar to'rt eraga bo'ladilar:

- Adron erasi – portlash hosil bo'lgan lahzadan boshlangan. Uning davom etish vaqti 10^{-44} s dan 10^{-4} s gacha davom etgan. Bu vaqtda Olamning o'lchamlari 10^{-33} sm dan 10^9 km gacha kengaygan, muhitning zichligi 10^{93} g/sm³ dan 10^{15} g/sm³ gacha kamaygan, harorat 10^{33} K dan 10^{12} K pasaygan. Adron erasida barionlar, mezonlar mavjud bo'lgan.

- Lepton erasi – 10^{-4} s dan boshlab 10s bo'lgan vaqtni o'z ichiga oladi. Bu erada Olamning kengayishi davom etib, uning o'lchamlari 10^9 km dan $3 \cdot 10^{12}$ km gacha kattalashgan, zichlik 10^{15} g/sm³ dan $1,5 \cdot 10^5$ g/sm³ gacha, harorat esa 10^{12} K dan 10^{10} K gacha kamaygan. Bu erada myuonlar, elektronlar, pozitronlar, neytrino, antineytrino, fotonlar hosil bo'lgan.

- Nurlanish erasi – portlashdan keyingi 10-sekunddan boshlab 10^6 yilgacha davom etgan. Bunda Olamning o'lchamlari yanada kengayib $6 \cdot 10^{20}$ km gacha etgan, zichlik $1,5 \cdot 10^5$ g/sm³ dan 10^{-20} g/sm³ gacha, harorat esa 10^{10} K dan $3 \cdot 10^3$ K gacha kamaygan. Bu eraning tarkibini elektronlar, protonlar, geliy yadrolari, fotonlar tashkil etgan.

- Moddalar erasi – 10^6 yildan $2 \cdot 10^{10}$ yil va hozirgacha davom etib kelmoqda.

Olamning o'lchamlari $2 \cdot 10^{23}$ km gacha kengaygan, zichlik 10^{-20} g/sm³ dan $3 \cdot 10^{-29}$ g/sm³, harorat esa $3 \cdot 10^3$ K gacha kamaygan. Bu erada atomlar, kvazarlar, «qora tuynuklar», galaktikalar, yulduzlar, sayyoralar va boshqalar hosil bo'lgan.

Galaktikalarning vujudga kelishi

Galaktikalar Olam kengayishi boshlangandan so'ng 3 mlrd. yil o'tib neytrin gazlar bulutlari to'plangan joylarda tashkil topa boshlagan. Bu to'plamlarda 10^{40} t modda yig'ilganda moddalarning ikkita qarama-qarshi tomonga siqilishi boshlangan. Astronomlar galaktikalarning ellipsimon, spiralsimon, linzasimon, noto'g'ri shakldagi turlarini ajratishadi. Olamda hozirgi kunda 10^{14} Galaktika mavjud. Bizning galaktika Somon yo'li spiralsimon ko'rinishga ega. Uning tarkibida 200 milliard yulduz mavjud. Ularning umumiy massasi $3 \cdot 10^{38}$ t.

Fazodagi meteoritlarni kimyoviy tahlilining natijalariga asosan uran, toriy izotoplari va ularning parchalanishidan hosil bo'lgan mahsulotlar u yerda keng tarqalgan. Bu hol Galaktikamiz Quyosh sistemasidan kamida 5 milliard yil avval paydo bo'lganligidan dalolat beradi. Galaktika gazsimon turbulent bulutning gravitatsion kollapsi natijasida paydo bo'lgan, degan g'oyaga asoslangan faraz ham mavjud.

Astronomlarning fikricha Quyoshga o'xshash yulduzlar Galaktikada hozirgi vaqtda ham paydo bo'layapti. Ular yulduzlararo gazsimon changliklarning zichligi ortib gravitatsion turg'un bo'lmagan holga yetganda hosil bo'la boshlaydi. Yulduzlararo modda asosan, Galaktika hosil bo'lgan vaqtdan boshlab vodorod va qisman geliydan iborat. O'zaro tortishish kuchlari ta'siridagi siqilish avval protoyulduzlarning to'plamini hosil qiladi, so'ngra bu yulduzlar zichlashib yosh yulduzlar tarkib topadi. Ajralib chiqqan gravitatsion energiya yulduzni qizdiradi, natijada u nurlana va porlay boshlaydi. Bu jarayon davom etib, yulduzning ichki harorati termoyadro reaksiyasi boshlanish darajasiga yetadi.

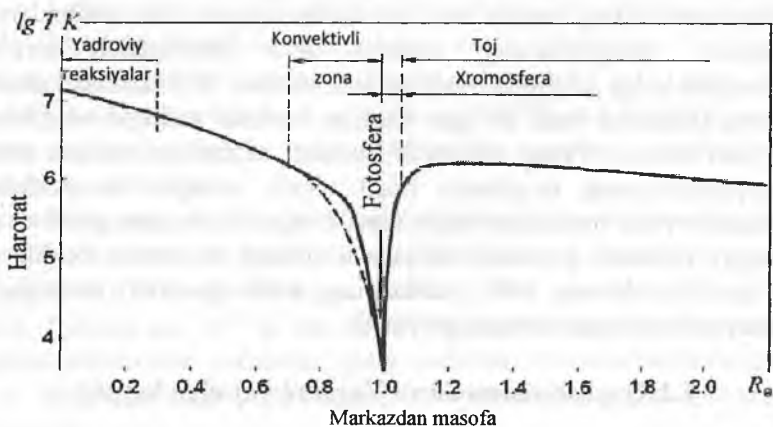
1.2. Quyosh sistemasi va Yerning vujudga kelishi

Hozirgi astrofizik va kosmogonik ma'lumotlarga asosan, Quyosh tizimi 4,7–5,0 milliard yil avval paydo bo'lgan. Quyosh tizimining paydo bo'lishi quyidagi jarayonlardan boshlangan deb ta'kidlanadi. Yulduzlararo moddaning quyuyqlashishi va sovuq sayyora tumanligidagi o'ta yangi yulduzni portlashi natijasida hosil bo'lgan to'liqning ta'siri ostida, ushbu modda siqilib nihoyatda katta disk shaklini olgan. Bu diskning juda katta qismi (99,2%) uning markaziga to'g'ri kelgan. Bu markazdagi birlamchi modda keyinchalik yosh yulduz – Quyoshning paydo bo'lishiga olib kelgan.

Quyosh haqida ma'lumotlar

Quyosh plazmali shar bo'lib, G2V turidagi spektrli yulduzdir. Quyoshning massasi $M_q = 2 \cdot 10^{33}$ g, radiusi $R_q = 6,96 \cdot 10^{10}$ sm bo'lib, u Yer radiusidan 109 marta katta. Quyosh 68% vodorod va 30% geliydan tarkib topgan. Barcha qolgan elementlar Quyosh massasining 2%ni tashkil etadi. Quyosh markazida harorat 16 million gradus.

Quyosh energiyasining manbai vodorodning termoyadroviy parchalanishi natijasida geliy sintez bo'lishi jarayoni hisoblanadi. Quyoshning markazida moddalar zichligi 160 g/sm^3 . Markazdan uzoqlashgan sari gazning (plazmaning) zichligi kamayadi va harorati pasayadi. Quyosh markazidan $4,87 - 5,57 \cdot 10^{10} \text{ sm}$ uzoqlashganda neytral atomlar mavjud bo'lib, ular Quyosh markazidan uning yuzasiga issiqlik uzatish jarayoniga ta'sir qiladi (1.1- rasm).



1.1- rasm. *Quyosh radiusi va yaqin atrofida haroratning taqsimlanishi*

1.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, Quyoshning ichida harorat chuqurlik sari ortib boradi. Faqatgina fotosferada jadal nurlanish natijasida harorat past. Fotosferaning yuqori qismi xromosferada gaz Quyosh nurlanishi natijasida qiziydi va Quyosh tojida asta sovushni boshlaydi. Quyosh toji 5 AB (astronomik birlik – Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofa), ya'ni Yupiter sayyorasining orbitasigacha tarqaladi.

Quyosh toji – Quyosh atmosferasining eng issiq va siyraklashgan qismi. Uning harorati Quyosh yaqinida 2 million gradus, Yer orbitasi yaqinida 100000°K gradusni tashkil etadi. Quyosh tojining plazmasi butunlay ionlashgan, uning kimyoviy tarkibi xuddi fotosferadagidek. Quyosh toji plazmasining konsentratsiyasi juda kichik, shuning uchun u nurlanishda rol o'ynamaydi, harorati yuqori. Quyosh tojining eng

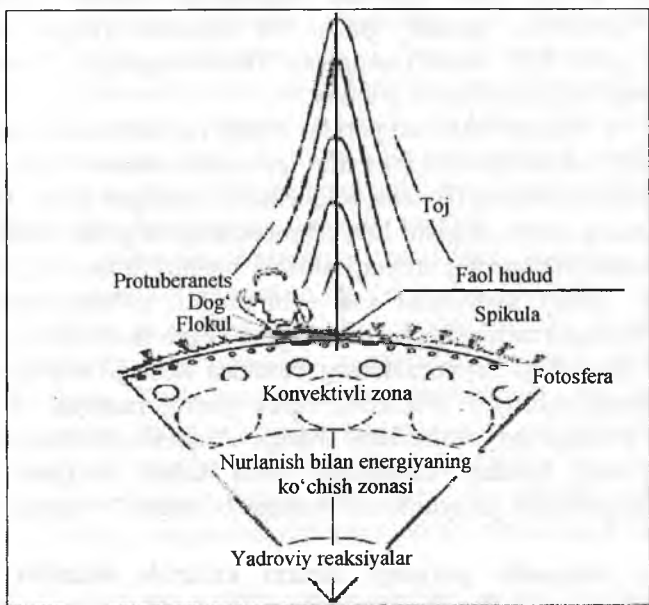
faol qismlarida chaqnashlar, flokul, spikul, protuberanetslar hosil bo'ladi (1.2- rasm).

Quyosh sistemasi yulduzning o'zi va uning atrofida aylanma harakat qiluvchi to'qqizta katta sayyoradan, asteroidlar kamaridan iborat, ba'zi sayyoralarning yo'ldoshlari bor. Moddalarning asosiy ulushi Quyoshda mujassamlashgan, faqatgina 1/1000 qismi sayyoralariga tegishli. Bu hol sayyoralarning harakatini bir-biridan mustaqil ravishda amalga oshirib, Kepler qonunlariga bo'ysunishiga majbur qiladi:

-Har bir sayyora orbitasi qo'zg'almas tekislikdagi ellips bo'lib, uning fokuslaridan birida Quyosh joylashgan.

-Quyosh bilan sayyorani bog'lab turuvchi radius vektor, bir hil vaqt oralig'ida bir xil maydonni hosil qiladi.

-Sayyoralarning Quyoshgacha bo'lgan masofalari kubining ularning Quyosh atrofida aylanish davrining kvadratiga nisbati o'zgarmas kattalikdir, ya'ni $R^3/T^2 = \text{const}$.



1.2-rasm. Quyosh xromosferasidagi faol hodisalar

Quyosh sistemasining paydo bo'lishi

Quyoshning termik ta'siri, tizimning aylanishi, Quyosh shomolining harakati natijasida qisqa (100 mln y.) vaqt ichida gaz va changdan iborat birlamchi, ibtidoiy modda parchalangan va Quyosh atrofida halqasimon yo'nalish bo'yicha harakat qila boshlagan (Saturn atrofidagi halqalarni eslang!). Ayni bir paytda halqalarda planetozi-mallar shakllana boshlagan va ular hisobiga Quyosh atrofidagi sayyoralar tashkil topgan. Birlamchi moddaning parchalanishi va saralanishi, uning vaqt o'tgan sari siqilishi ikki guruh sayyoralarni paydo bo'lishiga olib kelgan.

Birinchi guruh sayyorolari – Merkuriy, Venera, Yer, Mars kabi sayyoralar. Ular Quyoshga yaqin yoki «Yer guruhi sayyorolari» nomini olgan va o'z tarkibida kislorod va temir-magniyli silikat moddalarni mujassamlashtirgan.

Ikkinchi guruh – Yupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluton kabi sayyoralar bo'lib, ular Quyosh tizimining chetida joylashgan. Ularning tarkibida, asosan, gazlar va nisbatan yengil moddalar (vodorod, geliy, SO_2 , metan) tarqalgan. Temir-magniyli silikatlarni bu sayyoralarda hajmi uncha ko'p emas.

Mars va Yupiter kabi sayyoralar oralig'ida asteroidlar mintaqasi shakllanadi. Asteroidlar tarkibi temir, toshtemir meteoritlardan iborat.

Tadqiqotchilarning fikricha, yuqorida ko'rsatilgan ichki va tashqi sayyoralarning kelib chiqishi har xil sabablarga bog'liq. Ichki sayyoralar planetazimallarning quyuqlashishi, bir-biri bilan uyg'unlashib ketishidan, tashqi sayyoralar esa – birlamchi, ibtidoiy moddaning siqilishi (kollaps) natijasida hosil bo'lgan. Shuni ham aytish kerakki, Quyosh tizimidagi sayyoralarning barchasi hozirgi vaqtda qatlamlangan holatda uchraydi. Masalan, Yerda yadro, mantiya, yer qobig'i ajratiladi. Boshqa sayyoralar ham shunga o'xshash sferalardan iborat. Sayyoralarning bunday tuzilishiga nima sabab bo'lgan, qanday kuchlar qatlamlanish jarayonlarini boshqarib borgan? – degan savollar tabiiy.

Javob tariqasida quyidagi farazni keltirish mumkin. Bunga asosan, sayyoralarni hosil qilgan ibtidoiy modda juda mukammal o'zaro aralashgan va keyinchalik gravitatsiya kuchlari yordamida (og'irligiga qarab) geosferalar shakllangan masalan, Yer yadrosi, mantiya, yer qobig'i, atmosfera, gidrosfera va b.). O'z navbatida har

bir geosfera ichida ham tarkiban saralanish jarayonlari rivojlanishi mumkin. 4–4,5 mlrd yillik Yer evolyutsiyasi natijasida geosferalar zamonaviy ko‘rinishga ega bo‘lgan.

Hozirgi vaqtda bu sohadagi to‘plangan ma‘lumotlar Yer geosferalarining tarkibi, paydo bo‘lishi, ularga ta‘sir qilgan kuchlar va saralanish mexanizmlarini tiklash imkoniyatini beradi. Shu bilan bir qatorda, to‘plangan geologik, astrofizik ma‘lumotlar Yerning kelajakdagi holati, uni nima kutishi to‘g‘risidagi prognozlarni amalga oshirishga imkon beradi.

Yerning shakllanishi

Yerni sayyora sifatida shakllanishining bir necha ssenariylari mavjud. Masalan, V.S.Safonov Yerni shakllanishida uch bosqichni ajratadi. Birinchi (4,56–4,44 mlrd yil) bosqichda yer moddasining 93–95% gaz-changdan iborat birlamchi moddasi quyushadi. Ikkinchi bosqich, taxminan 0,2 mlrd yil davom etgan bo‘lib, sayyoraning o‘sishi sekinlashgan. Uchinchi bosqichda Yer bilan asteroidlarni to‘qnashuvi biroz kamaygan va u hozirgi shakliga ega bo‘la boshlagan. Ushbu jarayonlar 3,8–3,9 mlrd yil avval tamom bo‘lgan.

Yerning dastlabki tarixidagi sodir bo‘lgan jarayonlar haqida yagona fikr mavjud emas. Ayniqsa, Yer moddasining saralanishi va akkretsiyasi muammo bo‘lib qolmoqda. Hozirgi kunda bu sohada ikki, bir-biridan ancha farqlanuvchi modellar mavjud.

Birinchi, gomogen akkretsiya modeliga binoan, akkretsiya jarayonlari tamom bo‘lgandan so‘ng Yer sovuq, tektonik jihatdan sust, sayyora sifatida shakllangan. Uning tarkibi deyarli saralanmagan, differentsiatsiyaga uchramagan meteoritlarga yaqin moddalardan iborat bo‘lgan. Yosh sayyorani na gidrosferasi, na atmosferasi bo‘lgan. Agarda Yerda uchuvchan komponentlar uchrasa, ular boshqa elementlar bilan bog‘liq holatda bo‘lgan (masalan, SO₂ karbonatlar bilan, ON gidroksidlar bilan, azot nitrat va nitridlar bilan birga bo‘lgan). Yerdagi magmatik differentsiatsiya ancha kech boshlangan (3,5–4 mlrd yil).

Ikkinchi, geterogen akkretsiya modeliga binoan, Yer moddasining saralanishi, tarkib bo‘yicha geosferalarga ajralishi deyarli u hosil bo‘lgan davrdanoq boshlangan. Bu jarayonlar natijasida Yerning markazida uni temir silikatlaridan iborat bo‘lgan yadrosi hosil

bo'lgan. Tarkiban yadro moddalari temirli meteoritlarga mos keladi. Bu davrdagi Yerni termik holati haqida ham bir-birini inkor etuvchi, ikki xil fikrlar mavjud. O.G.Soroxtin va S.A.Ushakov Yerni ilk sovuq holatda bo'lganligini isbotlashga harakat qiladilar. Ularning fikricha, Yerning ibtidoiy moddasi hech erimagan, yadro esa asta-sekin uning rivojlanishi natijasida o'sib borib, hozirgi hajmga ega bo'lgan Yer moddasining birinchi eritmalari 4,0 mlrd yil avval paydo bo'la boshlagan. Ungacha Yer sust va sovuq holatda bo'lgan. Ushbu modeldan farqli, ba'zi tadqiqotchilar Yerni issiq modeli haqidagi g'oyani rivojlantiradilar. Ularning fikricha, eng qadimgi (4,6–4,8 mlrd yil) meteoritlar ham, Oyni tashkil qilgan jinslar ham, magmadan hosil bo'lgan va 1000^0 – 1300^0 C da kristallangan. Agar bu fikrlar to'g'ri bo'lsa, Yer guruhiga mansub bo'lgan sayyoralar magmatik jarayon natijasida hosil bo'lgan bo'lishi kerak. Ayni shu davrda, Yerda magmatik differentsiatsiya mavjudligini isbotlovchi dalillar sifatida arxei gneyslari tarkibida topilgan sirkonlarni ko'rsatish mumkin (4,3–4,4 mlrd yil avval hosil bo'lgan). Bunday sirkonlar faqat Yer ibtidoiy moddasini erishi natijasida hosil bo'lishi mumkin.

Yer 4,55 mlrd y avval paydo bo'lgandan so'ng, uning yuzasiga tushgan ulkan asteroidlar uning haroratini oshirgan va natijada birlamchi magmatik havza («magmatik okean») paydo bo'lgan deb taxmin qilinadi (S.Maruyama). Ushbu «okean» faoliyati natijasida Yer atmosferasi va birlamchi peridotitdan iborat bo'lgan Yer qobig'i hosil bo'lgan. Ayni shu davrdan boshlab suyuq temir fazasi yadroni tashqi qismida shakllangan. Yerning ulkan asteroid bilan to'qnashuvi natijasida uning orbitasiga juda katta hajmdagi ibtidoiy modda chiqarilgan va uning hisobiga Oy hosil bo'lgan (1.3-bobni q.). Umuman olganda, Yerni ulkan asteroidlar tomonidan «bombardimon» qilinishi 4,3–4,2 mlrd yillarga to'g'ri keladi. Bu jarayon adabiyotda «impakt» jarayoni nomini olgan va mantiyani eritib yuborishga, magmatik okeanni shakllanishiga va pirovardida, komatit-peridotit qobiqni hosil bo'lishiga sabab bo'lgan. Faqat 200 mln yildan so'ng (4,0 mlrd y) mantiyada notartibli konvektiv oqimlar paydo bo'la boshlagan. Konvektiv oqimlar «Litosfera plitalari tektonikasi» nazariyasi boshlab bergan yagona mexanizm sirasiga kiradi.

Oy va boshqa sayyoralardagidek, Yerda ham avval bazalt va o'ta asosli jinslardan tashkil topgan birlamchi qobiq hosil bo'lgan. Bu davrda ikki turdagi tektonik tizimlar hosil bo'lganini tasavvur qilish

qiyin emas. Birinchisi ko'tarilgan qit'alar (Oy, Mars, Merkuriydagi qit'alar). Ikkinchisi – nisbatan yosh, halqasimon cho'kmalar (Mars, Oydagi «dengizlar»). Yerda bu jarayonlar boshqa tarzda rivojlangan deyishga hech qanday asos yo'q. Shuni ham alohida ta'kidlash zarurki, ayni shu davrda Yer mantiyasida konveksiya oqimlari shakllana boshlagan va ibtidoiy Yer qobig'i erish jarayonlarini boshidan kechirgan.

Yerning ilk tarixini o'rganishda Oydan olingan ma'lumotlar alohida ahamiyatga ega. Ma'lumki, «Luna-16», «Luna-17» kosmik kemalari, «Apollon» ekspeditsiyalari keltirgan ma'lumotlar Oyni ancha qadimgi sayyora ekanligini tasdiqladi.

Oy, asosan, asosli jinlardan gabbro, bazalt, anortozitlardan tashkil topgan. Masalan, Oydagi anortozitlarning yoshi 4,09–3,85 mlrd yildan, to 3,8–3,2 mlrd yilgacha. Oydagi balandliklarda anortozit va bazaltlar yoshi 4,09–3,85 mlrd yilga teng, cho'kmalarda esa 3,8–3,2 mlrd yilni tashkil qiladi. Bu raqamlarga asosanib Oyda differenziatsiya mavjud bo'lgan degan xulosaga kelingan. Anortozitlar va bazaltlar tarkibini qiyosiy tahlil qilar ekanmiz glinozem, titan, temirni miqdorlari qonuniy ravishda o'zgarib boradi va (masalan, anortozitlarda Al_2O_3 -18-23% gacha) o'z navbatida yuqorida taxmin qilingan differenziatsiya jarayonlarida ko'rsatuvchi dalil bo'la oladi.

Ma'lumki, Oydagi tektonik harakatlar 3,8–4,0 mlrd yil atrofida so'ngan. Ayni shu davrda Yerda juda katta hajmdagi «kulrang gneyslar» paydo bo'la boshlagan.

Shunday qilib, Yer rivojlanishidagi ushbu ibtidoiy davr to'g'risida olimlar arsenalida ma'lumotlar ancha tanqis bo'lsa ham, Yerni faol rivojlanayotgan sayyora ekanligi isbot qilib berildi. Uning birlamchi qobig'i asosli jinlardan iborat. Eng qadimgi gneyslardagi ksenolitlar buni isbot qiladi. Ushbu davrdagi Yerni asteroidlar bilan to'qnashuvlari, meteoritlar tomonidan amalga oshirilgan «bombardimonlar», magmatik okeanni vujudga keltiradi va mantiyadagi ancha notartib (xaotik) konveksiya oqimlarini shakllantiradi.

Yerning paydo bo'lishi haqida yana bir necha zamonaviy farazlar mavjud.

Kant-Laplas farazi. Unga asosan, avval biror-bir yadro atrofida aylanayotgan gaz-tumandan iborat bulut mavjud bo'lgan. O'zaro tortishish natijasida bulutlik disksimon shaklni olgan va u gazlardagi zichlikning farqi tufayli qutblarda siqila boshlagan. Bundan so'ng disk

asta-sekin halqalar shaklini ola boshlagan, gaz bulutlarning sovishi natijasida sayyoralar va ularning yo'ldoshlari tashkil topgan. Bu tumanlikning markazida hozirgi kunda ham sovimag'an bulutlik mavjud bo'lib bu bizning Quyoshdir.

O.Yu.Shmidt faraziga ko'ra, asosan Quyosh sistemasi paydo bo'lishidan oldinroq, Quyosh galaktikadagi changlik va gaz bulutlarni o'z maydoniga tortishi natijasida, bu jismlar bir-birlariga yopishib oldin sovuq sayyoralar paydo bo'lgan. Quyoshning faolligi natijasida va gravitatsiya ta'sirida sayyoralar qiziy boshlagan, ularda vulqonlar va lavalalar otila boshlagan. Lavalalar Yerning birinchi qobig'ini tashkil etgan bo'lsa, ular bilan otilib chiqqan gazlar Yerning birinchi atmosferasiga asos solgan. Bu atmosferada 100 gradusli harorat ta'sirida suv bug'lari hosil bo'lib, ular birlamchi okeanlarni paydo qilgan.

J.Byuffon farazi bo'yicha, avval Quyosh bir o'zi fazoda uchib yurgan, lekin unga yaqin joydan uchib o'tayotgan boshqa yulduzning ta'sirida cho'zilib ketgan galaktikani tashkil qilgan. So'ngra bu yulduz parchalanib Quyoshning magnit maydoni ta'sirida uning orbitasiga chiqib olgan. Shu yulduzning zarralaridan sayyoralar paydo bo'lgan.

Xoyl fikricha, Quyoshning o'ziga o'xshagan «egizagi» bo'lgan. Har xil kuchlarning ta'sirida u portlagan, uning zarralari esa Quyoshning ta'sirida uning orbitasiga tushgan. Shunday qilib, sayyoralar paydo bo'lgan.

Yer rivojlanishini belgilovchi asosiy omil issiqlik energiyasining hosil bo'lishi va shu tufayli shakllangan gravitatsion maydonda moddalarning differentsiatsiyasi hisoblanadi. Bu murakkab jarayonlar natijasida Yerning temir-nikelli yadro, magnezial-silikatli mantiya (sima) va alyumosilikatli Yer qobig'i (sial) sferalari vujudga kelgan. Differentsiatsiya jarayonlari natijasida gidrosfera va atmosfera ham hosil bo'lgan. Yerning geosferalarga ajralish sababi sifatida ikki asosiy jarayon ilgari surilgan. Ulardan biri Yerning turli sathlarida magmatik jarayon o'choqlarini paydo bo'lishi va bu o'choqlarda magmatik eritmaning differentsiatsiya jarayonlarining rivojlanishi. Bu jarayon moddalarning tarkibiga, solishtirma og'irligiga qarab ajralishi hamda kimyoviy va mineral tarkibi bo'yicha turli magmatik jinslarning hosil bo'lishiga olib kelgan. Bunday differentsiatsiyaning asosiy sathlari yadro va mantiya chegarasida, D^{II} qatlamida va Yer qobig'iga yetkazib beriladigan magma va flyuidlarning asosiy massasi

hosil bo'ladigan astenosferada kechadi. Magma hosil qiluvchi o'chog'lar Yer qobig'ining turli sathlarida ham shakllanadi. Yerni geosferalarga ajralishidagi ikkinchi sabab – tog' jinslaridagi turli minerallarning bir turdan ikkinchisiga o'tishi, tarkibini o'zgarishi hisoblanadi. Bunda ularni tashkil etuvchi kimyoviy elementlarning umumiy miqdori saqlanib qoladi.

Yer moddasining muhim elementlari bo'lib O, Fe, Si, Mg sanaladi. Bular umumiy massaning 91% ni tashkil etadi. Ni, S, Ca, Al esa kamroq tarqalgan elementlar guruhini tashkil etadi. Mendeleev davriy jadvalidagi boshqa elementlar tarqalishi ikkinchi darajali ahamiyatga ega. Ammo Yer qobig'ida ularning yuqori miqdorda to'plangan joylari, shu jumladan ko'plab ma'danli konlarda ularning ahamiyati keskin oshadi.

Yer moddasining temir-nikelli yadroga, magnezial-silikatli mantiyaga (sima) va alyumosilikatli er qobig'iga bo'linishi jarayonlari asosan ikki sathda – mantiya va yadro chegarasidagi D^{II} qatlami hamda yadroga, astenosfera va litosferada amalga oshadi. Yer moddasining ichki differentsiatsiyasi qatorida kimyoviy elementlar o'zini turlicha tutadi. Masalan, markazga intiluvchi elementlar, eng avval temir, nikel, xrom, kobalt yadroga, magniy esa mantiyada to'planadi. Markazdan qochuvchi elementlar mantiyadan Yer qobig'iga siqib chiqariladi. Bunday elementlar qatoriga alyuminiy, ishqoriy va ishqoriy-yer va boshqa elementlar kiradi. Ular uchun ionizatsiyaning yuqori potentsiali va kichik atom hajmi xarakterlidir. Masalan, kontinental qobiqda nikel va xrom miqdori meteoritlardagiga nisbatan 500 marta kam. Va aksincha, ionizatsiyaning past potentsiali past va yuqori atom radiusiga ega elementlar mantiyadan yadroga o'tadi. Differentsiatsiya paydar-payligi Yer geosferalari kimyoviy tarkibining o'zgarishi bilan ifodalangan (1.3- rasm).

1.3. Oyning paydo bo'lishi

Oyning paydo bo'lishi haqida bir necha hozirgi zamon modellari mavjud va taklif etilayapti. Bu modellar quyidagi shartlarga javob berishi lozim:

- Oyning o'rtacha zichligi $3,3 \text{ g/sm}^3$ ni tashkil etadi, Yerni zichligi - $5,5 \text{ g/sm}^3$. Bunga sabab, Oyning temir-nikelli yadrosi juda kichik bo'lib, u Oy massasining atigi 2–3%ni tashkil etadi (NASAning

«Lunar Prospector» missiyasining ma'lumotlariga ko'ra). Yerning esa yadrosi uning massasining deyarli 30%ni tashkil etadi;

- Yerga nisbatan Oyda temir tanqisligi, yengil uchuvchan elementlar vodorod, azot, fluor, inert gazlarning ham yetishmovchiligi mavjud va aksincha, titan, uran, toriy kabi og'ir elementlarning esa ortiqchiligi bor;

- Oy qobig'ining jinslari va Yer qobig'i va mantiyasining jinslari kislorodning stabil izotoplari ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O nisbatlari bo'yicha bir xil. Taqqoslash uchun, Quyosh sistemasining boshqa joylaridagi meteoritlarda bu kislorod izotoplari nisbatlari umuman boshqacha. Bu hol Yer va Oyni kamida yuza qismi (qobiqlari va ustki mantiyasi) planetamizning Quyoshdan bir xil uzoqlikdagi masofada joylashgan qatlamidan tarkib topganligini bildiradi;

- Oyni qobig'i 60–80 km ni tashkil etib, uning mantiyasining erigan hosilalaridan tashkil topgan anortozitlardan iborat. Shuning uchun, Oy qachonlardir butunlay erigan holda bo'lgan degan tahminlar mavjud. Yer esa hech qachon butunlay erigan holda bo'lmagan;

- Oy va Yerning massalari nisbati 1/81 ni tashkil etib, Quyosh sistemasining boshqa joylarida bunday hol uchramaydi (faqatgina Xaron va Plutonda yuqoriroq);

- Oy – Yer sistemi juda yuqori burchak impuls momentiga ega (faqatgina Xaron va Plutondan kamroq);

- Oy orbitasining tekisligi (qiyaligi ekliptikaga nisbatan 5°) Yerning ekvatorial tekisligi bilan (qiyaligi ekliptikaga nisbatan $23,5^{\circ}$) to'g'ri kelmaydi.

Yuqoridagi sanab o'tilgan holatlar inobatga olingan holda quyidagi farazlar taklif etilgan:

Birinchi. Markazdan qochma bo'linish farazi: Bu farazni, ya'ni Oyni Yerdan ajralib chiqishi haqidagi farazni birinchi bo'lib 1878-yilda Djordj Darvin, taniqli Charlz Darvinning o'g'li taklif etgan. Uning taxminicha, Yer sayyorasi paydo bo'lgan vaqtlarda uning o'z o'qi atrofida aylanishi tezligi juda katta bo'lgan. Markazdan qochma kuchlarning ta'sirida planeta o'z ekvatori bo'ylab nihoyatda cho'zilib ketgan va undan katta bo'lagi uzilib chiqqan (bunga yana Quyoshning tortishish kuchi ta'siridagi quyilish kuchlari (prilivlar) ham yordam bergan). Mana shu bo'laklardan keyinchalik Oy tarkib topgan. Bu

farazni 1882-yilda geolog Osmond Fisher qo'llab-quvvatlagan. Uning fikricha Yerning Oy ajralib chiqqan qismida Tinch okeani hosil bo'lgan. Bu faraz XX asrda umumiy tan olingan faraz bo'lgan.

Ikkinchi. Tortib olish farazi: Bu farazni 1909-yilda amerikalik astronom Tomas Djefferson Djekson Si taklif etgan va bunga ko'ra Oy Quyosh sistemasida mustaqil sayyora sifatida paydo bo'lgan, keyinchalik qandaydir hodisalar sababli Yer orbitasi bilan kesishuvchi elliptik orbitaga o'tgan. Yer bilan navbatdagi yaqinlashishda uni Yer gravitatsiyasi tortib olgan va Oy Yerning yo'ldoshiga aylangan.

1989-yilda O.G.Soroxtin va S.A.Ushakovlar bu farazni rivojlantirib, o'z orbitasi bo'ylab aylanib yurgan Protooy sayyorasini, qo'shni orbitadagi Yer tortib olgan va o'z yo'ldoshiga aylantirgan deb hisoblashgan. Yangi yo'ldosh sayyora nisbatan ancha tez aylangan, natijada quyilish kuchlari (priliv) uni Yerga tortgan. Nihoyat, yangi yo'ldosh Yerga juda ham yaqinlashganda (Rosha chegarasi) u parchalanishni boshlagan. Protooy moddalari spiral bo'ylab Yerga tusha boshlagan. So'ng yo'ldosh deyarli yorilib, uning temir yadrosi Yerga qulagan. Yer orbitasida qolgan Protooy moddasidan Oy tashkil topa boshlagan va u tobora shar formasini olib Yerdan uzoqlasha boshlagan.

Uchinchi. Birgalikda shakllanish farazi: Bu farazni 1755-yilda Immanuil Kant birinchi bor taklif etgan. Uning fikricha, barcha osmon jismlari chang to'plamlarning yig'ilib, siqilishidan paydo bo'lgan. Bu farazni E.Rosh, O.Yu.Shmidt, V.S.Safronov va boshqalar rivojlantirishgan. 1970-yillargacha bu faraz eng yaxshi ishlab chiqilgan faraz sifatida qaralgan. Bu faraz bo'yicha Yer va Oy bitta orbitada ikkitalik sayyora bo'lib rivojlana boshlagan. Avval Protoer tashkil topgan. Keyinchalik u yetarlicha massaga ega bo'lganda gravitatsiya kuchlari ta'sirida uning atrofida boshqa protoplanetalar to'plamlari aylana boshlagan. To'plamlarning ba'zilar tezliklarini yo'qotib Protoerga qulagan. Boshqa to'plamlarning orbitalari birlashib aylana ko'rinishiga kelgan va ulardan Oy tarkib topa boshlagan.

To'rtinchi. To'qnashuv farazi: Bu faraz 1975-yilda U.Xartman va D.Devislar tomonidan taklif etilgan. Ularning fikricha, Teyya nomli protoplaneta o'lchamlari taxminan Mars sayyorasinikidek, Protoer bilan to'qnashgan. U vaqtda Yerning hozirgi massasining 90% mavjud edi. To'qnashuv urinma bo'ylab sodir bo'lgan. Natijada, Teyyaning katta qismi va Protoer mantiyasining bir qismi Yer

orbitasiga olib chiqilgan. Bu bo'laklardan Protooy yig'ilgan va u 60000 km radiusli orbita bo'ylab aylana boshlagan. To'qnashuv natijasida Yer katta aylanish tezligiga (5 soatda bir marta) va aylanish o'qining qiyaligiga ega bo'lgan. Bu faraz hozirgi kunda asosiy hisoblanadi, chunki u Oyning tuzilishi va kimyoviy tarkibi, hamda Oy–Yer sistemasining fizik parametrlarini yaxshi tushintira oladi.

Yuqoridagilar qatorida yana: bug'lanish farazi – qizigan Protoerdan orbitaga katta miqdorda moddalar bug'lanib, ularning sovushi natijasida orbitada Protooy tashkil topgan;

Ko'p Oylar farazi – Yerning tortishish kuchlari ta'sirida bir qancha mayda yo'ldoshlar Yer orbitasiga tortib olingan, keyinchalik ularning to'qnashuvlari va qayta yig'ilishlari natijasida Oy paydo bo'lgan.

1.4. Yer geosferalari

Yer vertikal kesimida bir-biridan tubdan farq qiluvchi uchta yirik ichki geosferalar ajratiladi (ichki tarafdan Yer sathi tomon): yadro, mantiya va Yer qobig'i. Yerning tashqi geosferalariga (Yer sathidan yuqori yo'nalishda) gidrosfera, atmosfera, magnitosfera ajratiladi.

Yer yadrosi

Yer hajmining 16,38% va massasining 31,79% ini tashkil qiladi. Yadro juda yuqori zichlikdagi – 11 g /sm^3 moddadan iborat. Tashqi yadro nisbatan suyuq, ichki yadro esa qattiq moddalardan iborat. Yangi tadqiqotlar ichki yadro anizotrop ekanligini va tashqi yadrodan Yer o'qi aylanishining katta tezligi bilan farq qilishini aniqladi. Tashqi yadroda ikki – jadal konveksiya bilan ajralib turadigan pastki va tartiblangan konveksiyadan iborat ustki geosferalar ajratiladi.

Mantiya va yadro, ichki va tashqi yadrolar o'rtasidagi chegaralar Yer kesmasida yaqqol ajralib turadi. Bunday chegaralarning mavjudligi moddaning zichligi va kimyoviy tarkibini keskin o'zgaruvchanligi bilan bog'liq. Ko'plab tadqiqotchilar tashqi yadro asosan bir valentli temir oksidlar Fe_2O suyuqligi va yuqori bosimga chidamli bo'lgan Fe va FeO ning evstektik qotishmasidan iborat deb faraz qiladilar. Ichki yadro temir-nikelli qotishmadan $\text{Fe}_{0,9}\text{Ni}_{0,1}$ iborat.

Ularning orasida qo‘shimcha sulfid tarkibli FeS oraliq qatlam (K.E.Bullen bo‘yicha F qatlam) ajratiladi.

Keyingi yillarda geodinamik jarayonlar rivojlanishida yadroning ahamiyatiga katta e‘tibor berilmoqda. Oy va Quyoshning o‘zaro tortishish kuchi ta‘sirida suyuq tashqi yadro ichida ichki yadro o‘zining holatini o‘zgartiradi va bu Yerning aylanma harakatining o‘zgarishi bilan birga kechadi. Bunda hosil bo‘ladigan qo‘shimcha inersiya kuchi barcha geosferalarga, ayniqsa ekvator bo‘yi kengliklarida kuchli ta‘sir ko‘rsatadi. B.V.Levin tomonidan bajarilgan seysmik faollikning taqsimlanishini statistik tahlili, «issiq nuqtalar» holati va Yer yuzasi relyefining amplitudasi, ularning pastki kengliklarda to‘planishi ichki yadroning aylanma harakati rejimi bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi. Quyoshning tortish maydonida Yer va Oy orasidagi o‘zaro ta‘sir nafaqat yadroning, balki boshqa geosferalarning ham orbital aylanish parametrlarini o‘zgartiradi va ularning geodinamik holatiga ta‘sir ko‘rsatadi. Yer aylanish tezligining o‘zgarishi, uning o‘qi siljishi kabi, iqlimga, magnit maydonining inversiyasiga va ehtimol, boshqa ko‘plab geologik jarayonlar va hodisalarga ta‘sir ko‘rsatadi.

Yer mantiyasi

Yerning 83,2% hajmi va 67,77% massasi mantiyaga to‘g‘ri keladi. Mantiya Yer geosferalarining hosil bo‘lish jarayonida, modda parchalanishi va saralanishida muhim ahamiyatga ega. Mantiya tarkibi yadroning o‘ssishi va yer qobig‘ining shakllanishi jarayonida doimo o‘zgarib turgan, ya‘ni Yer moddasidan temir-nikelli va alyumosilikatli Yer qobig‘i shakllanishiga sarf bo‘lgan moddaning to‘xtovsiz ta‘minlab turuvchi sath sifatida tasavvur qilish mumkin. Bu moddalarning ajralish jarayoni quyidagi ikki sathda – D^{II} qatida va astenosferada rivojlanadi. Uning tarkibi olivindan, rombik va monoklin piroksen va granatdan iborat.

Yuqori mantiya Yer rivojlanishida muhim ahamiyatga ega. Yer qobig‘ining shakllanishi u bilan bog‘liq. Yuqori chegarasi Moxorovichich yuzasidan to 410 km gacha tarqalgan. A.Ringvud va D.Grin yuqori mantiya umumiy tarkibining 75% peridotitdan va 25% okean qobig‘ining asosli jinslari – toleitli bazaltlardan tashkil topgan deydi. Ushbu moddaning nomi – pirolit.

Litosfera va astenosfera

Hozirgi vaqtda yuqori mantiya bazalt va oʻta asosli jinslardan tashkil topganligi aniq boʻlib qoldi. Seysmik toʻlqinlarning yuqori tezligiga ega boʻlgan yuqori mantiyaning ustki qismi ajratiladi. Yuqori mantiyaning bu qattiq moddali qismi Yer qobigʻi bilan birga *litosfera* deb ataladi.

Demak, litosfera yuqori mantiyaning depletlashgan ustki qismini va yer qobigʻini oʻz ichiga olib, uning tuzilishi va tarkibi Yerning geologik tarixi va moddasining differentsiatsiyasi xususiyatlarini toʻliq aks ettiradi. Litosferaning peridotitli magnezial-silikatli quyi va asosan, alyumosilikatli ustki qismlarga ajralishi aniq aks etganligi tufayli, ularning orasidagi chegara Yer kesmasidagi bosh petrofizik boʻlimlar qatoriga kiritilishi bejiz emas.

Restitli qatlam litosferaning pastki qismini tashkil etadi. Qisman erish natijasida bazalt fazasi chiqib ketadi va yuqori mantiya ancha qiyin eriydigan minerallardan iborat boʻlib qoladi. Adabiyotlarda bunday jinslar restit nomini olgan. Qisman erigan va bazalt qismini yoʻqotgan mantiya «depletlashgan» deb yuritiladi. Uning tarkibiy tuzilishi haqida burmalangan (geosinklinal) oblastlardagi ofiolit komplekslar, oʻrta-okean tizmasining rift vodiylari va transform Yer yoriqlari boʻylab mantiyaning hozirgi zamon ochilmalari hamda Yer qobigʻidagi magmatik jinslar ichidagi turli ksenolitlar tarkibi boʻyicha xulosalar chiqarilgan.

Litosfera ostida mustaqil qat sifatida *astenosfera* yotadi. Seysmik toʻlqinlar boʻyicha kuzatuvlar yordamida okeanlardagi 50 km dan kam chuqurliklarda, qitʼalarda esa 80 va 120 km oraligʻida toʻlqinlarning tarqalish tezligi mantiyaning ustki qismidagiga nisbatan kamayadi. Bu pasaygan tezliklar qatlami pastdan ham katta seysmik tezliklar sferasi bilan chegaralangan. Ushbu yuzalardan toʻlqinlarning qaytishi tufayli ular asosan shu qatlamning ichida tarqaladi. Shuning uchun ham u seysmik «volnovod» deb nomlangan. Uni astenosferaga aynan oʻxshatishadi. U lateral yoʻnalish boʻyicha bir jinsli emas. Okeanlarda uning ustki yuzasi 50 km ga yaqin va oʻrta okean togʻ tizmalari ostida Yer yuzasiga 10–15 km gacha yaqinlashib keladi. Ostki yuzasining chuqurligi 400 km dan oshmaydi. Kontinentlarda oʻzining tuzilishi boʻyicha astenosfera juda ham turli tarkibga ega. Yosh togʻli oʻlkalar ostida (Alp, Kavkaz, Tyan-Shan) uning ustki yuzasi 80 km gacha, rift

zonalarida esa 50–60 km gacha ko‘tariladi. Yer qobig‘ining eng turg‘un oblastlari – qadimiy platformalar qalqonlari ostida astenosfera kuchsiz ifodalangan. 100 dan 200 km gacha chuqurliklarda u bir-biridan ajralgan astenolinzalardan tuzilgan, nisbatan kichik qalinlikdagi qatlardan iborat.

Astenosfera Yer litosferasining shakllanishida muhim ahamiyatga ega. Astenosferada magma va yer qobig‘i moddasining parchalanishi va saralanish jarayonlarining o‘zagi joylashgan. Litosfera plitalari harakatlarini ta‘minlovchi astenosferaning geodinamik xossalari ham katta ahamiyatga ega. Astenosfera lateral yo‘nalishda yakka jinsli emas. Okeanlar tagida u aniq ifodalangan va katta qalinlikka ega. Qadimiy kontinental plitalar, ayniqsa, arxey kratonlari ostida litosferaning ostki qismi mantiyaning 200–350 km va undan ortiqroq chuqurliklarida yuqori mantiyaning tuzilishi mutlaqo boshqacha ekanligi aniqlangan.

Yuqori mantiya osti moddalari o‘zining umumiy kimyoviy tarkibini saqlagan holda fazaviy o‘zgarishlarga uchraydi va shu tufayli uning fizik xossalari o‘zgaradi. Bunday o‘zgarishlarni bir necha sathi kuzatiladi. Ularning orasida 410 km va 660–670 km chuqurlikdagi sathlar juda muhim hisoblanadi. Yer kesmasi ustki qismidagi bunday qatlanish Yer qobig‘i va butun Yerning tuzilishi va rivojlanishini anglashda katta ahamiyatga ega.

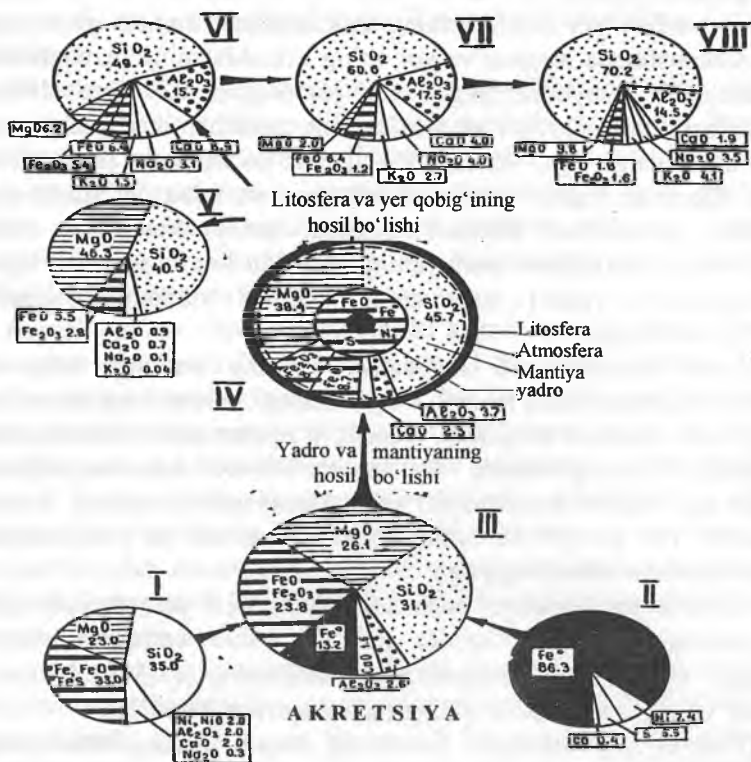
Mantiya tuzilishidagi bosh xususiyat, 410 km dan boshlab chuqurlikda seysmik to‘lqinlar tezligini oshib ketishidan iborat. Bundan 660–670 km chuqurlikgacha tezlikning (11,3–11,4 km/sek gacha) va tog‘ jinslar zichligining juda yuqoriligi kuzatiladi.

O‘rta va quyi mantiya jinslarning yuqori zichligi bilan ajralib turadi. Hisoblar shuni ko‘rsatadiki, hozirgi vaqtda ma‘lum bo‘lgan tog‘ jinslarining hech biri ushbu chuqurlikdagi o‘ta yuqori bosim va harorat sharoitlariga mos kelmaydi. Faqat ba‘zi minerallargina bundan istisnodir.

D^{II} qati – mantiya moddasining differentsiatsiyasidagi birinchi asosiy sath. *Bu sath Yer yadrosi va mantiya oralig‘ida joylashgan bo‘lib*, K.E.Bullen tomonidan ajratilgan. Uning qalinligi 200 km dan 300 km gacha o‘zgaradi. Qatlam yuzasining notekisligi esa yadro relyefiga mos keladi.

D^{II} qatining qovushqoqligi nihoyatda o‘zgaruvchan. Uning termik holati, zichligi va kimyoviy tarkibi xilma-xil va o‘zgaruvchan.

Qatning ostki qismida modda yuqori darajada suyuqlangan seysmik to'liqlar o'ta past tezlikdagi zona ajratilgan. O.G.Soroxtin va S.A.Ushakov bu oraliq qatlamni (20 km) Berzon nomi bilan atashgan. D^{II} qati Yerning rivojlanishida juda muhim ahamiyatga ega. Bu



1.3-rasm. Yer geosferalari shakllanishi jarayonida kimyoviy differentsiatsiyaning paydar-payligi:

(A.P.Vinogradov, A.A.Yaroshevskiy, A.B.Ronov, O.G.Soroxtin ma'lumotlari bo'yicha tuzilgan). Yerning kimyoviy tarkibi:

I-III – Yerning protomoddasini (I – tosh meteoritlar, II – temir meteoritlar, III – yerning protomoddasini); IV – hozirgi Yerning yadro va mantiyasi; V-VIII – litosfera (V – depletlangan mantiyaning restiti, VI-VIII – yer po'sti: VI – bazaltlar, VII – andezitlar, VIII – granitlar)

zonada mantiya moddasining differentsiatsiyasi jarayonida juda katta miqdorda issiqliq energiyasi ajralib chiqadi, yadroning temir bilan boyishi sodir bo'ladi. D^{II} qatida so'rilayotgan okean litosferasidan tashkil topgan *sleblar* to'plami va shakllanayotgan superplyumlarning ildizlari joylashadi. Qatning ostida moddalar qovushqoqligi keskin pasayadi va ular suyuqlangan holatdaligini ko'rsatadi.

Shunday qilib, oraliq D^{II} qati Yerning rivojlanishida muhim ahamiyatga ega. Bu zonada uning, mantiya va yadro chegarasida, moddaning gravitatsion differentsiatsiyasi tufayli, yadroning suyuq temirli komponentiga va mantiyaning qattiq silikatli komponentiga ajralishi sodir bo'ladi. Bunda ajralib chiqadigan issiqlik energiyasi, engilroq silikatli massalarning ajralishi bilan bir qatorda, Yerdagi issiqlik massa tashilishi va modda differentsiatsiyasini ta'minlovchi mantiyadagi yuqoriga harakatlanuvchi konvektiv oqimlarni keltirib chiqaradi.

Yer qobig'i

Yer qobig'i tarkibi va qalinligi bilan farqlanuvchi bir necha turlarga ajratiladi: okean, qit'a va oraliq turlar.

Okean turidagi Yer qobig'i hozirgi zamon okeanlarida va chekka dengizlarda rivojlangan bo'lib, qalinligi 1–15 km ni tashkil yetadi va cho'kindi va bazalt qatlaridan iborat. Yuqoridan pastga tomon uning tuzilishida quyidagi 3 ta qatlar ajratiladi: 1-qat – cho'kindi qati, 2-qat – asosan bazaltlardan iborat va 3-qat – tarkibida asosli to'la kristallangan magmatik jinslar ustuvorlik qiladi.

Qit'a turidagi Yer qobig'i kontinentlar va ularga tutashgan shelf dengizlarida tarqalgan. Yer qobig'ining kontinental turi okeanlar ichida joylashgan mikrokontinentlar kesmasiga ham xarakterli. Bunday turdagi qobiqning o'rtacha qalinligi 30–40 km oraliqda o'zgaradi. Platformalarda u 35–40 km ga, yosh tog' qurilmalari ostida esa 70–75 km gacha yetadi. Yirik grabenlar ostida qobiq qalinligi 25–30 km gacha qisqaradi. Qalinliklarning kamayishi asosan konsolidatsiyalangan qobiqning ustki qismi tugab borishi hisobiga kontinentlar chekkasida va subokean botiqliklarda kuzatiladi.

Kontinentlarda okeanlardagi kabi, qobiqning cho'kindi va jipslashgan (konsolidatsiya) qismi ajratiladi. Yer qobig'ining konsolidatsiyalashgan qismi geofizik ko'rsatkichlari bo'yicha ikki

qatga: bo'ylama to'lqinlar tezligi 6,0–6,5 km/sek gacha bo'lgan ustki va u 6,4–7,7 km/sek bo'lgan pastki qatlamga bo'linadi.

Kontinental turdagi yer qobig'ining hosil bo'lishi, tuzilishi, tarkibi va kelib chiqishi okean qobig'idan butunlay farq qiladi.

Cho'kindi qatlam platformalarda rivojlangan bo'lib, kichik qalinlikdagi (to 3–5 km) kesmaning cho'kindi qoplami iborat. Subokean botiqliklarida, platformalarning riftogen va chekka bukilmalarida, burmali mintaqalarning ichki va old bukilmalarida cho'kindi qoplarning qalinligi 10–20 km ga yetadi.

Yaqin yillargacha konsolidatsiyalangan Yer qobig'i kesmasining fizik xossalari o'zgarishini tog' jinslari tarkibidagi petrologik farq bilan tushuntirilgan. Shuning uchun ustki qatlam «granitli» yoki «granit-gneysli», ostkisi esa – «bazaltli» yoki «granulit-bazitli» qatlam nomini olgan. Ularning orasidagi ajratuvchi chegara birinchi marta uni aniqlagan geofizik olim Konrad nomi bilan ataladi. Bu chegara ostida bo'ylama seysmik to'lqinlarning tezligi 6,6 km/sek gacha oshadi. Keyingi mufassal tadqiqotlar Yer qobig'i kesimida boshqa qaytaruvchi gorizontlar ham mavjudligini ko'rsatdi.

Gidrosfera

Dengiz va okeanlardagi suvning 200 – 300 m chuqurlikdagi yuza qismi harorati o'zgaruvchan bo'lib, u geografik kenglikka va yil fasliga bog'liq. Ekvatorial mintaqalarda suvning o'rtacha yillik harorati 25°C. Shimoliy mintaqalar tomonga qarab harorat 0°C gacha pasayib boradi. Haroratga mos ravishda qutb o'lkalarda suvning zichligi maksimal, ekvatorida minimaldir.

Gidrosfera suvlarida kimyoviy elementlarning deyarli barchasi mavjud, lekin vodorod, kislorod, xlor va natriy ko'proq.

Okean Yer yuzidagi Quyosh energiyasini qabul qiluvchi va yig'uvchi ulkan akkumulyator. U haroratni o'zgarishini barqarorlashtirib turadi. Suv yuzasining haroratini to'satdan bir necha gradusga o'zgarishi atmosferadagi jarayonlarga kuchli ta'sir etadi. O'rta va qutb kengliklarida okean suvlari yozda issiqlikni akkumulyatsiya qilib, qishda bu issiqlikni atmosferaga beradi. Tropik mintaqalarda suv yil bo'yi isiydi va konveksiya tufayli bu yerda sovuq va issiq oqimlar paydo bo'ladi. Shu yerlarda suv va atmosfera haroratlari orasidagi katta farq tufayli siklonlar vujudga keladi.

Siklonlar geografik kenglikning 5–20 graduslarida, asosan yoz oylarida, okean yuzasida past bosimli zona mavjud bo‘lganda hosil bo‘ladi. Bunday holat suv va havo haroratlarini farqi yuqori bo‘lganda ($23 - 26^{\circ}\text{C}$) ro‘y beradi. Hosil bo‘lgan lokal havo oqimlari Koriolis kuchlari ta‘sirida spiralsimon shakl olib aylanma harakatga keladi. Issiq nam havo tepaga harakat qiladi, u shudring hosil bo‘lish nuqtasidan o‘tib, tomchilarga kondensatsiyalanadi. Asta-sekin issiq nam havo juda yuqoriga ko‘tariladi. Kengayib va sovib, bu nam havo sovigan bug‘ holatida saqlanib turadi. Agar shu damda tashqaridan shamol ta‘sirida qum yoki tuz zarralari kelib shu bug‘ga urilsa, ko‘chkisimon tarzda bug‘ kondensatsiyalana boshlaydi. Boshlangan jarayon natijasida bosim pasayadi. Bu yerda borgan sari ko‘p oqimlar hosil bo‘ladi, kondensatsiya jarayoni kuchayadi va kuchli shamol hosil bo‘ladi.

Tinch okeanining ekvatorial qismida diametri 200–400 km ga yetadigan anomal yuqori yoki past haroratli dog‘lar oqimlar vujudga keladi ($3-4^{\circ}\text{C}$ dan yuqori bo‘lganda «El Nino», yoki shunchaga past bo‘lganda «Lya Nina»). Bunday oqimlar har ikki-uch yilda hosil bo‘ladi. Har bir bunday hodisaning energiyasi, Xirosimaga tashlangan atom bombasi energiyasidan million barobar katta.

Okean osti zilzilalarida ba‘zi hollarda chuqurlikdagi sovuq suvlarni okean yuzasiga chiqib qolishi kuzatiladi. Bu sovuq suvlar diametri 500 km gacha yetishi mumkin. Bu oqimlar sutkadan ko‘proq vaqtgacha saqlanib, atmosferada har xil hodisalarga sabab bo‘ladi.

Oy va Quyoshning gravitatsion ta‘siri natijasida dengiz va okeanlarda Oy va Quyosh quyilishlari (prilivlar) hosil bo‘ladi. Ochiq okeanlarda bunday priliv paytida suv sathi 2m gacha ko‘tarilishi mumkin.

Atmosfera

Yer atmosferasi bir necha qatlardan iborat. Yer yuzasiga eng yaqini troposfera sanalib, u atmosfera massasining 80% ni va qalinligi ekvatorida 16 – 18 km ni, qutblarda esa 8 – 10 km ni tashkil etadi. Troposfera harorati har 100 metrga $0,6^{\circ}\text{K}$ ga pasayib boradi.

Yuqoriroqda stratosfera, uning kesimidagi 50 – 55 km da ozon qatchasi ajratiladi. Ma‘lumki, ozon qatchasi Quyoshning ultrafiolet nurlarini o‘ziga yutadi. Stratosferadan yuqorida mezosfera (55 – 80

km); so'ng termosfera (80 – 1000 km) va ekzosfera (1000 – 2000 km) ajratiladi. Undan yuqorida – fazo. Termosferada Quyoshning qisqa to'liqlik nurlarining ionosferada yutilishi tufayli harorat tez ko'tariladi. Ekzosferada yengil gazlarning sochilishi va dissipatsiyasi kuzatiladi. Atmosferaning 80 km dan yuqori qismida ionosfera, magnitosfera va geliosferalar mavjud bo'lib, ular haqida 4-bobda batafsil gapriladi.

Atmosferaning tashqi qatlamlarida gaz molekulalarining issiqlik ta'siridagi tartibsiz harakati, ularning harakat tezligini oshirib yuboradi. Natijada bu tezlik ortib kritik nuqtaga yetadi va bu molekulalar sayyoraning tortishish kuchi doirasidan chiqib ketishi mumkin. Shunday qilib dissipatsiya sayyoraning tortishish kuchiga, molekulalarning kinetik energiyasini aniqlovchi ekzosferadagi haroratga va shu molekulalarning massasiga bog'liq bo'ladi. Oy va Merkuriy shu sababli turg'un atmosferaga ega emas, Marsda esa faqat og'ir gazlar turg'un holatda. Yer turidagi sayyoralarda faqat vodorod va geliy dissipatsiya bo'ladi, kichik sayyoralarda va boshqa ba'zi yo'ldoshlarda atmosfera mavjud emas.

50 – 400 km balandlikda atmosfera gazlarining ionlashuvi ro'y beradi. Bu, atmosferada elektr o'tkazuvchanlikning ortishiga olib keladi (Yer yuzasidagidan ko'ra 10^{12} marta ko'p). Gravitatsiya, ionizatsiya va gazlarning diffuzion bo'linishi ta'sirida, atmosferaning yuqori qatlamlarida yengil gazlar to'plana boshlaydi. Yer yuzasidan 200 km yuqorigacha azot atmosferaning asosiy qismini tashkil qiladi, undan yuqorida azotni atomar kislorod siqib chiqaradi.

Atmosferada tomchi va mu shaklida $(1,3+1,15) \cdot 10^{16}$ kg suv bor. Suv asosan troposferada, tropik mintaqalarda 3–4% bo'lsa, Antarktidada $2 \cdot 10^{-5}$ % ni tashkil qiladi.

Yer yuzasidagi asosiy energiya manbai Quyoshning elektromagnit nurlanishidir. Yer Quyoshdan $1,7 \cdot 10^{17}$ Dj/s energiya oladi, lekin Yer yuzasigacha buning 48% yetib keladi, qolgani atmosferada yutiladi va magnitosferada qaytariladi. Stratosfera va troposferada infraqizil diapazondagi nurlanishlar suv bug'lari va karbonat angidrid gazlari yordamida yutiladi.

Termosfera qatlamining (ionosferada) quyi qatlamida radio-to'liqlik diapazondagi nurlanish qaytariladi, ultrabinafsha nurlanish esa ozon qatlamida Yerdan 15–60 km yuqorida yutiladi. Quyoshning qisqa to'liqlik rentgen va gamma nurlanishlari atmosferaning barcha

qutllarida yutiladi va Yerga deyarli yetib kelmaydi. Lekin atmosfera elektromagnit nurlanishlar va radioto'qlinlarni bemalol o'tkazib yuboradi.

Shunday qilib, atmosfera Quyoshning qisqa to'qlinli nurlanishlari va meteoritlar oqimidan Yerni saqlab turuvchi qalqon rolini o'ynaydi. Atmosferasiz Yerda hayotning vujudga kelishi mumkin emas edi, chunki bunday holda Yer yuzining o'rtacha harorati taxminan minus 23°C ni tashkil etgan bo'lardi.

Tayanch iboralar

Superadron, lepton, galaktika, plazma, fotosfera, xromosfera, restit, litosfera, astenosfera, mezosfera, termosfera, ekzosfera, akkretsiya, «impakt» jarayon.

Nazorat savollari

- 1. Olamning paydo bo'lishi va evolyutsiyasi haqida qanday farazlar mavjud?*
- 2. Katta portlash nima? U qanday eralardan iborat?*
- 3. Quyosh va Quyosh sistemasi qanday vujudga kelgan?*
- 4. Yer va Oy vujudga kelishining qanday farazlari mavjud?*
- 5. Yerning qanday asosiy geosferalari mavjud?*
- 6. Gomogen va geterogen akkretsiya modellarini tushuntirib bering?*

II BOB. YER EVOLYUTSIYASI HAQIDAGI TASAVVURLAR VA YERNING YANGI FIZIK XUSUSIYATLARINING KASHF QILINISHI

Ilm dunyosida «taxmin», «faraz», «konsepsiya», «nazariya» degan iboralar mavjud. Ular biror bir tadqiqot obyektining mohiyati, hossa-xususiyatini isbot etilganligiga yoki avval qay darajada ma'lum bo'lganligiga nisbatan ishlatiladi.

Nazariya albatta, taxmin, faraz, konsepsiya tushunchalaridan yuqori turadi va aniq hisob-kitoblar va kuzatuvlar (tabiatda va laboratoriya eksperimentlari) natijasida olingan, inkor etib bo'lmaydigan dalillar asosida isbotlangan tabiat voqeligiga aytiladi.

Tarixga nazar soladigan bo'lsak «geotektonika» termini birinchi bor nemis geofizigi K. Nauman tomonidan 1860-yili kiritilgan bo'lsada, o'tgan asrning o'rtalaridan boshlab alohida fan sifatida rivojlana bordi. Ammo, 1860-yilgacha, antik davrlarda va undan keyin ham Yer tuzilishi, uning rivoji, geologik vaqtlar mobaynida o'zgarishi haqida fikrlar mavjud bo'lgan. Bunday uzoq tarixga ega bo'lgan geotektonika faqat XX asrning 80-yillariga kelib shakllangan nazariyaga ega bo'ldi. Moziyga nazar tashlasdan avval geotektonika ikkita so'zning «geo» – «geya» ([<grekchada gaia, gyo yer] – qadimiy grek mifologiyasida yer xudosi) va tektonika ([<grekchada tektonikyo qurilish san'ati] *geologiyaning* bo'limi bo'lib, yer qobig'i tuzilishini, uning rivojlanishini, bo'laklarining harakatini o'rganadi) birikmalaridan iboratligiga diqqatni qaratsak.

2.1. Antik davr va Rim inqirozi

Yer tuzilishi, undagi o'zgarishlarga olib keladigan jarayonlar haqida turli farazlar antik davrlarda qadimgi grek va rimlik tadqiqotchilar asarlarida uchraydi. Bu davrda *neptunist* va *plutonist* yo'nalishidagi farazlar paydo bo'lgan.

Neptunistlar («*Neptun – suv xudosi*») Yerdagi o'zgarishlarning hammasi dengiz ta'sirida kechgan deb hisoblasalar, *plutonistlar* («*Pluton – qadimgi grek mifologiyasida – yer qa'risining xudosi, «yer*

osti podshohligi» xudosi) bu hodisalar ro‘y berishligini Yer qa‘ridagi kuchlar, jumladan, issiqlik bilan bog‘laganlar.

Neptunistlardan Fales (eramizdan avvalgi 626–547-yillar atrofida): «Yer unda yashovchi mahluqotlar bilan suvdan paydo bo‘lgan va yana unga aylanadi ...», deb yozgan. Tog‘larda dengiz chig‘anoqlari bo‘lishligi haqidagi dalillar asosida faylasuflar (Ksenofon, Ksanf va b.) quruqlikni avvalda dengiz suv bosganligi haqida fikr yuritganlar.

Plutonistlardan Geraklit (eramizdan avvalgi 544–474-yillar) birlamchi omilni olov hisoblab: «... olovning quyuqlanish yo‘li bilan barcha narsa paydo bo‘ladi va kamayishi yo‘li bilan unga aylanadi ...», deb yozgan.

Sitsiliyalik faylasuf Empedokl (eramizdan avvalgi 490–430-yillar) Yerning olovli suyuq yadrosining mavjudligini isbotlagan va vulqonlar otilish sabablarini shu yo‘l bilan bog‘lagan.

Rim inqirozi tufayli insoniyat sivilizatsiyasida cho‘kishlar ro‘y berdi. O‘rta asrlar deb nomlanuvchi bu davr umuman o‘tgan falsafiy merosni so‘nishi bilan xarakterlanadi. VI asrda Grigoriy I – rim «papasi» Rim kutubxonasini yoqib yuboradi va «bilimsizlik sharaflil ulug‘lanishning onasidir», deb e‘lon qilgan. Yevropaga qora kunlar bostirib keldi.

2.2. Arab madaniyatining yuksalishi va unda O‘rta Osiyo olimlarining o‘rni

Ammo antik davr faylasuflarining g‘oyalari tarix sahnasidan mutlaqo o‘chib ketgani yo‘q. Ular arab olimlari ishlarida o‘zining keyingi rivojini topa boshladi. Janubiy Arabistonda arab madaniyati rivojlana boshladi.

VI asrda Qur‘onning ilohiy sura va oyatlari nozil bo‘lganda (keyinga q.), VIII asrda Bog‘dodda xalifa Xorun ar-Rashid «Donishmandlar uyi» – zamonaviy ibora bilan aytganda fanlar akademiyasiga asos solganda va ayniqsa, uning o‘g‘li – Xalif al-Ma‘mun (813–833 yillar) O‘rta Osiyodan o‘ziga yaqin buyuk olimlar bilan birgalikda u yerga ko‘chib o‘tgandan so‘ng, bu «Donishmandlar uyi» barq urib rivojlanadi. Bu ilmiy markaz yetakchiligiga Ma‘mun yirik matematik va astronom olim Muhammad ibn Musa al-Xorazmiyni tayinlaydi.

Ma‘muniylar akademiyasi (Xorazm Ma‘mun akademiyasi) Xorazmda X asr oxiri – XI asr boshlarida faoliyat ko‘rsatgan va

Ma'muniylar davlati (992–1017) tarixi bilan bevosita bog'liq. Abu Nasr ibn Iroq o'z davrining o'ta bilimdon olimi bo'lgan. 1004-yilning boshida Ibn Iroq taklifi bilan Beruniy Gurganjga qaytib kelgan. Umuman Ma'mun saroyida ilm ahliga yaxshi sharoit yaratib berilgan. Ma'mun akademiyasiga Nishopur, Balx, Buxoro va hatto arab Iroqidan ko'plab olimlar Gurganjga ko'chib kelgan. 1004-yildan boshlab Gurganjda «Dorul hikmat va ma'orif» (ba'zi manbalarda «Majlisi ulamo») nomini olgan ilmiy muassasa to'la shakllangan. Bu ilmiy muassasada Afinadagi «Platon», Bog'doddagi «Bayt ul-hikmat» akademiyalari faoliyati singari ilmning barcha sohalarida tadqiqot va izlanishlar olib borilgan, juda ko'p manbalar to'plangan, tarjimonlik ishlari bajarilgan: hind, yunon, arab olimlarining ishlari o'rganilgan.

Eslatma: 1997-yili 11-noyabrda O'zbekiston Respublikasi Prezidenti I.A. Karimovning «Xorazm Ma'mun akademiyasini qaytadan tashkil etish to'g'risidagi» Farmoni e'lon qilinadi. Bu esa O'zbekistonning ilmiy salohiyatini yuksaltirish, uning jahon ilmiy hamjamiyatidagi o'rnini mustahkamlashda qo'yilgan muhim qadam bo'ldi.

Geotektonikaning boshlanish asoslarini Ma'mun akademiyasida faoliyat yuritgan buyuk allomalar asarlaridan topish mumkin: IX asrda ijod qilgan Muqadasiy ibn Xauqal, X asrning ustunlari Abu Rayhon Beruniy, Abu Ali ibn Sino va b. olimlar tadqiqot ishlari, bu davrdagi fan ravnaqi insoniyat kelajagining sivilizatsiyasini belgilab berdi (keyinga q.). Ayniqsa, Abu Rayhon Beruniy va Abu Ali ibn Sino asarlari alohida diqqatga sazovor. Aynan shuning uchun ham bu ikki olimni Arab madaniyati yuksalishining ikki qanoti bo'lgan o'zbek allomalari deb atasa ham bo'ladi.

Abu Rayhon Beruniy vafot etganda, nihoyasiga yetmasdan qolgan «Farmakognoziya» asarida Beruniy, xarsang toshlar va undan kichikroqlari («galka») yoriqliklar hosil bo'lganda va qoyalar to'qnashishi natijasida tog'lardan ajrab tushgan toshlar deb e'tirof etadi va toshlarning 24 xiliga ta'rif beradi. Qumlar-toshlardan ajragan zarrachalar, bundan keyin changlar paydo bo'ladi deb ta'kidlagan Beruniyning fikri hozirgi zamon litologiya fanining asosiy ma'nolaridan birini tashkil qiladi. Qumlarning mineralogik tarkibini birinchi bo'lib Beruniy o'rgangan. Katta o'lchamdagi toshlar tog'lar yaqinida, oqimi shiddatli daryolarda mavjud bo'lsa, kichik o'lchamlilari tog'lardan ancha uzoqlashgan, hamda daryo oqimi

sustlashgan joylarda kuzatiladi. Qumlar esa daryo o‘zanlariga va dengizlarga yaqinlashganda paydo bo‘ladi. Beruniy tomonidan qayd etilgan chaqiq (terrigen) jinslar o‘lchamlarining toshlardan to qumlargacha bunday o‘zgarishi Koinot tadqiqotlari tarixiga kiritilgan («Вселенная и человечество...», 1896, 1-jild, 194-bet) va O.И.Исламов tomonidan «Beruniy qonuniyati» deb atalishligi taklif qilingan (1977, 2-kitob, 112-bet).



Abu Rayhon Beruniy (973–1048) portreti,
rassom M. Nabiyevning ishi (L.N. Lordkipanidze, 2001
kitobidan).

*O‘rta asr Sharqining ko‘zga ko‘ringan, eng original tafakkur
sohibi Abu Rayhon Beruniy bo‘lgan – o‘zbek xalqining buyuk
farzandi, geniy, 1000 yildan ortiq muqaddam yashagan, ensiklopedist,
Xorazm Akademiyasining a‘zosi, hozirgi olimlar tan olgan. Dunyo
Fani tarixida XI asrning butun birinchi yarmi Beruniy davri deb
atalgan (J. Sarton, Washington, 1927)*

Geologik ilmlar tarixi bo‘yicha yirik olim, professor D.I. Gordeev universitetlarning geologik mutaxassisligidagi talabalar uchun yaratgan asosiy o‘quv qo‘llanmasida: Beruniyning «chaqiq jinslar o‘lchami cho‘kindilar hosil qiluvchi oqimlar tezligiga monandligi

qonuni (cho'kindilar differensiyatsiyasining mexanik qonuniyati) haqidagi kashfiyotini haqli ravishda «Beruniy qonuniyati» deb e'tirof etish lozim. Beruniy tomonidan qayd etilgan qonuniyat quyidagicha ifodalanishi mumkin: daryolardagi cho'kindilar kattaligi daryo oqimi tezligiga proporsional», deb yozgan (D.I. Gordeev, 1967, 98-bet).

Beruniy «Mineralogiya» asarida tog'lar orollarga parallel joylashganligiga diqqatni qaratadi. Barcha tog'lar o'tmishda o'zgaragan.

Barcha voqeliklar, o'zgarishlar tezlikda yoki birin-ketin sodir bo'ladi («Беруни и Ибн Сина. Переписка», 1973, 10-bet). Agar, biz Tinch okeani sohillari bo'ylab Yer sharini kuzatadigan bo'lsak, bir-biriga zanjirsimon ulanib ketgan orollarni, bu orollarga parallel joylashgan tog'liklarni ko'ramiz. Tinch okeani sohillari bo'ylab joylashgan orollar fanda «olovli halqa» nomini olgan, chunki bu halqa bo'ylab doimo zilzilalar va vulqon otilishlari kuzatilib turadi, bu halqa – Yer sharining faol seysmik mintaqasi. Bunday seysmik faollikning sababi, bu olovli halqa litosfera plitalarining birikkan chegarasi va bu chegara bo'ylab bir plita ikkinchi plita ostiga sho'ng'ishini (subduksiyasini) kuzatish mumkin.

Beruniy Yer yuzasi o'zgarishini ikki turdagi issiqlik bilan bog'laydi: Quyoshdan; Yerga siqilgan issiqlik, bu uning qa'ridan yuzaga chiqib kelib, Quyosh nuridan havo isigan vaqtda, ikkala issiqlik to'qnashadi. Bular Yer yuzasi o'zgarishiga olib keladi. Aynan shu o'zgarishlar quruqlik bo'laklarining bir joydan boshqa joyga siljishiga olib kelgan. «Ehtimol sharsifat Yerning bo'lagi ular orasida chuqur botiqliklar hosil bo'lishi natijasida ajralgan [asosiy qit'adan] va bu botiqlarga O'rab turgan [okean] suvlar kirib kelgan» («Geodeziya», 94-bet).

Gorizontal siljish harakatlarini Beruniy kengliklar o'zgarishiga olib keluvchi meridional – shimol-janub yo'nalishida deb hisoblagan. «Shaharlar kengliklariga taalluqlilari bunda juda sezilarli, tomonlar almashinuvigacha [kengliklar] o'zgarishi mumkin ... Shuning uchun doimo [kengliklarni] kuzatish va tekshirish lozim» («Geodeziya», 105-bet). «Bu siljishlarni uzunliklarga ta'siriga taalluqlilari shuki, men ularni sezilarsiz deb hisoblayman, agar harakat sharqdan g'arbga tomon bo'lgan bo'lsa. Agar u janubga yoki shimolga yo'nalgan bo'lsa uning ta'siri ortadi» («Geodeziya», 105-bet).

Shu emasmi qit'alarning gorizontal harakatlari!

Abu Ali ibn Sino Aristotel va Forobiy tasniflari asosida, bu tasniflardan farqli alohida fanlarning o'ta chuqur bog'liqligiga asoslangan fanlarning yangi tasnifini yaratgan. Umumqamrovli deb falsafa fani ajratilgan va u amaliy va nazariylariga bo'lingan. Birinchilariga oliy fan – metafizika – «tabiatdan chetda mavjud» bo'lgan narsalar haqidagi ilm; oraliq fan – matematika; quyi fan – fizika - sezuvchi jismlar ilmi kiritilgan. Amaliy falsafaga etika, iqtisodiyot va siyosat ilmlari kiritilgan. So'ng har bir fan yana toza nazariy va amaliylariga bo'lingan. Tabiat haqidagi fan tabiatshunoslik nazariy fizikaga, amaliysiga esa – meditsina, astronomiya va kimyo kiritilgan. Ibn Sino o'zining «Ratsional ilmlar tasnifi haqidagi», yoki «Tafakkurga asoslangan fan qismlari» asarlarida 35 ta fan yo'nalishiga tavsif bergan.



Abu Ali ibn Sino (980–1037) portreti,

rassom L.Ya. Mittelmanning M.M. Gerasimov restavratsiyasi bo'yicha ishi (L.N. Lordkipanidze kitobidan, 2001).

Buyuk olim – ensiklopedist Beruniy zamondoshi, Xorazm Akademiyasining a'zosi, ash-Shayx-Rais –ma'naviy ustoz, olimlar sardori va «faylasuflar knyazi», «vrachlar knyazi», barcha dunyo ensikopedyalariga kiritilgan mashhur AVITSENNА, tug'ilganinning 1000 yilligi dunyo ilm jamoatchiligi tomonidan ikki marta nishonlandi. Dunyo tinchlik kengashi Raisi professor Jolio-Kyuri tashabbusi bilan musulmonlarning oy taqvimini bo'yicha (1952–1953-y.y.) va YuNESKO qaroriga binoan grigorian kalendari bo'yicha (1980-y.), o'zbek xalqining faxri (L.N. Lordkipanidze, 2001).

Geologiya tarixida ibn Sino asosan o'zining minerallar klassifikatsiyasi bilan tanilgan. U to'rt guruhdagi minerallarni ajratgan: 1) toshlar; 2) eruvchi (metallar); 3) oltingugurt moddali, ya'ni yonuvchi; 4) tuzlar. Bu tasnifda olim, minerallarning faqatgina fizik xossalarini emas, balki substansiyasining mustahkamligini, ko'p yillar o'tgandan so'ng ma'lum bo'lishicha, kimyoviy bog'lar turini inobatga olgan.

XX asr oxiri – XXI asr boshlarida shakllanib kelayotgan planetologiya fanining asoslarini biz ibn Sino asarlarida ko'ramiz. Bu alloma Yerda sodir bo'ladigan jarayonlarga Quyosh va Oy ta'siri haqida bir necha bor to'xtalib, bunday voqelikga diqqatni jalb qilgan. Ibn Sino zilzilalarni yilning vaqtlari o'zgarishi, Oy va Quyosh ta'siridan kelib chiqadi, deb hisoblagan (K. Karabayev, 1981, 151-bet).

XIII asrda Markaziy Osiyo mo'g'ul bosqinchiligiga duchor bo'ladi va madaniyat, ilm-fan taraqqiyotiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

2.3. Uyg'onish davri yoki tayyorgarlik bosqichi (XVII a. – XVIII a.ning birinchi yarmi)

Geologik bilimlarning yangi kurtaklari faqatgina ana shu davrga kelib namoyon bo'la boshladi. Bu davrda geologiyaning fan sifatida tiklanishiga italyan olimi nasli dat bo'lgan N. Steno (Stenon) sezilarli ulush qo'shgan. 1669-y. u tektonikaga asos solgan g'oyalarni, shu jumladan antik davr, arab dunyosi va O'rta Osiyo olimlari asarlaridan foydalangan holda umumlashtirdi. Bu g'oyalar quyidagilar bo'ldi:

1. Cho'kindi jinslar avval gorizontallik qatlar bo'lib qatlanadi; ularning egilgan yoki bukilgan shaklda yotishi keyinchalik buzilishining natijasidir (qatlar tanaffussizligi prinsipi).

2. Har bir qat suvli muhitdan cho'kish yo'li bilan hosil bo'lgan va uning hosil bo'lish vaqtida yuqoridagi qatlar mavjud bo'lmagan (qatlarning superpozitsiya prinsipi).

3. Agar egilgan qat ustida gorizontallik qat yotsa (yoki ancha sust egilgan), bu degani, birinchi qat egilishi ikkinchini qatlanishigacha sodir bo'lgan (konsedimentatsion prinsipi).

4. Tog'lar doimiy balandlikni tashkil etmaydi (paleorekonstruksiya prinsipi).

Tektonik buzilishni N. Steno Yer osti bo'shliqlari ustida qatlamlarni cho'kish va o'pirilishida deb bilgan.

XVIII a. da Yerning uzoq geologik tarixi haqidagi tasavvurlar shakllandi. Masalan, R. Dekart va G. Leybnits bizning sayyora birlamchi qizigan shaklda bo'lgan deb tasavvur qilishgan. Uning sovishi mobaynida qattiq qobiq hosil bo'lgan, bug'ning quyulanishishi okeanlarning hosil bo'lishiga olib kelgan. Bu g'oyalar keyinchalik fransuz naturalisti J. Boffon tomonidan rivojlantirilgan. Yevropa olimlari N. Kopernik, R. Guk, A. Moro, G. Rixman va ko'pgina boshqa tadqiqotchilarning sermahsul ishlari umuman geologiyani va alohida geotektonikani ilmiy asoslarining tamal toshlarini qo'yishlik uchun zamin yaratib berdi.

2.4. Ilmiy bosqich yoki geologiyani mustaqil fan sifatida shakllanishi (XVIII a. ikkinchi yarmi – XIX a. birinchi yarmi)

Bu davr tabiiy fanlar ichida geologiyani mustaqil ilmiy yo'nalish sifatida shakllanishi bilan xarakterli. Bu A.G. Verner, M.V. Lomonosov, Dj. Xatton, A. Gumbolt va b. atoqli olimlar nomi bilan bog'liq. Burmalar va tog'lar hosil bo'lishini tushuntirib beruvchi birinchi ilmiy tektonik farazlar (ko'tarilish farazi) shakllandi. Buning sababini ko'pgina olimlar Yerning ichki kuchida («Yer osti issiqligi») deb bilganlar.

Shotland tabiatshunosi Dj. Xatton geologiya birinchi bor tarixiylik «manzarasini» berdi, deb yozgan. U geologik jarayonlar o'zaro faqat makon bo'ylab emas, balki vaqt bo'yicha ham bir-biri bilan bog'liq deb hisoblagan. U: «eski dunyoning qoldig'i bizning sayyoraning zamonaviy strukturasi ko'rinadi», deb yozgan edi. Geologik voqelik, olimning fikricha, sikllik xarakteriga ega.

1830-y. Ch. Layyalning geologiyani ilmiy bosqichidagi yutuqlarni jamlagan «Geologiya asoslari» deb nomlangan fundamental ishi chop etiladi. Ch. Layyal *geologik jarayonlar evolyutsion yo'l bilan rivojlanishini* ochib berishga va Yer yuzasining o'tmishdagi o'zgarishini hozirda mavjud sabablarga solishtirish yo'li bilan tushuntirishga serijodlik bilan yondashgan (uniformizm prinsipi). Bu fikrdan aktualizm metodi – o'tmishdagi geologik jarayonlarni va hodisalarni bilish metodi kelib chiqqan deb sanaladi.

Moziyga nazar: Ibn Sino asarlarida ham zamonaviy geologik xususiyatlarga qarab, o'tmish geologik voqeligini tiklashga

qaratilgan fikrlarni uchratishimiz mumkin. Masalan, turli xil yotqiziqlar shart-sharoiti asosida o'tmishda quruqlik yoki dengiz bo'lganligini tiklashni ko'rsatib bergan.

2.5. Bo'lajak geotektonika fanining shakllanishi yoki klassik bosqich (XIX a. ning ikkinchi yarmi)

Bu davrda fundamental (klassik) g'oyalar shakllanib, umuman geologiyaning asosi va xususan bo'lajak geotektonikaning tamal toshlari qo'yildi. Fransuz olimi Eli de Bomon sayyoramizning birlamchi olovli-suyuq holati haqidagi Kant-Laplas farazining mahsuli bo'lgan kosmogenetik tasavvurga asoslangan *Yer rivojining kontraksion farazini* shakllantirdi. Shimoliy Amerikada geosinklinal haqidagi ta'limot vujudga keldi. Uning asoschilari deb Dj. Xoll (1859-y.) va Dj. Den (1873-y.) hisoblanadi.

Moziyga nazar: 1965-yili *Qohirada arab tilida nashr etilgan ibn Sinoning «Rudalar va osmon jismlari» asarida Dj. Xoll asarlaridan avval tog' hosil bo'lishligiga, tog'larning foydaliligiga, zilzilalarga, Yer tuzilishi va uning o'zgarishiga katta ahamiyat berilgan (K. Qoraboyev, 1981). Ibn Sinoning, «yotqiziqlar siqilishi natijasida burmalar hosil bo'ladi», degan xulosasi K. Qoraboyevga (1981, 150-bet) bu olimni hato tarzda amerikalik olim Dj. Xollga birlashtirilgan geotsinklinallar nazariyasining asoschisi» deb atashga imkon berdi (L.N. Lordkipanidze, 2001, 130-bet).*

Fransuz geologi E. Og zamonaviy okeanlarga tenglashtirgan faol geosinklinallarga platforma (kratonlar) nomini olgan muqim kontinental massivlarni qarama-qarshi qo'ydi.

Geotsinklinallar va platformalar haqidagi ta'limot rus geologlari A.P. Karpinskiy, A.G. Pavlov, A.D. Arxangelskiy va b. tomonidan mazmunan rivojlantirildi.

Tarixning tahlil etilayotgan pallasida *izostaziya* haqidagi ta'limot paydo bo'ladi. Fransuz geologi M. Bertran (1887) tog' hosil bo'lishining alohida davrlari mavjudligini va ularni *Yerning geologik tarixida sikllik* tarzda namoyon bo'lishligini asosladi («Bertran sikllari» nomi bilan fanda qoldi). Ch. Darvin tabiatshunoslikka, shu

jumladan geologiya o'tmishni geologik rekonstruktsiya qilish asosiga qo'yilgan *evolyutsionizm printsiptini* kiritdi.

XIX asrning ikkinchi yarmida geologiya fanining tarmoqlarga bo'linish tendensiyasi namoyon bo'ldi. Tektonika (shu jumladan geotektonika ham), geomorfologiya, petrografiya, paleogeografiya, gidrogeologiya va b. yangi yo'nalishlar paydo bo'ldi. Fatsiyalarni o'rganishga asoslangan tarixiy rekonstruktsiya keng qo'llanila boshlandi.

Shveysar geologi A. Gresli tomonidan 1838-y. fatsiyalar haqidagi tushuncha fanga kiritilgan.

XIX asrning oxirida Yer geologiyasini o'rganish ishida turli davlatlar geologlarining kooperatsiyasi yaqqol ko'zga tashlanadi. Dunyoning yetuk davlatlarida Milliy geologik xizmatlar (komitetlar, vazirliklar, komissiyalar va h.) tashkil etila boshlandi. 1878-y. Parijda Halqaro geologik kongressning birinchi sessiyasi o'tkaziladi.



Djeyms Xoll (Hall) (1811–1898).

«Amerikalik geolog, geosinklinalar ta'limotini ishlab chiqishga asos bo'lib xizmat qilgan yer qobig'i pasayishi va katta qalinlikdagi yotqiziqlar yotish oblastlariga tog' hosil bo'lishligining mansubligi haqidagi g'oyani shakllantirgan» («Планета Земля.

Энциклопедический словарь, том «Тектоника и геодинамика», Санкт-Петербург, 2004, 18-бет).

Geologiya rivoji fundamental bosqichining yakuniy pardasi bo'lib, Avstriya geologi E. Zyusning «Yerning yuzi» (rus tilidagi nashri «Lik Zemli») nomli ko'p yillik monografik ishi bo'ldi. Uni nashrdan chiqarishlik 1883-y. boshlanib, 1909-y. yakunlandi.

Bu ish zamirida o'sha davrgacha bo'lgan barcha geologik materiallarni umumlashtirish va geologiya erishgan yutuqlarga o'ziga xos xulosa yasash bo'yicha beqiyos zalvorli mehnat yotibdi.

Yerning rivojlanishi haqidagi tasavvurlar va geologik evolyutsiya sabablari asosiga Eli de Bomonning kontraksion farazi qo'yilgan edi. E. Zyus o'zining katta obro'siga, dunyo geologiyasi oldida ko'rsatgan beqiyos xizmatlariga qaramasdan, u o'zining ilmiy faoliyati natijalarini kamtarona baholab, ularga «bir adashishdan boshqasiga bo'lgan sayohat» deb qaragan. «Yer yuzasi»ning oxirgi jildini olim quyidagi so'zlar bilan yakunlagan: «Yerning yuzasi sharhining mukammalikka yetmagan bu tajribasi natijasida ko'p sonli savollar va shubhalar nihoyasiga yetmagan mato chekkalaridan osilib qolgan iplar singari osilib qoldi».

2.6. Geologiyadagi faraz va konsepsiyalarning inqirozi – mobilizm sharpasi (XX asrning birinchi yarmi)

Bu bosqich geologiyadagi asos bo'lib xizmat qilayotgan faraz va kontsepsiyalarning inqirozga yuz tutishi bilan xarakterli. Yerning birlamchi olovli-suyuq holati shubha ostiga olinadi va shunga ko'ra kontraksion faraz ham rad etiladi. Geologiya asosini tashkil qilgan bo'ylama tebranish harakatlari tektonik jarayonlarning birlamchisi degan tasavvurlar inqirozga yuz tuta boshlaydi. Bo'ylama tektonik harakatlar natijasida bir joy cho'kib okeanlar hosil bo'ladi, boshqa joylar ko'tarilishi natijasida okeanlar chekinib qit'alar hosil bo'ladi degan farazlar, ya'ni mavjud okeanlar va qit'alar qayd etilgan geografik koordinatalardan siljimagan holda, ularda kehadigan geologik jarayonlar faqat bo'ylama harakatlar oqibatida sodir bo'lishligi haqidagi, *fiksizm* («bir joyda», «mutqimlikda») nomini olgan tasavvurlar puchga chiqariladi.

Tektonikada fiksistlarga qarama-qarshi qit'alarni sezilarli gorizonta siljishlariga asoslangan yangi ilmiy yo'nalish – *mobilizm vujudga keladi*. Sayyora rivojlanishining yangi farazlari vujudga keladi: «Kengayayotgan Yer farazi», «Pulsatsion faraz».

Mobilistik dunyoqarashning «oq fotihasi» Yer ilmda nemis geofizigi Alfred Vegener (Wegener) 1912-y. ilgari surgan, e'tiborni tortuvchi, qiziqarli ssenariyadagi «Kontinentlar dreyfi» deb nom olgan faraz sanaladi. Mobilizm qatoriga amerikalik olimlar Garri Xammond Xess (Hess) va Robert Sinler Dits (Dietz) 1961–1962-y.y.larda taklif etgan «Okean tubining kengayishi» farazi ham taalluqli.

Moziyga nazar: *L.N. Lordkipanidze o'zining O'rta Osiyo geologik bilimlar tarixiga bag'ishlangan 2001-y. gi ajoyib asarining 3-bobi «Qur'on bo'yicha geologik hodisalar»da ba'zi suralardan oyatlarni (I.Yu. Krachkovskiyning rus tilidagi tarjimasini bo'yicha) keltiradi va shunday yozadi: «ba'zi tadqiqotchilar qayd etilgan tog'lar harakatida plitalar tektonikasining boshlanishini ko'radilar» (54-bet). So'ng bu olim ta'kidlaydi: «Qur'onda Yer haqida barcha narsa bor, abadiy materiya hosil bo'lishidan, differensiyalanishidan, har xil turdagi harakatlar evolutsiyasidan, relyefning o'zgarishidan, modda (suv) aylana almashinuvidan boshlab, to uning o'lishigacha va qaytadan tug'ilishigacha» (56-bet).*

Abu Rayhon Beruniyning ilmiy merosini o'rgangan N.I. Leonov (1973) mobilizmga Beruniy asarlarida asos solinganligini isbotlab bergan. Bu haqda gruzin olimasi L. Saldatzening ««Avitsenna» asarida ham qayd etib o'tilgan.

1991-y. «Fan» nashriyatida chop etilgan «Abu Rayhon Beruniy va yangi nazariya» nomli asarning (muallifi A. Obidov)«Oddiydan murakkabga» qismida shunday ta'kidlangan: «Abu Rayhon Beruniy X asrda soddagina tarzda: «Qit'alar go'yo suv sathida suzib yurgan daraxt barglari singari bir-biri tomon yaqinlashib yoki uzoqlashib sekin harakatda bo'ladi», deb dalolat etganda XX asrda shu oddiygina fikrga hamohang ilmiy asosda Yangi nazariya yaratilishini his etganmikan?» (6-bet). Beruniy mobilizm haqidagi fikrlarini o'zining «Hindiston» nomli asarida ham bayon etgan.*

Aql-idrok oddiylikdan murakkablik darajasiga etishgan sayin olis o'tmishda uzuq-yuluq idrok etilgan voqea-hodisalar orasidagi aloqadorlik qonuniyatlari – sabab va oqibatlar sirlari kashf etila borgan, shu tariqa dunyo aslida parcha-parcha ko'rinishda emas,

* Beruniyning qo'shtimoq ichida keltirilgan so'zi L. Saldatzening «Avitsenna» kitobidan olingan.

balki yaxlit bir butunlikdan iborat ekanligi ayonlashavergan, deb aytilgan X. Do'stmuxammadning fikrlari to'la ravishda «Plitalar tektonikasi» nazariyasining shakllanishiga ham taalluqli ekanligi yuqoridagi misollardan ko'rinib turibdi.

Geosinklinallar va platformalar ta'limoti yangidan yangi taraf-dorlarini topib muvaffaqiyatli rivojlanadi. Bunga Rossiyada A.D.Arxangelskiy, N.S. Shatskiy, V.V. Belousov, A.V. Peyve, A.L. Yanshin, N.A. Bogdanov, M.V. Muratov; horijda – G. Shtille, Dj. Key, J. Obuen va b.lar diqqatlarini qaratganlar.

1945-y. A.V. Peyve geologiya nazariyasi va amaliyotiga katta ta'sir o'tkazgan «chuqur uzillar» («глубинные разломы») ta'limotni ilgari surdi.

XX asrning 30-yillaridan geotektonika alohida dars sifatida avval Leningrad (Sant-Peterburg) tog'-kon institutida (M.M. Tetyayev), so'ng Moskva geologiya-razvedka institutida (E.V. Milanovskiy) o'qitila boshlandi. 1934-y. geotektonika bo'yicha birinchi darslik nashr etiladi (muallif M.M. Tetyaev). Shu davrdan boshlab geotektonika mustaqil fan maqomiga ega bo'lib, Yer haqidagi ilmlar orasidagi o'zining mavqeiga va o'rniga ega bo'ldi. Ammo geotektonika uzoq tarixiy yo'lni bosib o'tishiga, inqiroz va tiklanishlar, maqsadli izlanishlarga qaramasdan farazlar doirasidan chiqqa olmadi.

2.7. Geotektonika tarixida birinchi nazariyaning paydo bo'lishi – inqilobiy bosqich (XX a.ning ikkinchi yarmi)

Bu davr Dunyo okeani va yer qobig'i haqida printsipial yangi, shu jumladan umuman Yerning fizik xususiyatlari haqidagi ma'lumot-larning, paydo bo'lishi bilan ajralib turadi. Bu ma'lumotlar asosida geologiya ilmida yangi rahbariy konsepsiya – *neomobilizm - yangi global tektonika* (1962–1968-y.y.) vujudga keldi.

XX asrning 80-y.larida seysmik tomografiya Yer mantiyasida zichlikning turliligini aniqladi. Bu esa mantiya moddalarining ko'tarilayotgan (bo'shashgan) va pastlashayotgan (zichlashgan) oqimini mavjudligi haqidagi g'oyani tasdiqladi. Yangi global tektonika o'zining geologiyadagi peshqadamlik mavqeini mustah-kamladi va nazariya darajasiga ko'tarila boshladi. *Bu konsepsiya*

ta'sirida barcha geologiya, shu jumladan foydali qazilmalar – neft va gaz, ruda geologiyasi qaytadan ko'рила boshlandi.

Geosinklinallar haqidagi klassik ta'limot keskin tanqid ostiga olina boshlandi. Umidsiz eskirgan va tubdan hatto sanalib, o'tmishdagi geosinklinallar ta'limoti yaratgan ilmiy merosdan voz kechish kerak degan «hayqiriq» va shiorlar ilmiy sahifalarda yangray boshladi.

Ushbu darslik muallifi (A.A.Abidov) XX asrning 80-yillarining ikkinchi yarmida bunday yondashish xatoligini, klassika merosidan voz kechishlik boshi berk ko'chaga tadqiqotchini yetaklashini va eski bilan yangining uyg'unlashgan metodologiyasiga asoslanish lozimligini ko'rsatib, bunday metodologiyani turli tipdagi (geosinklinal va platformalardagi, o'tish geostrukturalaridagi) Dunyo neftgazli hududlari va akvatoriyalarining tahlili asosida ishlab chiqishga muayassar bo'ldi.

Geosinklinallarning klassik ta'limoti va zamonaviy litosfera plitalari tektonikasi konsepsiyasining farqlari haqida to'xtalmasdan, shuni ta'kidlash lozimki yangi nazariya geosinklinallarning tuzilishini o'zgartirgani yo'q, faqat uning hosil bo'lishi va shakllanishini yangi mexanizmlar asosida ochib berdi.

2.8. Global geodinamikaning vujudga kelishi – zamonaviy bosqich (XXI asrning birinchi o'n yilligi)

Geotektonika tarixidagi zamonaviy bosqich litosfera plitalari klassik konsepsiyasining mustahkamlanishi, yangi ma'lumotlar bilan boyishi va Yer qobig'i hamda umuman litosfera evolyutsiyasida ostki mantiya, hatto yadrodagi jarayonlar ishtirok etishligi isbot qilinganligi, konsepsiya nazariya darajasiga ko'tarilishi bilan xarakterlanadi.

Plitalar tektonikasi nazariyasi qatoridan bu nazariyaga quvvat beruvchi «plyum-tektonika» va «yadro «o'sishi» konsepsiyalari geotektonika peshahnasiga chiqib keldi va o'zlarining mantiqiy o'rinlariga ega bo'ldi. Bu nazariya va «plyum-tektonika» hamda «yadro o'sishi» konsepsiyalari birlashgan holda, Yer haqidagi ilmlarning yaxlit bir tizimini tashkil etdi va yangi ilmiy yo'nalish yaratildi. Yer ilmidagi bu yangi yo'nalish «global geodinamika» nomi bilan yuritila boshlandi.

Shunday qilib, geotektonika o'zining ko'p asrlik tarixi davomida birinchi bor farazlar va konsepsiyalar doirasidan chiqishga muvassar bo'ldi. Natijada, geotektonika tarixida birinchi ilmiy nazariya yaratildi. Bu nazariya fanda «Yangi global tektonika», keyinchalik «litosfera plitalari tektonikasi» yoki «plitalar tektonikasi» nomlari bilan yuritila boshlandi va uning asosiga Yer ilmida yaratilgan kashfiyotlar natijalari qo'yildi.

Tayanch iboralar

Gipoteza, neptunist, plutonist, geodeziya, geotektonika, evolutsionizm, kontraksiya, fiksizm, mobilizm, neomobilizm.

Nazorat savollari

- 1. Neptunistlar va Plutonistlar farazlarip nimalardan iborat?*
- 2. Yer haqidagi fanlar bilan shug'ullangan qanday O'rta Osiyo olimlarini bilasiz?*
- 3. «Uyg'onish davri» olimlaridan kimlar Yer haqidagi fanlar bilan shug'ullanganlar?*
- 4. Geologiya qachon fan sifatida shakllandi? Uning asoschilari kimlar?*
- 5. Mobilizm qachon vujudga keldi? Uning mohiyati nimada?*
- 6. Neomobilizm va global geodinamika deganda nimani tushunasiz?*

III BOB. SEYSMOLOGIK MA'LUMOTLAR BO'YICHA YERNING ICHKI TUZILISHI VA HOLATI

Yer ichida to'liqlarning tarqalishi. Yer radiusi bo'ylab ko'ndalang va bo'yama to'liqlar tarqalishi tezliklarini tahlil qilish. Yerning ichki va tashqi yadrosida hajm to'liqlarining tarqalishi.

Seysmologik ma'lumotlar bo'yicha Yer geosferalarining holati. Yer qobig'ida seysmik to'liqlar va ularning tezliklarini taqsimlanishi, seysmologik ma'lumotlar bo'yicha yer qobig'ining turlari. Okean va kontinental yer qobig'i, litosfera va astenosfera.

Zilzilalar, ularning o'chog'i, gipotsentr, epitsentr, epitsentral masofa. Zilzilalar klassifikatsiyasi. Zilzilalarni geografik taqsimlanishi. Zilzila natijasida hosil bo'lgan tebranishlar jadalligini baholash: makroseysmik shkala va 12 balli MSK shkalasi. Zilzilani prognoz qilish, seysmik rayonlashtirish va zilzilabardosh inshootlar. Oy va Marsdagi zilzilalar.

3.1. Kuchlanish modullari va ularning o'zaro bog'liqligi

Elastiklik nazariyasining asosiy tenglamalari O.L. Koshi va S.D. Puassonlar tomonidan XIX asrning 20 - yillarida aniqlangan. Ta'sir etuvchi kuchlarning ta'sirida qattiq jismlar deformatsiyalanadi, ya'ni shakli va hajmini o'zgartiradi.

Izotrop muhitda elastiklik xususiyatlari yo'nalishga bog'liq bo'lmaydi. Elastiklik modullari soni ikkitagacha kamayadi, bular λ va μ - Lamé ko'effitsiyentlari. Bu eng oddiy holda kuchlanishlar komponentalari deformatsiyalar komponentalari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_x = \lambda\theta + 2\mu\gamma_{xx}; \quad \tau_{xy} = \mu\gamma_{xy}; \quad (3.1)$$

$$\sigma_y = \lambda\theta + 2\mu\gamma_{yy}; \quad \tau_{xz} = \mu\gamma_{xz}; \quad (3.2)$$

$$\sigma_z = \lambda\theta + 2\mu\gamma_{zz}; \quad \tau_{yz} = \mu\gamma_{yz}; \quad (3.3)$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}, \text{ bu yerda,}$$

θ – dilatatsiya.

Har xil masalalar yechilayotganda λ va μ bilan birgalikda izotrop muhitni quyidagi elastiklik modullarining beshtasi ifodalaydi:

1. Yung moduli (E), (bo‘ylama cho‘zilish moduli) jismning cho‘zilishi yoki bo‘ylama siqilishiga qarshiligini ko‘rsatadi.

2. Puasson koeffitsiyenti (σ) – o‘zak (sterjen) cho‘zilishi yoki siqilishi natijasida hosil bo‘ladigan ko‘ndalang deformatsiyaning bo‘ylama deformatsiyaga nisbati ko‘rsatkichi.

3. Har taraflama (hajmiy) siqilish moduli (K) – hajmiy deformatsiya (dilatatsiya) bilan har taraflama bir xilda berilgan bosim orasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi.

4. Siljish moduli (μ) – siljish ta’sirida jismning shakli o‘zgarishini ifodalaydi. Bunda urinma kuchi ta’sirida jismning shakli va to‘g‘ri burchaklari o‘zgaradi, hajmi esa o‘zgarmaydi.

5. λ moduli – siqilish – kengayish deformatsiyalari va normal kuchlanishlarni ifodalovchi tenglamalarda dilatatsiya koeffitsiyenti. Suyuq va gazsimon muhitlarda, ya’ni siljish moduli ($\mu = 0$) bo‘lganda, λ moduli qiymati har taraflama siqilish moduli (K) ga teng bo‘ladi.

Quyida izotrop muhit uchun yuqoridagi modullarning o‘zaro bog‘liqligining asosiy tenglamalari berilgan:

$$K = \frac{1}{3} \frac{E}{1-2\sigma} = \frac{2\mu(1+\sigma)}{3(1-2\sigma)} = \lambda + \frac{2}{3}\mu; \quad (3.4)$$

$$\mu = \frac{1}{2} \frac{E}{1+\sigma} = \frac{3K(1-2\sigma)}{2(1+\sigma)} = \frac{3}{2}(K - \lambda) = \frac{\lambda(1-2\sigma)}{2\sigma}; \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{\sigma E}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} = \frac{3K\sigma}{1+\sigma} = K - \frac{2}{3}\mu = \frac{2\sigma\mu}{1-2\sigma}. \quad (3.6)$$

Bulardan E va σ qiymatlarini topish mumkin.

X, Y, Z orqali dV elementar hajmga ta’sir etayotgan kuchlarni belgilaylik, j_x, j_y, j_z – inersiya kuchlari qo‘zg‘agan dV hajmning og‘irlik markazi tezlanishining koordinata o‘qlari bo‘yicha proektsiyasi

bo'lsin. Dalamber prinsipiga asosan, ta'sir etuvchi kuchlar tezlanishga proporsionaldir.

Hajm elementi muvozanat holatida izotrop muhit uchun har qanday kuchlar maydoni quyidagicha ifodalanadi:

$$((\lambda+\mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \rho X = \rho \frac{d^2 u}{dt^2}; \quad (3.7)$$

$$(\lambda+\mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \rho Y = \rho \frac{d^2 v}{dt^2}; \quad (3.8)$$

$$(\lambda+\mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + \rho Z = \rho \frac{d^2 w}{dt^2}; \quad (3.9)$$

$$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} - \text{Laplas operatori.} \quad (3.10)$$

Tashqi kuchlar yo'q bo'lsa, ya'ni faqat tebranish harakatlari natijasida hosil bo'lgan inersiya kuchlari ta'sir qilayotgan bo'lsa, $X = Y = Z = 0$, oddiy almashtirishlardan so'ng ikkita fundamental tenglamaga ega bo'lamiz.

$$\nabla^2 \vec{u} = \frac{1}{v_p^2} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t^2}; \quad (3.11)$$

$$\nabla^2 \vec{u} = \frac{1}{v_s^2} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t^2}. \quad (3.12)$$

Birinchi tenglama bo'ylama (kompression) to'lqinlarni, ikkinchisi ko'ndalang (siljish) to'lqinlarining tarqalishini ifodalaydi. Elastiklik parametrlari va zichlik orqali bu to'lqinlar tezliklari quyidagicha bo'ladi:

$$v_p = \sqrt{\frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho}}; \quad (3.13)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3.14)$$

Ularning nisbati faqat Puasson koeffitsiyentiga bog'liq bo'ladi:

$$\frac{v_s}{v_p} = \gamma = \sqrt{\frac{(1-2\sigma)}{2(1-\sigma)}} \quad (3.15)$$

Bundan, Guk qonuni bajarilayotgan tutash muhitlarda, $\frac{v_s}{v_p}$ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ($\sigma \geq 0$) dan katta bo'la olmaydi.

Inersiya kuchlari natijasida hosil bo'lgan, ko'ndalang va bo'yлама to'lqinlar hajmiy to'lqinlar deyiladi.

3.2. Seysmik to'lqinlar tarqalishining o'ziga xos xususiyatlari

Seysmik to'lqinlarning tog' jinslarida tarqalish qonunlari geometrik optikaning Gyuygens, Ferma, Snellius nuqtai nazarlariga asoslangan.

Gyuygens nuqtai nazariga binoan to'lqin frontining har bir nuqtasini mustaqil tebranish manbai, ya'ni ikkilamchi to'lqin manbai deb hisoblash mumkin: bunga asosan berilgan to'lqin frontining ayrim holatlariga qarab, boshqa holatdagi to'lqin frontini belgilash mumkin.

Ferma nuqtai nazariga binoan ikkita nuqta orasida to'lqin eng kichik qarshilik etuvchi yo'l bo'ylab tarqaladi, ya'ni eng qisqa vaqt sarf qiladigan yo'lni bosib o'tadi. Uning fikriga asosan (izotrop) muhitlarda seysmik nur to'g'ri chiziqdan iborat, chunki ularda tezlik doimo bir xil. Gradientli muhitlarda (tezlik asta-sekin uzluksiz o'zgarib turganda) seysmik nur egri chiziq holiga keladi.

Superpozitsiya nuqtai nazari. Muhitda bir necha to'lqin bir vaqtning o'zida tarqalganda ularning har biri huddi boshqalari yo'qdek harakat qiladi. Lekin to'lqinlar muhitning biror nuqtasiga bir

vaqtda yetib kelganda, zarralarning tebranishlari to'liqlarning bir-biriga ustma-ust tushish natijasidek namoyon bo'ladi (interferensiya kuzatiladi).

O'zaro bog'liqlik nuqtai nazari. Agar seysmik tebranishni qo'zg'atuvchi va qabul qiluvchi manbalarning joylarini o'zaro almashtirilsa, unda shu nuqtalarda kuzatish vaqti, to'liqning shakli va zarralarning tebranish sifati o'zgarmaydi.

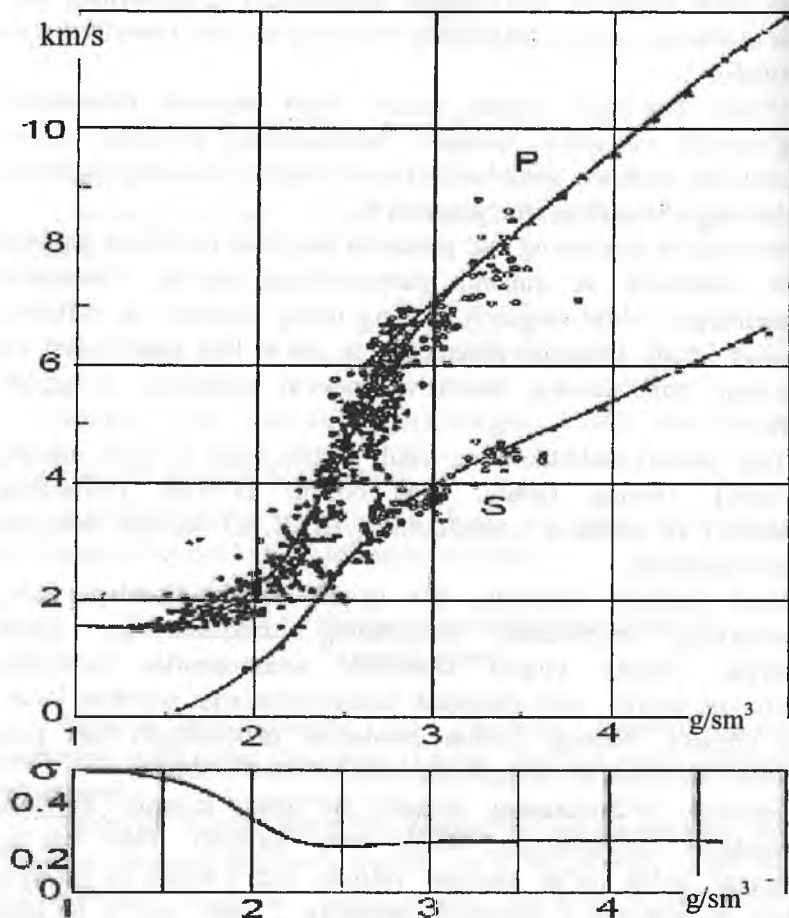
Seysmik to'liqlarning tog' jinslarida tarqalishi murakkab jarayon bo'lib, kinematik va dinamik parametrlarga bog'liq. Kinematik parametrlarga to'liq tarqalish vaqtini, uning frontlari va nurlarini o'rganish kiradi. Dinamik parametrlarga esa to'liq amplitudasi va energiyasi, impulslarning shakli va spektral xossalarini o'rganish kiradi.

Tog' jinslari zichliklarining oshib borishi bilan tezliklar oshadi. (3.1-rasm). Buning sababi, tog' bosimi ta'sirida jinslarning zichlashuvi va elastiklik modullarining (E , K , μ) sezilarli darajada oshishi kuzatiladi.

Real geologik muhitda, har qanday qattiq jismdagi kabi, to'liqlarning amplitudasi masofaning uzoqlashishiga qarab kamayadi. Bunda yuqori chastotali komponentlar to'liqlar dispersiyasi tufayli, past chastotali komponentlarga nisbatan kuchliroq yutiladi. Shuning uchun manbadan uzoqlashgan sari past chastotali impulslar seysmogrammalarda ko'paya boshlaydi.

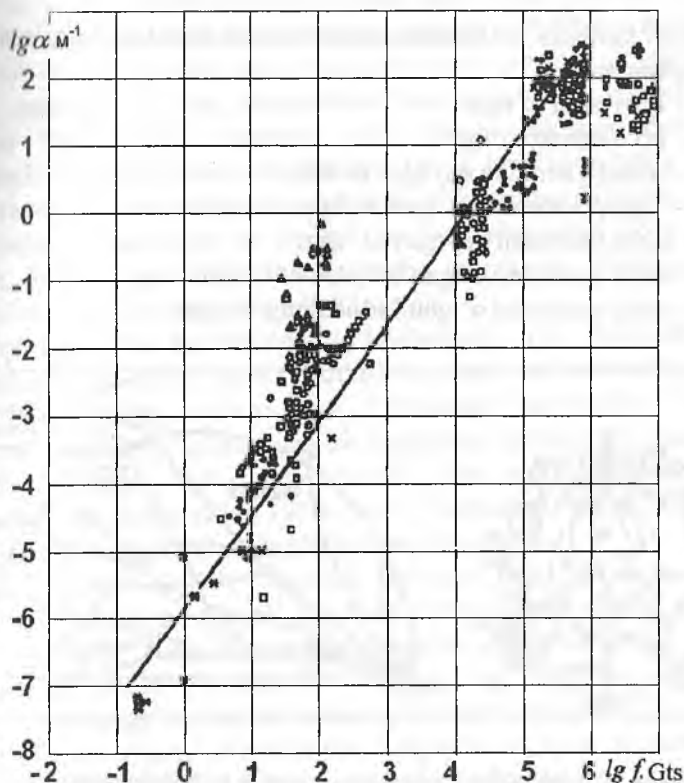
Seysmik to'liqlarning masofa bo'yicha so'nishi seysmik chegaralarda to'liqlarning sinishi yoki qaytishi bilan bog'liq bo'lmagan holda, ya'ni xususan yutilish, $\exp[-\alpha(f)r]$ ko'rinishda bo'ladi, bu yerda α – tebranish chastotasi f dan bog'liq bo'lgan yutilish koeffitsiyenti, r – to'liq bosib o'tgan masofa.

Tajribalarning ko'rsatishicha, keng diapazonda yutilish koeffitsiyenti to'liqning chastotasi bilan chiziqli bog'liq (3.2-rasmda bo'ylama to'liqlarning tog' jinslarida yutilishining seysmologik (-2 – -1), seysmorazvedka (0 – 2), akustik karotaj va laboratoriya ma'lumotlari (4–7) bo'yicha natijalari ko'rsatilgan).



3.1-rasm. Har xil tog' jinslari uchun V_p va V_s tezliklarning zichlikka va Puasson koeffitsiyentiga (σ) bog'liqligi (Puzirev, 1997).

Yutilish koeffitsiyenti α bilan (σ 'lchami m^{-1}) birga, seysmikada o'lchamsiz yutilish parametri Q (dobrotnost – sifatlilik, mustahkamlik) kiritilgan. α bilan Q orsida quyidagicha bog'liqlik bor: $Q = \pi f / V\alpha = \pi / \lambda\alpha$.



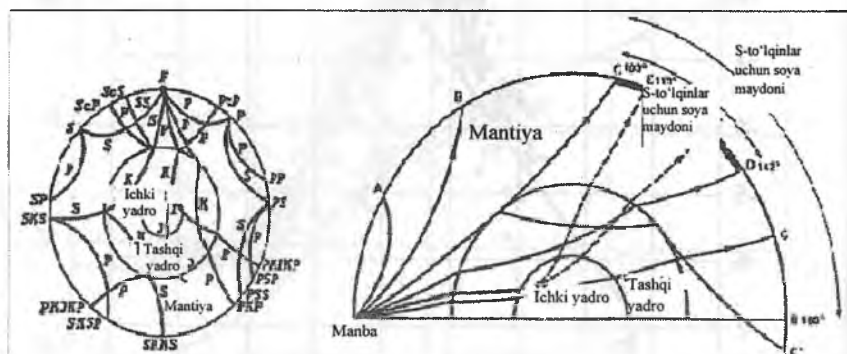
3.2-rasm. Har xil litologik tarkibga ega tog' jinslarining yutilish koeffitsiyentining to'liqin chastotasiga bog'liqligi (Puzirev, 1997).

3.3. Yer radiusi bo'ylab ko'ndalang va bo'ylama to'liqlarning tarqalishi

Kuchli zilzila natijasida hosil bo'lgan hajm to'liqlari Yerni xuddi ichidan yoritgandek barcha qatlamlaridan kesib o'tadi va qaytariladi. Lekin geometrik optika qonunlaridan farqli o'laroq, Yer moddasining tarkibi va undagi tezliklarning har xilligi sababli bu to'liqlar egri chiziq bo'ylab tarqaladi (3.3-rasm).

Bu to'liqlarni bir-biridan ajratish uchun quyidagi belgilashlar qabul qilingan:

- P – bo'ylama to'liqin;
- S – ko'ndalang to'liqin;
- c – tashqi yadrodan qaytgan to'liqin;
- K – tashqi yadrodan o'tgan to'liqin;
- i – ichki yadrodan qaytgan to'liqin;
- I – ichki yadrodan o'tgan bo'ylama to'liqin;
- J – ichki yadrodan o'tgan ko'ndalang to'liqin.



3.3-rasm. *F* manbadan tarqalgan seysmik to'liqlarning Yer ichida tarqalishi

Masalan, PKiKP belgi bo'ylama to'liqinning tashqi suyuq yadrodan o'tib, ichki yadrodan qaytib, yana tashqi yadrodan o'tib bo'ylama to'liqin sifatida Yer yuzasiga yetib kelganini bildiradi. Yerdagi chegaralardan o'tganda to'liqlar turini o'zgartirishi mumkin, ya'ni bo'ylama to'liqin ko'ndalang to'liqiga almashinishi va hokazo (SP, PS, PcS).

1906-yilda seysmologlar birinchi marta Yerning yadrosini aniqlashgan, 1914-yilda esa Gutenberg Yer yadrosi chuqurligini (2885 km) seysmik ma'lumotlar bo'yicha hisoblab chiqqan.

Tashqi yadro chegarasida bo'ylama to'liqinning tezligi 13,6 km/s dan keskinlik bilan 8,1 km/s gacha pasayadi. Ko'ndalang to'liqin esa tashqi yadroda umuman tarqalmaydi. Bunday holat esa tashqi yadroning suyuq holda ekanligidan dalolat beradi.

1936-yilda Daniyalik olimi Leman qattiq ichki yadroni ajratadi. Leman hisobi bo'yicha ichki yadroning chuqurligi 5000 km atrofida.

1909-yilda yugoslav olimi Moxorovichich seysmik to'liqlarning tezligi tahminan 35 km chuqurlikda keskin oshishini aniqladi. Bu chegara Yer qobig'i chegarasi yoki Moxo chegarasi deb atala boshlandi. Okeanlar ostida bu chegara 10–15 km chuqurlikda yotadi, tog'li rayonlarda esa uning chuqurligi 50–80km ni tashkil etadi.

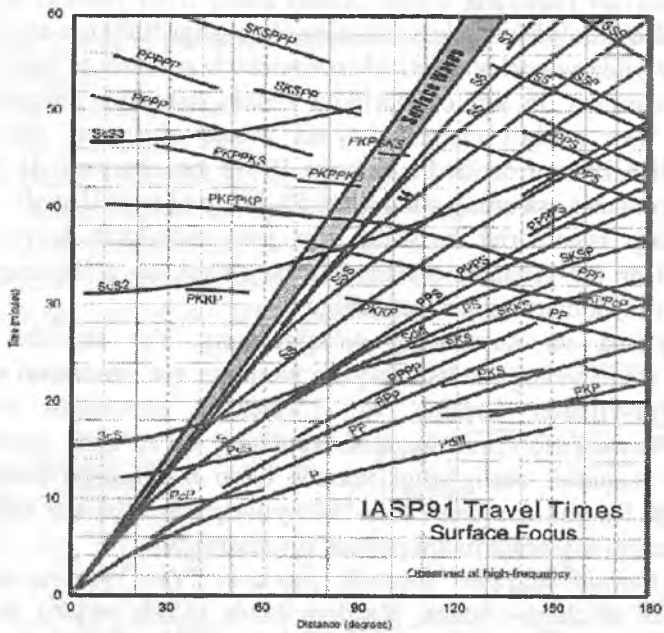
Hozirgi tasavvurlar bo'yicha Yer juda murakkab ko'p sferali obyekt. Har bir geosfera o'ziga yarasha murakkab strukturaga va geofizik maydonlarning ko'rsatkichiga ega.

Bo'ylama va ko'ndalang to'liqlarning Yer sharidan o'tib seysmik stantsiyalarga kelish vaqtlari haqidagi ma'lumotlarni yig'ish 1908–1911-yillarda Seprins va E.Vixertlar tomonidan birinchi godograflarning (to'liqinni kuzatish vaqtining qo'zg'atish manbai va kuzatish nuqtalari oralig'idagi masofa bilan bog'liqligi) tuzilishiga olib keldi. Bu godografdan 1930–1940-yillargacha zilzilalar epitsentri va epitsentral masofalarni aniqlashda foydalanilgan.

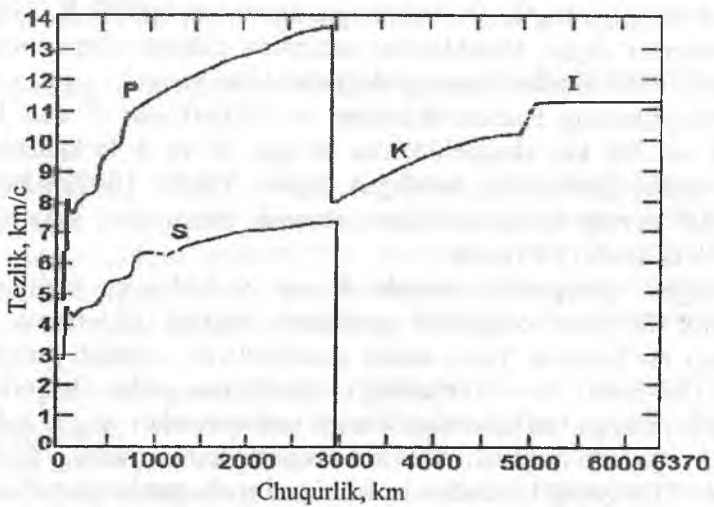
B.B.Golisin (1960) seysmik nurlarni Yer yuziga chiqish burchagini o'lchash orqali ularning yetib kelish vaqtini aniqlash metodini ishlab chiqdi. Bo'ylama to'liqlar godografi bunda nurning Yer yuziga chiqishi tuyuluvchi burchagi va ko'ndalang to'liqlar tarqalish tezligiga bog'liq. Ko'ndalang to'liqlar tezligini B.B.Golitsin kuzatuvlardan olgan. Hisoblashlar natijasida olingan eksperimental godograf 1940-yillarda olingan godograflar bilan yaqin.

1950-yillarning boshida K.Bullen va G.Djeffrislar 0° dan 180° masofa va 700 km chuqurlikkacha bo'lgan R va S to'liqlarning kelish vaqtlari jadvallarini tuzishgan (Rixter, 1963). Djeffris-Bullen godografi hozirgi kungacha jahon seysmik stansiyalari tomonidan ishlatilib kelinadi (3.4-rasm).

Olingan godograflar asosida P va S to'liqlar tezligining chuqurlik bo'yicha o'zgarishi grafiklari tuziladi (3.5-rasm). Bu rasmdagi ma'lumotlar Yerni asosiy geosferalarini ajratish imkonini beradi (3.6-rasm): *A* – Yer qobig'i, 30–40 km gacha chuqurlikda ajratiladi va unga tezliklarning birinchi maksimumlari to'g'ri keladi; mantiya – *V*, *S* va *D* qatlar, 2900 km chuqurlikkacha; yadro – *E*, *F* va *G* qatlar. Yer qobig'i, mantiya va ichki yadro chegaralariga bo'ylama va ko'ndalang to'liqlar tezligining keskin o'zgarishlari to'g'ri keladi.

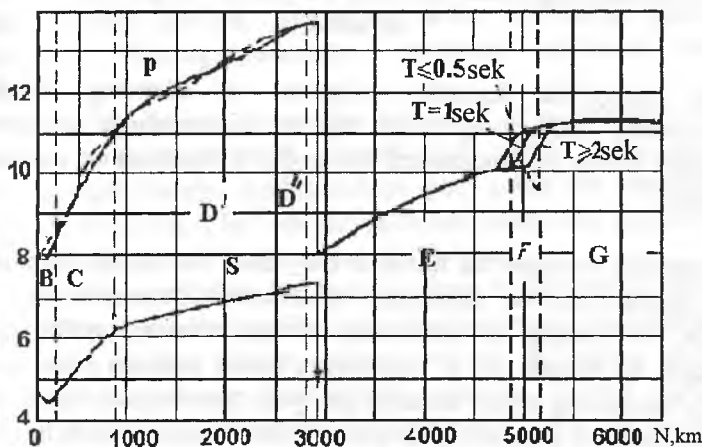


3.4-rasm. Djeffris – Bullen godografi



3.5-rasm. Bo 'ylama va ko 'ndalang to 'lqinlarning Yerda tarqalishi

$V_s, V_p, \text{ km/sek}$



3.6-rasm. Yerning asosiy qatlari

V qat o'z tarkibiga tezliklari minimum bo'lgan 200 km chuqurlikka cho'zilgan zonani qamrab oladi. S qatida tezliklar 900 km chuqurlikka tez ortib borib, shu yerdan uning grafigi buriladi va tezlikni oshish gradienti kamayadi.

3.4. Yerning ichki va tashqi yadrosida hajm to'liqlarining tarqalishi

Yer yadrosi va mantiyasi orasidagi chegara aniq chegara hisoblanadi va bu chegaraning aniqligi $R_s R$ va $S_c S$ qaytgan to'liqlar jadalligi bilan isbotlanadi. Seysmik nurlar vertikal tushganda nurlarni qaytarish sharti quyidagicha bo'ladi:

$$\left| 2\pi \frac{\delta}{T} \frac{1}{\Delta V} \right| \ll 1 \quad (3.16)$$

bu yerda, δ – bir muhitdan boshqa muhitga o'tish qatlarning qalinligi, ΔV – muhitlardagi tezliklar farqi, T – tebranishlar davri. Masalan, yadro chegarasi va bo'ylama to'liqlar uchun $\Delta V = 5,5$ km/sek, $T \approx 10$ sek. Demak, o'tish qatlarning qalinligi $\delta \ll 10$ km bo'ladi.

3.5. Seysmologik ma'lumotlar bo'yicha Yer geosferalarini ajratish

Yer qobig'ida seysmik to'lqinlar va ularning tezliklarini taqsimlanishi, yer qobig'ining turlari (seysmologik ma'lumotlar bo'yicha): okean va kontinental Yer qobig'i; litosfera va astenosfera yoritilgan

Yuqorida berilgan ma'lumotlar bo'yicha, Yer asosiy sferalarining holati haqida ba'zi bir xulosalarni shakllantirish mumkin. V , S va D qatlarda ko'ndalang to'lqinlarning o'tishi ularning qattiq holatda ekanligini ko'rsatadi. Bu to'lqinlarning tashqi yadroda kuzatilmagani (E qat), bu qatning suyuq holatdalgini yoki u yerda juda kuchli to'lqin yutilishi jarayoni mavjudligini taxmin qilsa bo'ladi. Lekin bu yutilish jinslarning ichki ishqalinishidan hosil bo'ladigan samara emasligi aniq.

Turli chuqurlikdagi V_p va V_s tezliklarni bilish Yerning muhim mexanik parametrlarini aniqlash imkonini beradi:

$$V_s^2 = \frac{\mu}{\rho}; \quad (3.17)$$

$$\frac{K_s}{\rho} = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 = F; \quad (3.18)$$

$$\frac{K_s}{\mu} = \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - \frac{4}{3}; \quad (3.19)$$

$$\sigma = \frac{1 - \frac{2\mu}{3K}}{2 + \frac{2\mu}{3K}} \quad (3.20)$$

bu yerda, K_s – adiabatik siqilish moduli, σ – Puasson koeffitsiyenti. Yuqoridagi tenglamalarni tahlil qilish quyidagi xulosalarga olib keladi.

S qatni bir jinsli deb bo'lmaydi. Bu qatda jinslarning kimyoviy tarkibi o'zgaradi yoki fazaviy o'zgarishlar sodir bo'ladi. Ikkala hol ham kuzatilishi mumkin.

Yuqori mantiya (V qat) ham bir jinsli emas, u dunit, peridotit va eklogitlardan tarkib topgan.

Yer sferalaridagi bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar tezliklari, ularning boshqa geofizik parametrlar bilan bog'liqligi, qatlarning xususiyatlari Yerning parametrik modellari bo'limida kengroq yoritilgan.

1925-yilda Konrad tomonidan bo'ylama to'lqinlarning yana bir fazasi aniqlanib, bu seysmik chegara ham xuddi Moxo chegarasi singari deyarli barcha hududlardagi yer qobig'ida seysmologlar tomonidan ajratiladi. Bu chegara *Konrad chegarasi* nomini olgan bo'lib, u granit qatidan bazalt qatini ajratib turadi.

Zilzila va portlashlardan hosil bo'lgan to'lqinlarning tarqalishi so'nggi yillarda jadal o'rganilmoqda. Bunda singan («perelomlennыx voln») va qaytgan («otrajennыx voln») to'lqinlar metodlari qo'llanilgan izlanishlar natijalarini quyida ko'rib chiqamiz. Tadqiqotchilarning kuzatishlari natijasida bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarning tezliklari: granitda – $V_p = 4,0 - 5,7$ km/s, $V_s = 2,1 - 3,4$ km/s; bazaltda – $V_p = 5,4 - 6,4$ km/s, $V_s = 3,2$ km/s; gabbroda – $V_p = 6,4 - 6,7$ km/s, $V_s = 3,5$ km/s; dunitda – $V_p = 7,4$ km/s, $V_s = 3,8$ km/s; eklogitda – $V_p = 8,0$ km/s, $V_s = 4,3$ km/s.

Bulardan tashqari granit qatning o'zida ba'zi bir hududlarda to'lqinlarning tezliklari va qat ichidagi chegaralar bir-biridan farq qiladi. Okean ostida, shelfdan keyin granit qatning o'zi mavjud emas. Kontinentlarda granit qatning quyi chegarasi Konrad chegarasiga to'g'ri keladi.

Hozirgi kunda Moxo va Konrad chegaralari aniq ko'rsatkichlarga ega. Bir qancha kontinental oblastlar uchun bo'ylama to'lqinlar tezliklari 6,5 km/s dan 7,0 km/s gacha, 7,0 km/s dan 7,5 km/s gacha. Diorit va gabbro qatlari mavjud bo'lib, ularning tezliklari $V_p = 6,1$ km/s va gabbroda $V_p = 7,0$ km/s. Okeanlar ostida Moxo chegarasi 10 km chuqurlikda yotadi. Ko'p kontinentlar uchun Moxo chegarasining chuqurligi platformalarda 35–40 km, tog'li rayonlarda esa 50 km va undan yuqori. Tog'li rayonlarda Moxo chegarasi chuqurroq joylashgan (tog' ildizlari). Bu tog' ildizlari birinchi bor gravitatsion ma'lumotlar asosida aniqlangan.

Yer qobig'i qobiq osti jinslaridan tuzilishi va kimyoviy tarkibi bilan farqlanadi. Yer qobig'i mantiya litosferasidan Moxo chegarasi bilan ajralib turadi. Bu yerda seysmik tezliklar sakrab, keskin 8,0 – 8,2 km/s gacha o'zgaradi. Yer qobig'ining yuzasi har xil yo'nalishli tektonik harakatlarning ta'siri natijasida relyefning hosil bo'lishiga,

so'ng denudatsiyalarning ta'sirida ushbu relyefning yemirilishi va cho'kindi yig'ilishi hisobiga o'zgarib turadi. Natijada doimo shakllanayotgan va tekislanayotgan Yer qobig'ining yuzasi juda murakkab. Relyefning maksimal farqlari hozirgi tektonik faollik yuqori joylarda kuzatiladi. Masalan, Peru-Chili okean chuqur novi va And tog'lari orasidagi relyefning farqi 16–17 km ni tashkil etadi. Litosfera plitalarining to'qnashuvi (subduksiya, kolliziya zonalari) joylarida, masalan, Alp-Himolay alpiy burmahanligi (neotetis) mintaqalarida bu farq 7 – 8 km ni tashkil etadi.

Okean turidagi yer qobig'ining tarkibi soddaroq tuzilishga ega. Uning kesimida uchta asosiy qat ajratiladi. Ulardan birinchisi, cho'kindi qat. Bu qat asosan karbonat cho'kindilardan tarkib topib, 4,0–4,5 km chuqurlikkacha tarqalgan. Bundan chuqurroqda karbonatsiz chuqur suvlarda hosil bo'lgan qizil gillar va kremniyli illar tarqalgan.

Ikkinchi bazalt qati, toleit tarkibli bazalt lavalardan tarkib topgan. Seysmik ma'lumotlar bo'yicha okean qobig'ining bazalt qati 1,5 – 2 km ni tashkil etadi. Okean qobig'ining gabbro serpinit qati 4,5 – 5 km ga yetadi. Shunday qilib, okean qobig'i cho'kindi qatsiz 6,5 – 7 km ni tashkil qiladi. Pastdan okean qobig'i yuqori mantiyaning kristallik jinslari bilan to'shalgan. O'rta okean tizmalari cho'qqilari ostida okean qobig'i mantiyadan ajralib chiqqan bazalt lavalari o'choqlari ustida joylashgan.

Okean qobig'i o'rta okean tizmalari rift zonalarda ro'y berayotgan jarayonlar natijasida, qaynoq mantiyadan ajralayotgan bazalt eritmalarining separatsiyasi natijasida hosil bo'ladi. Har yili bu zonalarda astenosferadan ko'tarilib, okean tubiga 5 – 6 km³ bazalt eritmali quyilib, okeanning ikkinchi qobig'ini tashkil etadi. Bu ulkan tektonomagmatik jarayonlar, o'rta okean tizmalarida doimiy ravishda kechib, yuqori seysmiklikni keltirib chiqaradi. Kontinentlarda bunday holatlar mavjud emas.

Kontinental turdagi yer qobig'ining tarkibi va tuzilishi okean qobig'idan tubdan farq qiladi. Uning qalinligi orollar yoyida va o'tish zonalarda 20 – 25 km dan Yerning yosh burmahan o'likalari Andlar, Alp – Himolay neotetis mintaqalarida 80 km gacha yetadi. Qadimgi platformalarda yer qobig'ining qalinligi o'rtacha 40 km ni tashkil etadi.

Kontinental qobiqning tuzilishi bir jinsli emas, ayniqsa platformalarda uchta asosiy qat ajratiladi: yuqori cho'kindi qoplam va granit va bazalt qatlari. Cho'kindi qatning qalinligi qadimgi platfor-

mularning qalqon qismlarida (shitlarda) 0 km dan kontinentlarning aust chekkalarida 10 – 12km va hatto 15km gacha yetishi mumkin. Proterozoy platformalarida cho‘kindilarning o‘rtacha qalinligi 2 – 3 km ni tashkil etib, ularning tarkibi gilsimon yotqiziqalar va karbonat jinslardan iborat.

Konsolidatsiyalashgan (jipslashgan) kontinental qobiqning yuqori qismi asosan tokembriy jinslaridan tashkil topgan. Bu qat «granit» qati nomini olgan. Ya’ni, bu nom bilan ushbu qat kesimi jinslarida granit tashkil etuvchi qatorning bazalt qatoridan ustivorligi ta’kidlanadi.

Yer qobig‘ining yanada chuqurroq qismida (15 – 20 km atrofida) ko‘p hollarda bo‘ylama to‘lqinlarning tezliklari keskin 0,5 km/s ga oshadi. Bu Konrad chegarasi bo‘lib, undan quyida «bazalt» qati yotadi. Ba’zi joylarda Konrad chegarasi ajratilmaydi, ya’ni seysmik to‘lqinlar tezliklari keskin oshmaydi.

Litosfera va astenosfera. Yerning yuqori mantiyasi seysmik va boshqa geofizik metodlar bilan ancha yaxshi o‘rganilgan. Yuqori mantiya Moxo chegarasidan boshlab 400 km chuqurlikkacha tarqalgan. Litosfera Yerning yuqori qattiq tosh qatlami. Uning qalinligi Yer sharining turli o‘lkalarida 50 – 150 km gacha o‘zgaradi. Litosfera Yer qobig‘i va yuqori mantiyaning ustki qismini o‘z ichiga oladi, bu yerda mantiya moddasi sovishga ulgurib qattiq tog‘ jinsiga aylanib bo‘lgan.

Litosferadan chuqurroqda past tezlikli zona mavjud. Bu zona litosferaning quyi chegarasidan 300 – 400 km gacha tarqalib astenosfera qati nomini olgan. Astenosfera moddalari siljish kuchlanishlari ta’sirida qayishqoqligi tufayli yengil deformatsiyalanadi. Moddaning o‘zini bunday tutishi astenosferada tog‘ jinslari bir muncha erigani sabablidir. Astenosfera qatidan ko‘ndalang to‘lqinlarning o‘tishi bu yerdagi moddalarning erishi qismanligini va moddaning o‘zi deyarli qattiq holatda ekanini ko‘rsatadi. Yerish protsenti ba’zi ma’lumotlar bo‘yicha 20% gacha yetishi mumkin. Astenosferaning bu holati ko‘ndalang to‘lqinlarning kuchli yutilishiga olib keladi.

Litosfera chuqurligi bo‘yicha va gorizontol (lateral) yo‘nalishda har xil tarkibga va xususiyatga ega. Litosferaning asosiy strukturasi Yer sathi tuzilishiga qarab tushunsa bo‘ladi. Birinchi qarashda, Yer yuzi okean sathidan yuqori bo‘lgan kontinental hudud va okean

sathidan past bo'lgan botiqlikdan iborat. Kontinental hududga shelf, kontinental qiyalik kiradi, kontinental qiyalik tugashi bilan okean qobig'i boshlanadi. Okeanlarda «sochilib ketgan» orollar, orollar zanjirlari, orollar yoylari mustaqil strukturalardir. Ularning o'ziga xos tuzilishi va geologik rivojlanish tarixi mavjud.



3.7-rasm. *Yer sharida seysmik faollikning tarqalganligi (seysmik faol mintaqalar nuqtalar bilan ko'rsatilgan)*

Agar, Yer sharini suv qatlamisiz tasavvur qilinsa, okean tubida tog' tizmalari va keng tekisliklarni ko'rish mumkin. O'rta-okean tizmalari va chuqur okean novlari ko'p joylarida transform uzilmalar bilan murakkablashgan. O'rta-okean tizmalari va chuqur okean novlari hamda transform uzilmalar litosfera yaxlitligini buzib, uni turli bo'laklarga ajratgan. O'rta-okean tizmalari va chuqur okean novlari hamda transform uzilmalar Yer sharining seysmik faol mintaqalari hisoblanadi (3.7-rasm).

3.6. Zilzilalar va ularning fizik xususiyatlari

Zilzilalar, ularning o'chog'i, gipotsentr, epitsentr, epitsentral masofa; zilzilalarni tasniflash (klassifikatsiyasi), geografik tarqalganligi; zilzila natijasida hosil bo'lgan tebranishlar jadalligini

baholash: makroseysmik shkala va 12 balli MSK shkalasi; zilzilani prognoz qilish, seysmik rayonlashtirish va zilzilabardosh qurilish; Oy va Marsdagi zilzilalar bayon qilingan.

Har yili Yerda seysmograflar yuz mingdan ortiq zilzilalarni qayd qiladilar. Insonga shulardan o'n mingga yaqini seziladi, o'nga yaqini esa halokatli natijalarga olib keladi. Bu zilzilalar bir tomondan kuchli talafotlarga olib kelsa, ya'ni ko'plab kishilarning qurbon bo'lishi, iqtisodiy jihatdan vayronagarchilik va hokazo, ikkinchi tomondan geofiziklar uchun Yerning ichki tuzilishini o'rganishda muhim ahamiyat kasb etadi. Geofizika va seysmologiyaning eng dolzarb vazifalaridan biri zilzilalarning sodir bo'lish vaqti va joyini prognoz qilishdir. Bu o'ta murakkab masalaning yechimi aholini zilzila ofatidan muhofaza qilish va qurbonlarni kamaytirishda o'ta muhim ahamiyat kasb etadi. Quyida yaqin II ming yillikda sodir bo'lgan eng talafoti zilzilalar haqidagi ma'lumotlar keltirilgan.

1976-yil 28-iyulda Xitoyning Tanshan shahri yaqinida XX asrning eng kuchli zilzilasi sodir bo'lgan. Zilzila magnitudasi 8,2 ni tashkil etib, juda halokatli oqibatlarini keltirib chiqargan. Uy-joylar va sanoat inshootlari bir zumda vayronaga aylangan, ko'priklar qulab, temir yo'l relslari qiyshayib ketgan, avtostradalar buzilgan, turli mahsulotlar, jumladan, suv uzatuvchi quvurlar yorilgan. Bir yarim million kishi yashaydigan shaharning deyarli yarim aholisi nobud bo'lgan.

1755-yil 1-noyabrda Portugaliyaning poytaxti Lissabonda juda kuchli zilzila ro'y bergan. Paleoseysmodislotsiyalar va tarixiy manbalardan foydalanib hozirgi zamon seysmologlari bu zilzila magnitudasi taxminan 8,6 ga teng bo'lganligi haqida xulosa chiqarishgan. Ertalab soat 9 da yer ostidan gumbirlagan ovoz kelgan va u olti minut davom etgan. Bu uchta eng asosiy zilzilalarning birinchisi edi. Tirik qolgan odamlar vayron bo'layotgan shaharni tark etishga harakat qilishgan. Birinchi yer silkinishidan bir soatcha vaqt o'tgach dengiz ortga chekinib, balandligi 5 – 7 metr bo'lgan sunami to'lqinlari hosil bo'lgan va qirg'oqqa urilgan. To'lqin toshlardan qurilgan qirg'oqbo'yi inshootlarini va shaharning bir qismini, aholisi bilan birga umuman yuvib ketgan. Bu zilzilada 50 000 kishi qurbon bo'lgan.

1906-yil 19-aprelda Kaliforniyada magnitudasi 8,3 bo'lgan kuchli zilzila oqibatida, Yer yuzida kengligi 6 metr, uzunligi esa 450 km bo'lgan yer yorig'i hosil bo'lgan (San – Andreas yer yorig'i). Zilzila uchta asosiy silkinishdan iborat bo'lib, bir minutdan uzoq davom etgan. Gaz uzatgich quvurlar yorilib, yong'in chiqqan va San-Fransisko shaharini ko'p qismi vayron bo'lgan. Qurbonlar soni 700 kishidan ortgan.

1939-yil Turkiyaning Yerinjan shahri yaqinida magnitudasi 7,9 zilzila oqibatida 40 000 kishi halok bo'lgan. Shu vaqtdan beri Turkiyada 20 tacha halokatli zilzila ro'y berib, unda 20 000 dan ortiq kishi qurbon bo'lgan.

1960-yil 22-mayda Chilida juda kuchli zilzila ro'y berib, u Konsepson shaharini vayron qilgan, ko'plab sanoat markazlari Puerto – Mont, Valdiviya va Osorno shaharlarida millionlab chililiklar boshpanasiz qolganlar. Zilzila oqibatidagi sunami Yaponiyagacha yetib borib, u yerda 120 kishi halok bo'lgan.

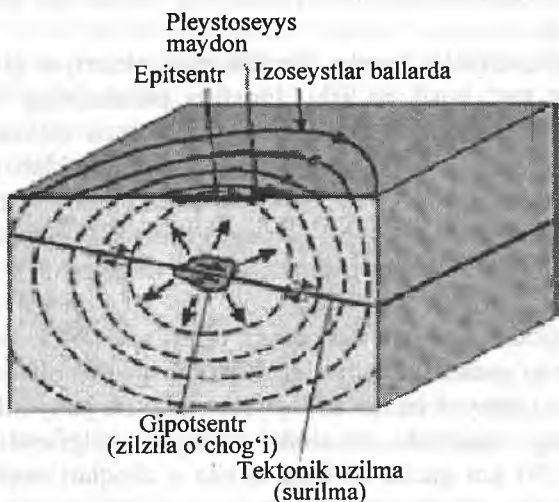
1972-yilda Eronda magnitudasi 7,1 bo'lgan zilzila sodir bo'lgan. Bunda Kir shahri butunlay vayronaga aylanib, 5400 kishi halok bo'lgan. Eron o'ta seysmik faol mintaqada joylashganligi sababli, u yerda tez-tez zilzilalar ro'y berib turadi. 1978-yilda Tebes shahri yaqinida magnitudasi 7,7 bo'lgan zilzila 15 000 kishini umriga zavol bo'lgan. 2003-yil 26-dekabrda magnitudasi 6,6 bo'lgan zilzila natijasida 16 200 kishi halok bo'lgan. Bam shahrining 85 % inshootlari vayronaga aylangan, zilzila jadalligi Rixter shkalasi bo'yicha 9 ballni, Bam yaqinidagi Baravat shahrida 8 ballni tashkil etgan. Zilzila o'chog'ining chuqurligi – 10 km bo'lgan.

2003-yil 27-sentyabrda Rossiyaning Mongoliya bilan chegarasi yaqinida Oltoyda magnitudasi 7,3 zilzila sodir bo'lib, u Novosibirsk, Abakan, Kemerovo va boshqa shaharlarda sezilgan. Zilzila oqibatida kishilar qurbon bo'lgan. Zilzila o'chog'i 16 km chuqurlikda bo'lgan.

Tektonik zilzila o'chog'i deganda, qisqa 1–3 minut oralig'ida yerning biror hajmida yer moddasining yemirilishi (yorilishi) tushuniladi. Amalda shu yoriq bo'ylab yer moddasi bir-biriga nisbatan harakatga keladi. Ushbu harakat ro'y bergan joy gipotsentr deb ataladi.

Aynan mana shu joyda, ya'ni gipotsentrda – zilzila o'chog'idan ancha uzoqlarda vayronagarchiliklarga sabab bo'luvchi seysmik

to'liqlar generatsiyasi (hosil bo'lishi) boshlanadi. Gipotsentrning Yer yuziga proeksiyasi *zilzila epitsentri* deb ataladi (3.8-rasm).



3.8-rasm. Seysmik o'choq parametrlari

O'choqning o'lchamlari va elastik kuchlanishlarning miqdori seysmik to'liqning energiyasi va zilzila magnitudasini belgilaydi. Masalan, magnitudasi 7,0 bo'lgan zilzila o'choqining uzunligi 50 km dan oshadi. O'choqning kattaligini ko'rsatuvchi parametrlardan biri *seysmik moment* – tog' jinslari siljish modulining yoriq maydoni va siljish amplitudasiga ko'paytmasiga teng.

Qatlamlarning siljishiga qarab seysmik o'choqning turi surilish (sdvig), tashlama (sbros), surilma (nadvig) yoki bularning majmuidan (kombinatsiyasidan) iborat murakkab ko'rinishda bo'lishi mumkin.

Seysmik o'choqlar chuqurligi bo'yicha zilzilalar quyidagicha bo'linadi:

- *kichik fokusli* – yer qobig'i ichidagi, taxminan 70 km chuqurlikkacha bo'lgan zilzilalar, ular barcha zilzilalarning 51% ni tashkil etadi;

- *oraliqdagi* – yuqori mantiyada, chuqurligi 70 – 300 km gacha, ular barcha zilzilalarning 36% ni tashkil qiladi;

• *chuqur fokusli* – chuqurligi 300 – 700 km gacha, bu zilzilalar barcha zilzilalarning 13% ni tashkil etadi. Chuqur fokusli zilzilalar subduktsiya zonalari (litosfera plitasining mantiyaga surilib kirishi) bilan bog‘liq.

Tektonik zilzilalar barcha zilzilalarning aksariyat qismini tashkil qiladi. Ular tog‘ hosil bo‘lishi, litosfera plitalarining Yer yoriqlari bo‘ylab harakatlari bilan bog‘liq. Yerning yuza qismini (taxminan 100–150 km chuqurlikkacha) Yerning ulkan bo‘laklari (bloklari) – *litosfera plitalari* tashkil qiladi. Yer litosfera plitalari astenosferadagi konvektiv oqimlar natijasida doimiy gorizontol harakatda bo‘ladi. Litosfera plitalari bir-biriga nisbatan yaqinlashib, to‘qnashishi natijasida (kolliziya) tog‘ hosil bo‘lish jarayonlari ro‘y beradi. Masalan, Hind-Avstraliya litosfera plitasining Yevrosiyo litosfera plitasi bilan to‘qnashishi natijasida Hindiqush - Himolay tog‘lari hosil bo‘lgan va bu jarayon hanuz davom etmoqda. Bu jarayonlar esa ushbu tog‘liklarning nihoyatda seysmik faolligini belgilaydi. Bu yerda chuqurligi 300 km gacha bo‘lgan zilzila o‘choqlari mavjud. Boshqa hollarda litosfera plitalari bir-biridan uzoqlashishi (spreding), yoki bir-biriga nisbatan ishqalanib, surilishi (transform) hollari ham (masalan Kaliforniyadagi San-Andreas yorig‘i) katta zilzilalarni keltirib chiqaradi.

Gorizontol harakatlar natijasida ro‘y beruvchi vertikal surilishlar tog‘ jinslarini juda qisqa vaqt ichida ko‘tarilishi yoki tushishiga olib keladi. Bunda siljishlar bir necha santimetrni tashkil qiladi, lekin milliardlab tonna tog‘ jinslarini mana shu santimetrlarga surgan energiya miqdori juda katta bo‘ladi.

Vulqonlar Yerda kuchli va kuchi sust bo‘lgan zilzilalarga olib keluvchi tuzilmalar hisoblanadi. Vulqonli tog‘lar ichidagi nihoyatda qizigan gaz va lavalar Yerning ustki qismidagi qatlamlarga yuqori bosim berib turadi. Shu vulqon ichidagi lavalarning harakatlari natijasida kichik kuchga ega bo‘lgan zilzilalar seriyalari bo‘lib turadi. Bular seysmologiya fanida – «vulqonli tremor» («vulqonli titrashlar») nomini olgan. Vulqonning tayyorlanishi va otilishi jarayonlari bir necha yildan yuz yillargacha bo‘lishi mumkin.

1883-yilda Indoneziyadagi *Krakatau vulqoni* otilishi natijasida Krakatau tog‘ining yarmi portlab yo‘q bo‘lgan. Hosil bo‘lgan zilzila va undan keyingi sunami natijasida Sumatra, Yava va Borneo orollaridagi juda ko‘p aholi halok bo‘lgan.

Islandiyada, Italiyada, Yaponiyada va dunyoning boshqa joylarida hozirgi kunda ham harakatdagi vulqonlar mavjud.

Denudatsion zilzilalar Yerning ichki qismlaridagi o'pirilishlar yoki Yer sathida kuzatiladigan tog' ko'chkilari («opolzen») natijasida ham hosil bo'ladi. Bu hodisalar tektonik jarayonlar bilan bilan bog'liq bo'lmagan holda ro'y beradi.

1974-yilda Perudagi And tog' tizmalarining Vikunaek tog'ida ikki kilometr balandlikdan 1,5 milliard kub metr tog' jinslari Mintaro daryosi vodiysiga ko'chib tushib, 400 kishilik qishloqni ko'mib yuborgan. Ko'chki natijasida hosil bo'lgan seysmik to'lqinlar 3000 km uzoqlikdagi seysmik stansiyalarda qayd qilingan. Seysmik energiya esa magnituda bo'yicha 5 ga yetgan.

Texnogen zilzilalar insonning tabiatga ko'rsatayotgan ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Bularning asosiy sababi yadroviy portlatishlar, yer qatlamlaridan neft va tabiiy gazlarni qazib olish, katta suv omborlariga suv yig'ish kabi Yer qatlamlaridagi muvozanatni buzuvchi faoliyatdir.

Misol tariqasida Gazli koni, Toktogul suv ombori va boshqalarni keltirish mumkin.

1967-yil 11-dekabrda Hindistonning Koyna suv omboriga suv to'ldirilishi natijasida magnitudasi 6,4 zilzila sodir bo'lgan. Bunday hollar Misrdagi Assuan, AQSh dagi Leyk-Mid suv omborlarida ham kuzatilgan.

Meteoritlar kosmosdan Yerga kelib tushishi oqibatida ham zilzilalar hosil bo'ladi. Bunday hodisalarning katastrofik oqibatlarga sabab bo'lganligini Yer geologik tarixini rekonstruksiya natijasida ko'rish mumkin. Kishilik tarixidagi bunday hodisani, ya'ni 1908-yil Sibirning Tungus daryosi vodiysiga tushgan meteorit natijasida hosil bo'lgan Yer silkinishlarini Sankt-Peterburg va Yevropadagi seysmograflar qayd qilgan. 2013-yildagi diametri 17 m bo'lgan meteoritning Uralsk shahriga tushishi natijasida ham seysmik tebranishlar hosil bo'lgan.

Zilzila jadalligi ballarda o'lchanadi, uni aniqlashda zilzila sodir bo'lgan joydagi inshootlarni ko'rikdan o'tkazish, aholi bilan zilzilani qanday his qilganligi haqida so'rovnomalar o'tkazish yoki shu rayon uchun formulalar orqali hisoblangan empirik ma'lumotlarga asoslaniladi.

Zilzilalarning tasnifi quyidagi jadvalda keltirilgan

Zilzila turi	Umumiy sonidan, % hisobida	Magnitudasi
Tektonik	95% ga yaqin	9 gacha
Vulqonli	5% gacha	8 gacha
Denudatsion	1% dan kamroq	5 gacha
Texnogen	0,1% dan kamroq	5 gacha
Meteoritlar tushishi natijasida	0,00001% atrofida	9 gacha

Zilzila haqidagi birinchi ma'lumotlarda uning magnitudasi beriladi, chunki yaqin atrofdagi seysmostansiyalardagi yozuvlar bo'yicha avval magnituda aniqlanadi. Jadallik esa zilzilaning magnitudasi, uning chuqurligi va Yer yuzasida namoyon bo'lishi bilan bog'liq.

Ommaviy axborot vositalarida zilzila haqida xabar berilayotganda ko'pincha Rixter magnitudalar shkalasi jadallik shkalasi bilan chalkashtiriladi. Natijada «Rixter shkalasi bo'yicha ... ball» degan noto'g'ri ma'lumot beriladi. Zilzila o'chog'ining chuqurligi Yer yuziga yaqin bo'lsa jadallik ham yuqori bo'ladi. Masalan, magnitudasi 8 bo'lgan o'choq 10 km chuqurlikda bo'lsa, Yer yuzasidagi jadallik 11–12 ball bo'ladi deylik. Lekin agar shu magnitudali zilzila o'chog'i 50 km chuqurlikda joylashgan bo'lsa, jadallik 9–10 ball bo'lishi mumkin.

Zilzila magnitudasi seysmograflar yozuvini tahlil qilish natijasida aniqlanadi. Bu shkalani 1935-yilda amerikalik seysmolog Ch.F.Rixter taklif etgan va uning sharafiga *Rixter shkalasi* deb nom berilgan. Rixter shkalasi 1 dan 9,5 gacha. Bu shkalada magnitudaning 1 ga o'sishi tuproq siljishining 10 barobarga o'sishiga, ya'ni tebranish amplitudasining o'sishiga olib keladi. Energiyaning o'sishi taxminan 30 martaga oshadi. Ya'ni magnitudasi 6 ga teng zilzila natijasidagi siljish, magnitudasi 5 bo'lgan zilzila natijasida hosil bo'lgan siljishdan 10 barobar katta, energiyasi esa – 30 barobar. Quyida Rixter shkalasi bo'yicha zilzilalar tasnifi keltirilgan, magnitudalar:

T.r.	Magnituda	Zilzila turi
1.	0 dan 4,3 gacha	yengil
2.	4,4 dan 4,8 gacha	mo''tadil
3.	4,9 dan 6,2 gacha	o'rta
4.	6,3 dan 7,3 gacha	kuchli
5.	7,4 dan 8,9 gacha	katastrofik

Zilzila magnitudasi seysmik to'liqning maksimal amplitudasining (A) boshqa standart zilzilaning shu to'liqlarining amplitudasiga (A_x) nisbatining o'nli logarifmi orqali aniqlanadi:

$$M = \log \frac{A}{A_x} \quad (3.21)$$

Magnitudalarning turli xil shkalalari mavjud, lokal magnituda (ML), yuza to'liqlar orqali hisoblangan magnitudalar shkalasi (MS), hajm to'liqlari orqali topilgan magnituda shkalasi (mb), seysmik moment bo'yicha (MW). Hozirgi paytda MW shkalasi qo'llaniladi.

1960-yil 22-mayda sodir bo'lgan Chili zilzila instrumental aniqlangan eng kuchli zilzila hisoblanadi. Uning magnitudasi $MW=9.5$ ni tashkil etgan. (Rixter shkalasi bo'yicha 8,3 ga teng).

Eng kuchli magnitudaga ega zilzilalar 1906-yil Kolumbiyada ($M=8,9$), 1923-yil Yaponiyada ($M=8,9$) aniqlangan. Maksimal amplitudasi 1 mkm bo'lgan zilzilaning 100 km epitsentral masofadagi magnitudasi 0 ga teng deb olingan.

Zilzila energiyasi 100kt atom bombasining energiyasidan ($1000 \cdot 10^{18}$ erg) bir necha million barobar katta. Masalan, Ashxabod (1948) zilzilasida 10^{23} erg, Xait (1949) zilzilasida $5 \cdot 10^{24}$ erg, Chili (1960) zilzilasida 10^{25} erg energiya ajralib chiqqan. Butun Yer shari bo'yicha bir yilda o'rtaacha zilzilalardan $\approx 0,5 \cdot 10^{26}$ erg energiya ajraladi.

Yuqorida keltirilganidek, zilzilalarning aksariyat qismi Yer qa'ridagi tektonik jarayonlar bilan bog'liq. Yerning ustki qismida turli xil bloklarda deformatsiyalar ortib borishi natijasida potensial energiya yig'ilib boradi. Bu energiya tog' jinslarining mustahkamligidan ortib ketisa yoriq vujudga keladi. Jadvalda magnituda ortib borishi bilan o'choq uzunligining va o'choq kengligining o'zgarishi keltirilgan.

Magnituda	O'choq uzunligi, km	O'choq kengligi, km
5,0	11	6
6,5	26	18
7,0	50	30
7,5	100	35
8,0	200	50

Seysmik jadallikni baholashda O'zbekistonda va boshqa ko'pchilik mamlakatlarda Medvedev-Shponxoyer-Karnik (MSK-64) tomonidan tuzilgan 12 balli shkala qo'llaniladi. Bu shkala oddiy (zilzilabardoshligini oshirish uchun konstruksiyalari kuchaytirilmagan) inshootlar uchun taalluqli.

1 ball. Sezilmas zilzila. Tebranishlar jadalligi past, tuproq tebranishi faqat seysmograflar orqali qayd qilinadi.

2 ball. Kuchsiz zilzila. Tebranishlarni faqat bino ichidagi ayniqsa yuqori qavatlardagi ayrim kishilar sezadi.

3 ball. Kuchsiz zilzila. Bino ichidagi ayrim kishilar sezadi. Ochiq maydonda sezilarli emas. Tebranishlar xuddi yengil yuk mashinasi o'tganda hosil bo'ladigan tebranishga o'xshaydi. Ba'zi osilgan jismlarning tebranishi kuzatiladi.

4 ball. Sezilarli tebranish. Bino ichidagi ko'p kishilar uchun sezilarli, ko'chada ayrim kishilar sezadi. Ba'zi holatlarda uyqudan uyg'otadi. Tebranishlar xuddi og'ir yuk mashinasi o'tganda hosil bo'ladigan tebranishlarga o'xshaydi. Deraza oynalari va idish-tovoqlar zirillaydi. Devorlarning va pollarning g'ijirlashi, mebellarning qaltirashi kuzatiladi. Osilgan jismlar tebranadi. Idish ichidagi suyuqliklar to'lqinlanadi. Bir joyda turgan avtomobilda turtki seziladi.

5 ball (100 yilda 15 – 25 marta bo'ladi). Deyarli hamma uxlayotgan kishilar uyg'onadi, idishlardagi suyuqliklar to'lqinlanadi, ba'zi yengil jismlar ag'darilishi, idishlar sinishi mumkin. Binolarga shikast yetmaydi.

6 ball (100 yilda 10 – 15 marta bo'ladi). Kishilarda qo'rquv paydo bo'ladi, tebranishlar yurishga xalaqit beradi. Binolar chayqaladi, osilgan jismlar kuchli tebranadi. Idish tovoqlar ag'dariladi va sinadi, polkalardagi jismlar tushib ketadi. Mebellar siljishi mumkin. Shiftdan changlar tushadi, devor suvoqlarida mayda yoriqlar paydo bo'ladi.

7 ball (100 yilda 4 – 6 marta bo'ladi). Kuchli qo'rquv paydo bo'ladi. Tebranishlar oyoqda turishga xalaqit beradi. Mebellar siljishi va qulashi mumkin. Har qanday binolarda yoriqlar paydo bo'ladi, suvoqlarda yoriqlar paydo bo'lib tushib ketishi mumkin, bloklar va pardevorlarning ulangan joylaridagi suvoqlar ko'chadi.

8 ball (100 yilda 1 – 3 marta). Turgan kishilarni yiqitadi. Yerda va qiyaliklarda yoriqlar paydo bo'ladi. Har qanday binolarga shikast yetadi, pardevorlar qulashi mumkin. Asosiy devorlarda yoriqlar paydo bo'lishi, suvoqlarning sochilib ketishi, bloklarning siljishi va ularda yoriqlar paydo bo'lishi kuzatiladi.

9 ball (taxminan 300 yilda 1 marta). Yerning ko'p joylarida yoriqlar paydo bo'ladi. Qiyaliklarda ko'chkilar sodir bo'ladi. Barcha binolarda pardevorlar qulaydi. Asosiy devorlarning bir qismi buzilishi, ba'zi bir panellarning siljishi mumkin.

10 ball. *Vayron qiluvchi zilzila*. Ko'pchilik binolar va ko'priklar qulaydi, o'pirilish va ko'chkilar hosil bo'ladi.

11 ball. *Katastrofik zilzila*. Barcha binolar qulaydi, landshaftda o'zgarishlar ro'y beradi.

12 ball. *Juda katta katastrofa*. Ommaviy qirg'inga, relyefning katta hududda o'zgarishlariga olib keladi.

Bu shkaladan tashqari yana AQSHda 12 balli Merkalli shkalasi, Yaponiyada 9 balli YaMA (Yapon meteorologik agentligi) shkalalari qo'llaniladi.

Seysmiklik – bu biror hududdagi zilzilalarning statistik dalilligidir. U zilzila o'choqlarining mavjudligi, ularning ma'lum davrda qaytarilib turishi bilan bog'liq. Yerning issiqlik oqimi, Yer qobig'idagi strukturalarning izostatik muvozanati, unda kechayotgan endogen rejimlar haqida ma'lumot beradi. Bu rejimlar o'z navbatida, tektonik jarayonlarning faollashishi yoki sustlashishini belgilab, ushbu hududning seysmotektonik potensialini belgilaydi.

Zilzilani prognoz qilish seysmologiyaning eng dolzarb vazifasidir. Prognoz uch qismdan iborat bo'ladi: 1) zilzila joyini; 2) zilzila vaqtini; 3) maksimal magnitudasini, ya'ni zilzila kuchini aniqlash.

Zilzila hosil bo'lishi joyi va uning maksimal kuchi ehtimolini aniqlash borasida geologik, tektonik, tektonofizik, seysmotektonik metodlar mavjud. Ular seysmiklikning turli xil mezonlari yoki belgilarini o'rganishga asoslangan. So'nggi yillarda turli geofizik va geologik ko'rsatkichlarning o'zaro bog'liqliklariga asoslangan

formallashtirilgan metodlar yaxshi natijalar bermoqda. Bunda seysmiklik bilan bog'liq bir qancha ko'rsatkichlar EHMlarda turli xil dasturlar (programmalar) yordamida yer qobig'ining bir-biriga yaqin bo'lgan turlarini ajratib beradi va ularni seysmiklik bilan birgalikda qilinadigan tahlili yordamida xaritalar tuziladi. Yuqoridagi metodlarning rivojlanishi hozirgi vaqtda zilzila joyini va berilgan hududda maksimal kuchini prognoz qilish uchun ancha ishonchli asos deb qaralmoqda.

Zilzila sodir bo'lish vaqtini prognoz qilish eng murakkab va yaqin orada hal bo'lishi qiyin masala. Buning asosiy sabablari quyidagicha:

1. Zilzilaning mukammal nazariyasi bugungi kunda ishlab chiqilmagan.

2. Zilzilalarning asosan katta chuqurliklarda ro'y berishi va shu sababli ularni to'g'ridan to'g'ri turli asboblarda yordamida kuzatib yoki o'lchab bo'lmasligida.

3. Zilzilalar bilan ilmiy tajribalar o'tkazish mumkin emas, chunki har bir seysmik hodisa o'ziga xosligi bilan ajralib turadi.

4. Zilzila natijasida hosil bo'lgan yoriqlarni kompyuterda yoki laboratoriyada modellashtirish ishlari boshlang'ich bosqichda, bulardan olingan natijalarni real tabiiy zilzilalarga tadbiq etish mumkinligi noaniq.

5. Zilzila sodir bo'lishi favqulodda tasodifiy hodisa, uning bu tabiatidan qancha ko'p zilzilalar o'rganilayotgan bo'lsa ham aniq bir mezonni topilmayotir. Zilzilaning tasodifiylik darajasi, masalan, atmosfera turbulentsligidan ko'p marta katta, ya'ni biz atmosferani o'rganishda kuzatuvlarimiz aniqligini oshirib, ob-havoni prognoz qila olsak, zilzilani vaqtini qancha aniq va ko'p kuzatsak ham prognoz qila olmaymiz.

Xulosa qilib aytganda, hozirgi vaqtda zilzilani prognoz qilishning birorta ham ishonchli metodi ishlab chiqilganicha yo'q. Zilzila fizikasini aniq tushunmay turib, prognoz qilish umuman mumkin emas. Zilzila fizikasi muammolari hal etilmagan, shuning uchun bu Yer fizikasining yechilishi lozim bo'lgan eng asosiy muammosi hisoblanadi.

Oy va Marsdagi zilzilalar. Quyosh sistemasidagi sayyoralarning va ularning yo'ldoshlarining seysmikligi haqida ma'lumotlar ko'payib bormoqda. Masalan, Venera (Zuhro) sayyorasida vulqonlar faoliyatining kuchliligi, Venera silkinishlarining mavjudligi aniqlandi.

Yupiterning yoʻldoshi Ioda ham katta vulqonlar borligini AQShning «Ganimed» sunʼiy yoʻldoshi tasvirga tushirgan. Umuman vulqon faoliyati Quyosh sistemasining chekka gigant sayyorolari va ularning yoʻldoshlarida kuchliroq ekanligi aniqlangan.

Oyda birinchi seysmograflar 1969 yilda AQShning «Apollon» kosmik kemalari tomonidan oʻrnatilgan. Bir–biridan 1000 km gacha masofada joylashtirilgan 5 ta past chastotali (2,2 – 15s. davrli) seysmograflar yiliga 600 dan 3000 tagacha seysmik tebranishlar yozuvini 1977-yilgacha Yerga joʻnatib turgan. Tebranishlarning aksariyati magnitudasi 2 va undan past boʻlgan. Qayd qilingan Oy silkinishlari uch guruhga ajratilgan: Yerning va Quyoshning tortish kuchlari taʼsiridagi («priliv») zilzilalari, ularning chuqurligi 800 – 1000 km; tektonik zilzilalar – chuqurliklari oʻrtacha 25 – 200 km; meteorit va boshqa kosmik jismlarning tushishidan hosil boʻlgan zilzilalar.

Oy seysmogrammalari bir–biriga oʻxshash. Ularning asosiy xususiyatlari shundan iboratki, ular Yerdagidan koʻra uzoq vaqtli yozuvga va tebranishlarning juda kichik boʻlgan soʻnish koeffitsiyentiga ega. Baʼzi seysmogrammalarning nisbatan yuqoriroq chastotali yozuvlarida yuzaki toʻlqinlar ham ajratilgan. Bu seysmogrammalar Oyning bir necha qatlami borligini koʻrsatadi.

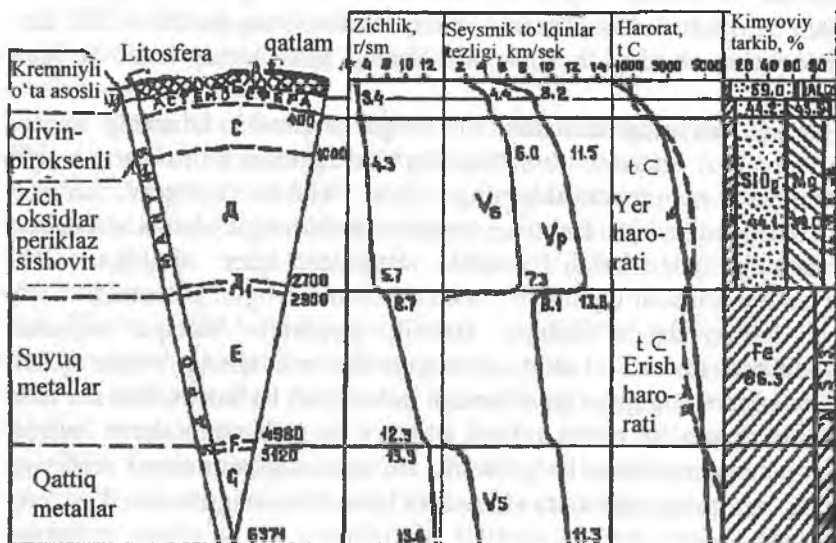
1976-yilda «Viking» kosmik apparati Marsga seysmik asboblarni tushirdi. Lekin, seysmograflar modulning oʻzida qoldi. Ularni Marsning gruntiga oʻrnatish imkoniyati boʻlmadi. Marsda juda kuchli shamollar esishi tufayli olingan seysmogrammalarda halaqit beruvchi tebranishlar koʻp boʻldi. Bu seysmogrammalarni seleksiya qilish natijasida juda katta ehtimollik bilan bitta magnitudasi 3 ga teng boʻlgan Mars zilzilasi ajratildi. Koʻndalang va boʻylama toʻlqinlar ajratilib, epitsentral masofa 110 km ekanligi aniqlandi. Bu zilzila tektonik zilzila deb taxmin qilinmoqda.

3.7. Yer ichki tuzilishining hozirgi zamon modellari. PREM

Yaqin vaqtlargacha Yerning eng tan olingan seysmik modellaridan biri K.E.Bullen (1963) modeli boʻlib kelgan. Bu modelda quyidagi geosferalar ajratilgan. A – Yer qobigʻi (33 km gacha); V – mantiya (33-413 km); S -(413-984 km); D – (984-2898 km) va Yer yadrosi E – 2898-4982 km); F – 4982-5121 km; G – 5121-

6371 km. Keyinchalik K.Bullen D qatni DI (0,84-2700) va DII (2700-2900 km) qatlarga ajratgan (3.9-rasm).

Hozirgi vaqtda birmuncha murakkablashgan boshqa turdagi modellar ham mavjud. Eng ko'p qo'llanilayotgan model A.Dzivonski va D.Andersonning PREM (Yerning parametrik referent modeli). Bu modelda asosiy rolni 2 milliondan ortiq seysmik trassalardagi kuzatuvlar natijalari bo'yicha hajm to'liqlarining tezliklari, yuzaki to'liqlar tezliklarining 500 dan ortiq trassalari, to'liqlarning yutilishi, Yerning xususiy tebranishlari davri va amplitudalari haqidagi ma'lumotlar, bundan tashqari astronomik va PREM modelida quyidagi geosferalar ajratilgan:



3.9-rasm. Yer tuzilishining an'anaviy modeli (k.e.bullen, bo'yicha) gravimetrik parametrlar: Yerning massasi, aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti va hokazolar hisobga olinadi

1. Yer qobig'i (ES); okean ostida – 11 km, qit'alarda - 35 km; o'rtacha – 25km.
2. Litosferali mantiya (LM) – 80 km gacha.
3. Kichik tezlikli zona (LVZ) – 80 km dan 220km gacha.

4. UM (220 km) zona va 400 km chuqurlidagi chegara orasidagi zona.

5. Fazaviy-o'tishlar zonasi (TZ) 400kmdan 670 kmgacha.

6. Quyi mantiya «D» – 670 km dan 2890 km gacha, uning asosida «D» qat 150 km qalinlikda.

7. Tashqi yadro OC – 2890 km dan 5150 km gacha.

8. Ichki yadro IC – 1220 km radiusli

PREM modeli Yerning quyidagi parametrlarini o'z ichiga oladi.

Bular:

bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar tezliklari, K – har taraflama siqilish moduli, ρ – zichlik, μ – siljish moduli, mustahkamlik Q_s , dK/dP – bir jinsli emaslik parametrlari (jadval).

PREM modelidagi Yerning fizik xususiyatlari

Qatlam	N, km	ρ , g/sm ³	V_p , km/s	V_s , km/s	Q_s	$K, 10^{11}$ Pa	$\mu, 10^{11}$ Pa	dK/dP
EC	25	2,9	6,8	3,9	600	0,75	0,44	-
LM	25	3,38	8,11	4,49	600	1,32	0,68	-0,6
	80	3,38	8,08	4,47	600	1,3	0,67	-0,7
LVZ	80	3,38	8,08	4,47	80	1,3	0,67	-0,7
	220	3,36	7,99	4,42	80	1,27	0,66	-0,8
UM'	220	3,44	8,56	4,64	143	1,53	0,7	3,23
	400	3,54	8,9	4,77	143	1,74	0,81	3,37
TZ	400	3,72	9,13	4,93	143	1,9	0,91	7,26
	600	3,98	10,16	5,52	143	2,49	1,21	8,09
	600	3,98	10,16	5,52	143	2,49	1,21	2,37
	670	3,99	10,27	5,57	143	2,55	1,24	2,41
D'	670	4,38	10,75	5,95	312	3	1,55	3,04
	2740	5,49	13,68	7,27	312	6,41	2,9	3,33
D''	2740	5,49	13,68	7,27	312	6,41	2,9	1,64
	2890	5,57	13,72	7,27	312	6,55	2,84	1,64
OC	2890	9,9	8,06	0	0	6,44	0	3,58
	5150	12,17	10,36	0	0	13,05	0	3,76
IC	5150	12,76	11,03	3,5	85	13,43	1,58	2,32
	6370	13,09	11,26	3,67	85	14,25	1,76	2,34

PREM modeli Yerning fizik modellarining barcha muammolarini hal qila olmaydi. Yuqori mantiya va okean ostida qatlamlarning anizotropiyasi va bir jinsli emasligini baholashda va haroratning ta'sir etishi borasida bu modelga aniqliklar kiritilishi mumkin.

Ushbu jadvaldan Yer geosferalari quyidagi fizik xususiyatlar bo'yicha ajratilgani ko'rinib turibdi:

a) yer qobig'i: zichlik va elastiklik parametrlarining yuqori mantiyadagi shu ko'rsatkichlardan ancha kichikligi;

b) yuqori mantiya: chuqurlik bo'yicha fizik xossalarning turlicha o'zgarishi – astenosferada bo'ylama to'lqinlar tezligining va siqilish modulining pasayishidan keyin barcha parametrlarning to'sishi kuzatiladi, ayniqsa, mantiyaning o'tish zonasida (400 – 700 km);

v) quyi mantiya: bosim oshishi tufayli elastiklik modullari va zichlikning uzluksiz o'sib borishi; uning tubida chuqurlik bo'yicha bo'ylama to'lqinlar va siqilish moduli ko'rsatkichlarining o'zgar-masligi;

g) tashqi yadro: ko'ndalang to'lqinlar tezligi va siljish moduli ko'rsatkichlarining nolga tengligi, bu hol muhitning suyuq holda ekanligini ko'rsatadi. Puasson koeffitsiyenti 0,5 va ko'ndalang to'lqinlar bo'yicha mustahkamlik ko'rsatkichi nolga tengligi ham yuqoridagilarni tasdiqlaydi;

d) ichki yadro: bu yerda ko'ndalang to'lqinlar tezligi va siljish moduli noldan ancha yuqori, Puasson koeffitsiyenti esa ko'proq suyuq moddanikiga yaqin.

Mantiyada g kam o'zgaradi: u 670 km gacha ortib boradi ($10,014\text{m/s}^2$), 1470 km chuqurlikda esa minimumga yetib ($9,93\text{m/s}^2$), yana maksimumga yadroning chegarasida yetadi ($10,68\text{m/s}^2$).

Muhitning muhim parametri – seysmik parametr (F), bu kattalik bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar tezliklari orqali hisoblanadi:

$$F = V_p^2 - \left(\frac{4}{3}\right)V_s^2 = \frac{K}{\rho} \quad (3.22)$$

Bu formula qatlar orasidagi zichliklarni taqsimlanishini baholash uchun ishlatiladi.

Tayanch iboralar

Seysmologiya, gipotsentr, epitsentr, ball, magnituda, prognoz, Moxo chegarasi, Konrad chegarasi, Rixter shkalasi, PREM modeli.

Nazorat savollari

- 1. Qanday elastiklik modullarini bilasiz?*
- 2. Geometrik seysmikaning qanday prinsiplari mavjud?*
- 3. Yer ichida qanday seysmik to'liqlar tarqaladi? Ulardan qaysilari Yerning chuqur qatlamlari haqida ma'lumot beradi?*
- 4. Zilzila o'chog'i, episentri, magnitudasi va intensivligi nima? Ularni ta'riflang.*
- 5. Zilzilalarni qanday klassifikatsiyalari mavjud?*
- 6. Boshqa sayyoralar va Oyda zilzilalar mavjudmi?*
- 7. Yerning parametrik referent modeli haqida tushuncha bering.*

IV BOB. YERNING SHAKLI VA GRAVITATSIYA MAYDONI

Geoidni geofizikaviy asoslash. Yer ichidagi massalarning taqsimlanishi. Pretsessiya, nutatsiya, dinamik siqilish haqida tushunchalar. Chandler tebranishlari va seysmotektonik jarayon. Yerning xususiy tebranishlari. Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari bo'yicha geoid. Yerning zichlik modellari. Elastiklik modullarining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi. Zichlik, harorat, bosim va erkin tushish tezlanishlarining Yerda taqsimlanishi va Soroxtin modeli. Yerning gidrostatik muvozanat holatidan og'ishi. Izostaziya. Izostaziya prinsipidan og'ish. Izostaziya va Yer qobig'ining tebranma harakati. Quyilishlar (prilivlar).

4.1. Yerning haqiqiy shakli – geoid haqida tasavvur

Yer shaklini bilish va uni tushunish qadimdan insoniyatni qiziqitirib kelgan eng katta muammolardan biri. Bu haqdagi birinchi ma'lumotlar qadimgi qo'lyozmalarda ifodalangan. Yerning sferik shaklda ekanligi eramizdan oldingi 6 asrda qadimgi Gretsiyada yashagan Anaksimandrnning fikrlarida bor. Pifagor esa (eramizdan avvalgi 4 asr) Yerni shar shaklida deb hisoblagan, Geraklit esa uni o'z o'qi atrofida aylanma harakat qilishi mumkinligini taxmin qilgan.

Yerning aylana uzunligini Aristotel (eramizdan avvalgi IV asr) «Osmon haqida» nomli asarida birinchi bo'lib aniqlagan. U haqiqiy ko'rsatkichdan ikki barobar uzun bo'lgan. Yerning radiusini eramizdan avvalgi II asrda yashagan Yeratosfen 25% aniqlikda o'lchagan. Yangi era boshida qadimgi grek geografi Straton o'zining 14 tomlik «Geografiya» asarida, Yer o'z o'qi atrofida aylanishi natijasida ekvatorida qappayish hosil bo'lishini ko'rsatgan.

723-yilda xitoylik astronom I-Sin har xil predmetlarning Quyoshdan hosil bo'lgan soyalarini va Qutb yulduzining balandliklarini o'lchash natijasida, bir gradusli yoyning uzunligi 132,3 km ga tengligini hisoblagan. Bu haqiqiydan 20% ortiq edi.

783–850-yillarda matematik, astronom, geograf, tarixchi yurtdoshimiz Muxammad Xorazmiy yashab ijod etdi. U albraga

mos soldi va arab raqamlari bilan yozuv tizimini ishlab chiqdi. Uning nomi keyinchalik o'рта asrlarda Evropada lotin tilida «algoritm» terminiga aylanib ketdi. Uning saqlanib qolgan qo'lyozmalari ichida – Quyosh va Oyning harakatlari jadvali, Yerdagi 2402 ta punktning astronomik koordinatalari, Nil daryosi xaritasi, quyosh soati haqida asari, astrolyabiyning tuzilishi va uning yodamida azimutlarni o'lchash kabilarni ko'rsatish mumkin. 814-yilda xalif al-Ma'mun davrida arablar bir gradusli yoyning 90 km ga tengligini hisoblashgan. Bu ko'rsatkich haqiqiydan tahminan 20% kam bo'lgan.

Buyuk o'zbek olimi Abu Rayhon Beruniy (973 – 1048-y.y.) 170 dan ortiq ilmiy asar yaratib, shulardan 31 tasi saqlanib qolgan. Uning eng ko'p asarlari astronomiya va matematikaga bag'ishlangan edi. «Shaharlar orasidagi masofalarni aniqlashtirishda chegaralarni belgilash» (bir qancha tillarda «Geodeziya» nomi bilan chop etilgan) asarida, u astronomik koordinatlarni aniqlash, Yer meridianining bir gradusi uzunligini o'lchash, astrolyabiyalarni va kvadrantlarni yasash, Yer globusini yaratish kabi masalalarni yoritgan.

«Geodeziya» (grekcha geodaisia – yerni bo'lish, geo – Yer va daizo – bo'laman so'zlardan tuzilgan) – Yerning shaklini, o'lchamlarini gravitatsiya maydonini aniqlash; inson faoliyati uchun yer yuzasini xaritalarda, planlarda ko'rsatish kabilarni o'rganuvchi fan.

1424-yilda o'sha vaqtdagi katta imperiyaning hukmdori va bir vaqtning o'zida atoqli astronom va matematik olim Muxammad Tarag'ay Ulug'bek Mirzo (1394–1449) boshchiligida Samarqandda misli ko'rilmagan astronomik observatoriya barpo etildi. Uning marmardan ishlangan limbining (burchak o'lchash asbobi) bir qismi saqlanib qolgan. Limbning radiusi 40,04 metr bo'lgan, yoyi 32° bo'lib, u osmon jismlarining vertikal burchaklarini sekungacha aniqlikda o'lchash imkonini bergan.

O'рта asrlarda qadimgi xitoyliklar va Yevropada umumlashtirib arablar deb atalgan yurtdoshlarimizning erishgan yutuqlari evropaliklar tomonidan qaytadan «kashfiyot» qilindi. Faqatgina XIV asrga kelib Oksford universiteti doktori U.Okam Yerni aylanishi mumkinligini e'tirof etdi. Shundan so'ng yevropaliklarning qarashlari N.Kopernik, D.Bruno, G.Galiley, I.Kepler va N.Kuzanskiylarning ilmiy ishlari natijasida keskin o'zgardi. XVII asrning boshiga kelib geliotsentrik sistema fanda to'la-to'kis tan olindi.

Yer shakli va uning aylanma harakati nazariyasi ishlab chiqilishi bir necha bosqichlardan iborat bo'lgan. Shulardan *birinchi bosqich* I.Nyuton nomi bilan bog'liq. I.Nyuton o'zi yaratgan butun olam tortishish qonuni orqali nafaqat osmon jismlarining harakati, balki ularning shaklini ham o'rganish mumkinligini tushinib yetgan. U o'z o'qi atrofida aylanma harakat qilayotgan og'irlik kuchiga ega bo'lgan suyuq massaning muvozanat holati haqidagi masalani qo'ydi. Bu masala muvozanat holatdagi shakllar nazariyasiga asos soldi. Nyuton birinchi bo'lib bir jinsli Yerning siqilishini aniqladi:

$$\varepsilon = q = 229^{-1},$$

bu yerda, q – markazdan qochma kuchning ekvatordagi tortishish kuchiga nisbati.

Ikkinchi bosqich – Yakobi bosqichi deb yuritiladi. Bunda A. Lejandr, P. Laplas, S. Puasson, L. Eyler, J. Lagranj kabi olimlar Yerni sferoid, ellipsoid va hokazo shakllarini hisoblaganlar. Natijada, Klero sferoidi, uch o'qli ellipsoid kabi shakllar tahlil qilindi.

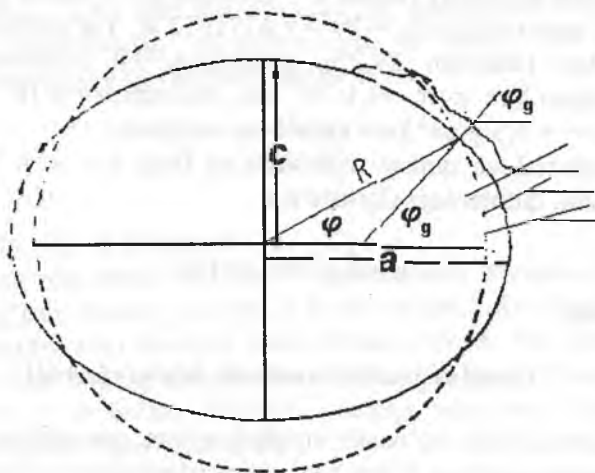
Uchinchi bosqich – Dirixle bosqichida og'irlik kuchiga ega bir jinsli siqilmaydigan suyuqlik haqidagi tasavvurlarga asoslanadi. Hidrodinamika qonunlari bunday suyuqlikning harakati natijasida uning shakli har doim ellipsoid bo'lib qolaverishi, tezliklar maydoni esa koordinatalar bo'yicha chiziqli bo'lishi mumkinmi? degan masalani qo'yib uni yechgan va tenglamasini tuzgan.

To'rtinchi – zamonaviy bosqichda barcha kosmik jismlar og'irlik kuchiga ega suyuqliklar deb olinadi va ularning shakli va harakatlari muvozanatlari tenglamalari tuziladi.

Yerning haqiqiy shakli – geoid haqida tasavvur

Yer shakli deganda albatta sayyoramizning qattiq yuzasining shakli tushuniladi. Lekin, bu qattiq yuzaning juda murakkab ekanligini tushuntirish uchun, oddiyroq, ravonroq, silliqroq, qit'alar ostida taxminiy davom etgan okean yuzasi shakli asos qilib olingan. Bunday yaqinlashtirish uchun, sayyoramizning $\frac{3}{4}$ qismi okeanlardan iborat ekanligi yetarli darajada asos bo'la oladi. Mana shu «dengiz sathidan» Yer yuzasining shakli va relyefini o'rganishda hisob boshi olinadi.

Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi markazdan qochma kuchlarni ular esa, ekvatorida qappayish hosil qiladi. Shuning uchun Yer shakli sferadan anchagina farq qiladi (4.1-rasm).



4.1-rasm. Geoidni (tutash chiziq) xuddi shunday hajmdagi shar (punktir chiziq) bilan solishtirish. Geoidning siqilishi taxminan 50 barobar katalashtirilgan.

Shar radiusi $R = \sqrt{(a^2+c^2)}$, bu yerda a va c – katta (ekvatorial) va kichik (qutbiy) yarim o'qlar. Koordinata φ – nuqtaning geografik kengligi, φ_g – kuzatish nuqtasida geoid yuzasiga o'tkazilgan normal bilan ekvatorial tekislik orasidagi burchak.

Agar, Yer yuzasi butunlay suv bilan qoplangan bo'lsa edi, unda Yerning shakli faqat og'irlik kuchi ta'siri ostida aylanma harakat qilayotgan suvning gidrostatik muvozanati bilan aniqlanardi. Mana shu gravitatsion potensial doimo o'zgarmas bo'lib qoluvchi, dengiz sathiga to'g'ri keluvchi ekvipotensial yuza geoid deb ataladi va Yerning shaklini belgilaydi. Geoidning geometrik ma'nosini tushunish uchun, qit'alardan okeanlar bilan bog'langan kanallar o'tkazilganini faraz qilishimiz kerak. Mana shu kanallardagi suv sathi taxminan geoid yuzasiga to'g'ri keladi.

Geoid yuzasi qit'alardagi bir necha yo'ylar bo'ylab o'tkazilgan astronomik – geodezik kuzatuvlar va sun'iy yo'ldoshlarning ma'lumotlari natijalari bo'yicha, geoidning ekvatorial radiusi $a = 6378245 \text{ m}$, qutbiy radiusi $s = 6356863 \text{ m}$, o'rtacha radiusi (teng o'lchamli shar radiusi) $R_0 = \sqrt[3]{a^2c} = 6371032 \text{ m}$, Yer yuzasi maydoni – $5,1 \cdot 10^8 \text{ km}$ (shundan 29,2% quruqlikka, 70,8 okeanlarga to'g'ri keladi), hajmi $V = \pi a^2c = 1,1 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$, massasi $M = 6 \cdot 10^{27} \text{ g}$, o'rtacha zichligi $\rho = 5,5 \text{ g/sm}^3$ kabi kattaliklar aniqlandi.

Ekvatorial va qutbiy radiuslarning farqi $a - s = 21,4 \text{ km}$ ni tashkil etadi, qutblardagi siqilishi esa:

$$\varepsilon = \frac{a-c}{a} = 0,00335 \quad (4.1)$$

ga teng.

Geoidni geofizik asoslash. Klero sferoidi

Geoidning fizik ma'nosini aniqlash uchun, gravitatsion tortilish V va markazdan qochma U kuchlar potentsiallarining yig'indisi bo'lgan og'irlik kuchi potentsiali W tushunchasi kiritilgan.

$$W = V+U = V - \frac{1}{2} \omega^2(x^2+y^2) = V - \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi \quad (4.2)$$

bu yerda, ω – Yer aylanishining burchak tezligi, x, u yoki r , φ (kenglik) – yer yuzasidagi nuqtalarning koordinatalari. Yer ichidagi nuqtalarda, to'liq potentsialning yana bir bosim R bilan bog'liq hadi bor. Yer yuzasida erkin tushish tezlanishi vektori geoidga normal yo'nalgan bo'ladi. Geoid shaklini hisoblash formulasi V tortishish potentsialini ifodalashdan kelib chiqadi.

Bu ifoda Nyutonning butun olam tortishish qonunidan kelib chiqadi, bunga ko'ra tortishish kuchi F , elementlarning ($m_i = 1$ birlik massa, dm elementar massa) massalariga to'g'ri va ular orasidagi masofa kvadratiga r^2 teskari proporsional:

$$F = G \frac{m_i dm}{r^2} = G \frac{dm}{r^2} \quad (4.3)$$

bu yerda, $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ sm}^3 \text{ s}^{-2}$ gravitatsion doimiy. Yerdan tashqaridagi r masofadagi nuqtaning tortishish potentsiali:

$$V = G \int \frac{dm}{r} \quad (4.4)$$

bu yerda integrallash butun Yer hajmi bo'yicha olib boriladi. Agar Yerimiz radiusi R_0 bo'lgan aniq sfera bo'lib, undagi zichliklar sferik - simmetrik taqsimlangan bo'lganda edi, u holda Yer yuzidagi gravitatsion potensial quyidagicha bo'lar edi:

$$V = \frac{GM}{R_0} \quad (4.5)$$

bu yerda, M - Yer massasi.

Yerning real shakli (4.1) da ko'rganimizdek, sferadan tahminan 1/300 ga og'gan. Shuning uchun, (4.5) formulaga Lejandr polinomialari - sferik funktsiyalari tuzatish hadi kiritish kifoya. Yer markazi va uning o'qi bilan bog'liq koordinatlar sistemasida, Lejandrning birinchi polinomi $R_1 = 0$ bo'lsa, ikkinchi hadning yoyilishi, Lejandrning ikkinchi polinomi R_2 qo'shilganda:

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 - \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 I_2 P_2(\cos\theta) \right] \quad (4.6)$$

hosil bo'ladi, bu yerda

$P_2(\cos\theta) = \frac{2}{3} \cos^2\theta - \frac{1}{2}$ - Lejandrning ikkinchi polinomi.

$$\Theta = \frac{\pi}{2} - \phi$$

$$I_2 = \frac{C - A}{MR_0^2} \approx 0,0012 \cdot \varepsilon \quad (4.7)$$

A va S Yerning ekvatorial va qutbiy inersiya momentlari.

Birinchi yaqinlashtirishda, sferik funksiyalarning nolga teng bo'lmagan hadini hisobga olgan holda geopotensialning formulasini olamiz:

$$W = \left\{ \frac{GM}{r} \left[1 - I_2 \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \left(\frac{2}{3} \sin^2 \varphi - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \varphi \right\} \quad (4.8)$$

(4.7) formuladan ko'rinib turibdiki, I_2 qiymati kichik. Demak, Yer yuzasining har bir nuqtasida «yaqinlashtirilgan» geoid radiusi r va sferoid radiuslari R_0 orasidagi farq juda kichik. Shuning uchun, (4.8) geopotensialni keltirib chiqarayotgan jismni Klero sferoidi yoki oddiy qilib sferoid deb ataladi.

Geopotensial (4.8) va I_2 koeffitsiyenti (4.7) formulalari yana ko'pincha quyidagi qulayroq ko'rinishda ishlatiladi:

$$I_2 = \frac{C - A}{Ma^2} - \varepsilon \quad (4.7.1)$$

$$W = \left\{ \frac{GM}{r} \left[1 - I_2 \left(\frac{a}{r} \right)^2 \left(\frac{2}{3} \sin^2 \varphi - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \varphi \right\} \quad (4.8.1)$$

Oxirigi formulada, geopotensial ko'rsatkichlarini ektordagi erkin tushish tezlanishiga teng deb olib, bu tenglamadan radiusni hisoblasak, Klero sferoidi tenglamasini olamiz:

$$r = a(1 - \varepsilon \sin^2 \varphi) \quad (4.9)$$

bu yerda, $\varepsilon = +$

Yer shakli va unda massalarning taqsimlanishi

Yerning ichki tuzilishini o'rganishda o'rtacha inersiya momenti kattaligi muhim rol o'ynaydi:

$$I = \frac{C + 2A}{3} \quad (4.10)$$

Bu kattalik, o'rtacha zichlikni va Yerning tuzilishi haqidagi seysmologik ma'lumotlarni hisobga olgan holda, zichlikning chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini ko'rsatadi. Agar Yer zichligini o'zgarmas deb olsak, uning o'lchamsiz inersiya momenti I^* :

$$I^* = \frac{I}{MR_0^2} = 0,4 \quad (4.11)$$

Agar chuqurlik bo'yicha zichlik ortib borsa, u holda $I^* < I_0^*$, agar kamaysa $I^* > I_0^*$.

Yer uchun $I^* = 0,3315 \quad (4.12)$

ya'ni chuqurlik bo'yicha zichlik jiddiy ravishda oshadi.

Erkin tushish tezlanishi g quyidagidan topiladi:

$$g = - \text{grad}W \quad (4.13)$$

Uning azimutal tarkibi formulalari: $g_\varphi = \frac{\partial W}{r \partial \varphi}$, $g_r = - \frac{\partial W}{\partial r}$ ko'rinishda bo'ladi.

$$g = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{r \partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial r}\right)^2} \quad (4.14)$$

bundan, (4.8), (4.8.1) i (4.14) yordamida g va Yerning siqilishi ε orasidagi bog'liqlikni aniqlash mumkin:

$$g = g_a \quad (4.15)$$

bu yerda,

$$g_a = \frac{GM}{a^2} \left(1 + \frac{3}{2} I_2 \frac{\omega^2 a^2}{GM}\right) \quad (4.16)$$

(4.15) formula 1743-yilda Klero (Kleroning og'irlik kuchi haqidagi teoremasi) tomonidan olingan, uning oddiyroq ko'rinishi quyidagicha:

$$g = g_a (1 + \beta \sin^2 \varphi) \quad (4.17)$$

bu yerda,

$$\beta = q - \varepsilon; \quad q = \frac{\omega^2 a^3}{GM}$$

Shunday qilib, Yer sharining istalgan nuqtasida og'irlik kuchi – Sferoidning tortishish kuchi (4.16) va markazdan qochma kuch (4.17), joy relyefining ta'siri, massalarning har xil taqsimlanishi kabilar bilan bog'liq.

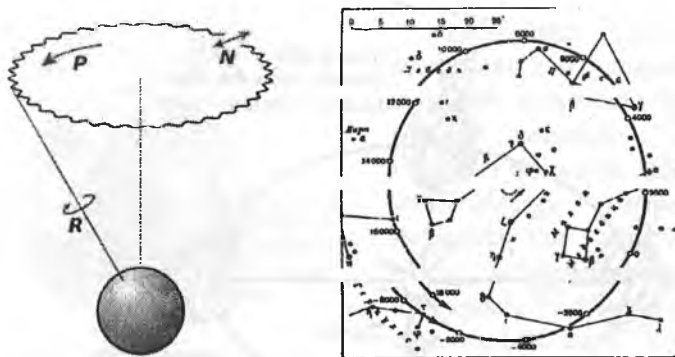
Pretsessiya va nutatsiya

Yerni aylanishini sekinlashtiruvchi jarayonlarga Yer o'qining pretsessiyasi, nutatsiyasi, quyilish (priliv) va qutblarning tebranishi kiradi.

Yeramizdan avvalgi II asrda grek astronomi Gipparx bahorgi tengkunlik nuqtasini asta sekin samodagi yulduzlarga nisbatan Quyoshning yillik harakati tomonga siljishini, ya'ni tengkunlik Quyosh ekliptika bo'ylab to'liq aylanishidan birmuncha oldinroq kelishini kuzatdi. Bu hodisa oldindan ro'y berish yoki grekchasiga pretsessiya nomini oldi.

Ekvatoridagi «qappayishga» bo'lgan Quyosh va oyning ta'siri natijasidagi harakat miqdori momenti presessiyani tashkil qiladi. Ma'lumki, Yer o'qi ekliptikaga nisbatan $23,5^\circ$ og'gan. Yer o'qining ekliptikaga normal holda asta sekin aylanishi presessiya nomini olgan. Yer o'qining qutbdan ma'lum bir balandlikda faraz qilingan yuzada qoldirgan chizig'i konusning asosini tashkil qiladi (4.2 a va 4.2 b-rasmlar). Bu konusning aylanishi 47° burchakni tashkil etadi. Yer o'qi taxminan 25800 yilda bir marta to'liq aylanib chiqib, ilgariqi nuqtasiga yetib keladi.

Presessiyaning o'rtacha tezligi yiliga 50,2» ni tashkil etadi.



4.2-rasm. a) Yer o'qi presessiyasi va nutatsiyasi.
b) Osmon sferasida presessiyaning kuzatilishi.

$$\omega_p = \omega_{pq} + \omega_{poy} = 50,2 \gg \text{yil}$$

$$\omega_{pq} = - \frac{(C - A)}{C} \frac{M_q}{R^2} \cos \theta$$

$$\omega_{poy} = - \frac{(C - A)}{C} \cos \theta$$

ω_p – Yer aylanishining burchak tezligi,

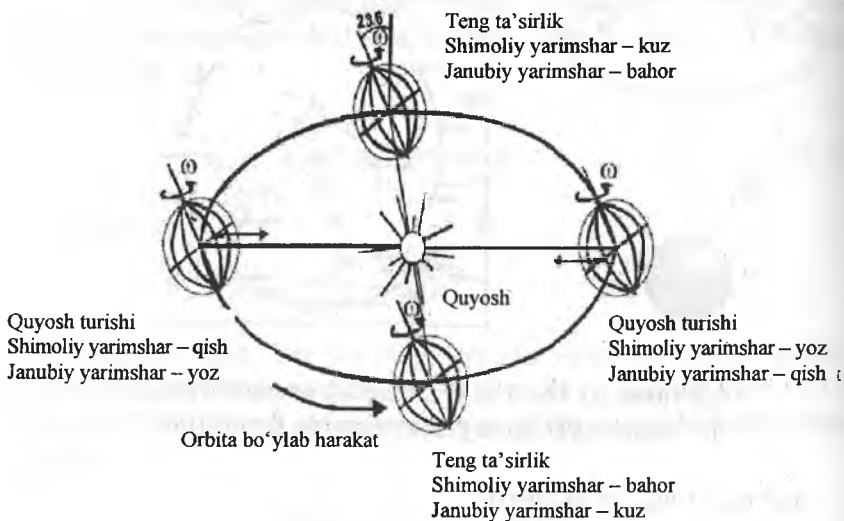
S, A – Yerning qutbiy va ekvatorial inersiya momenti,

M_q – Quyosh massasi,

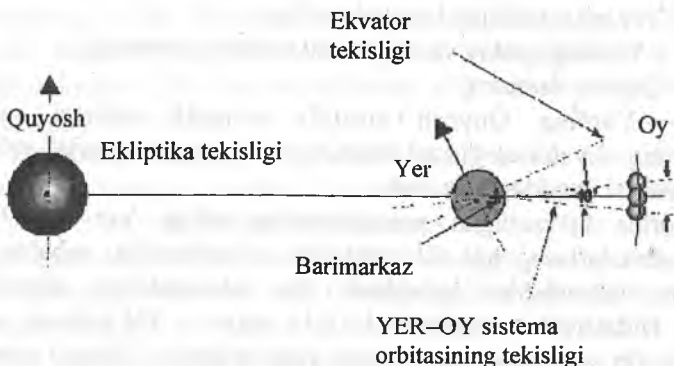
R – Yerning Quyosh atrofida aylanish orbitasi radiusi,

θ – Yerning ekvatorial yuzasi bilan Quyoshning ekvatorial aylanma orbitasi yuzasi orasidagi burchak.

Yuqorida ko'rsatilgan presessiyaning ustiga Yer va Oyning elliptik orbitalarining har xil sathlarda joydashganligi sababli hosil bo'ladigan tebranishlar qo'shiladi. Bu tebranishlarni nutatsiyalar deyiladi. Nutatsiyalar amplitudasi $18,4 \gg$ davri – 306 sutkani tashkil etadi. Yer-Oy sistemasining orbitasi yuzi ekliptika chizig'i tomonga og'gan va bu og'ish 18,6 yilda $+5^0$ dan -5^0 gacha o'zgaradi. Sistemaning umumiy massalar markazi (baritsentr) Yer markazidan Yer radiusining $0,8$ qismiga uzoqlashgan, lekin u planetaning ichida joylashgan (4.4-rasm).



4.3-rasm. Yer o'qi presessiyasi sababi. Quyoshning Yer ekvatoridagi «qappayishga» bo'lgan gravitatsion ta'siri ikkala «Quyosh turishida» bir xil moment hosil qiladi va ikkala «Quyosh tengkunliklarida» hech qanday moment hosil qilmaydi.



4.4-rasm. Yer – Oy – Quyosh sistemasidagi orbital harakatlar sxemasi



4.5-rasm. Yer ichki yadrosi, og'irlik markazi va o'qining ko'chishi sxemasi.

turilishi ma'lum (4.5-rasm).

Yer o'qi fazoda qo'zg'almas va qutblarning Chandler tebranishlari shimoliy kenglikning davriy variatsiyalarida ko'rinadi. Chandler tebranishlari amplitudasi o'zgaruvchan bo'lib (0,14), davri $T_{ch} = 430 - 435$ sutkani tashkil etadi. Seysmotektonik jarayon va Chandler tebranishlari o'zaro bog'liqligini ifodalovchi quyidagi ma'lumotlar olingan: 1) Litosferaning yuqori qismida seysmotektonik jarayon hosil qilayotgan tebranishlar o'qlarning Chandler tebranishiga olib keladi; 2) Chandler tebranishlari chastotasi ikkiga bo'linadi, ya'ni meridional $f_{ch1} = 0,835 \text{ yil}^{-1}$ ($T_{ch1} = 437$ kun) (tinch okean) va kenglik bo'yicha yo'nalgan $f_{ch2} = 0,860 \text{ yil}^{-1}$ ($T_{ch2} = 425$ kun) (alp - himolay) seysmik mintaqa; 3) O'qlar harakati traektoriyasi radiuslari taxminan $0 \in,05$ ni tashkil etadi, energiyasi esa kuchli zilzila hosil qilgan seysmotektonik energiyaga teng.

Shundan kelib chiqib, quyosh faolligi, seysmotektonik jarayonlar, f_{ch1} va f_{ch2} Chandler chastotalari yillik komponentlarining o'zaro bog'liqligi haqida faraz ilgari surilmoqda.

Yerning xususiy tebranishlari

Har qanday jismga kuch ta'sir qilganda unda tebranish hosil bo'ladi. 1911-yilda Lyav Yer shari bilan teng po'lat sharning xususiy tebranishlarini hisoblab chiqdi. U bir soatga teng chiqdi. Yer xususiy tebranishlarini 1952-yil Kamchatkadagi kuchli zilzila natijasida Benoff kuzatdi. Uning davri 57 minutni tashkil etdi. 1960-yildagi

1973-yilda Yu.N.Avsyukov tomonidan Yer qutblarining tebranishlarini tushuntiruvchi gipoteza o'rtaga tashlandi. Qutblarning Chandler tebranishi nomini olgan tebranishlarga – barisentr siljishi natijasida Yer ichki yadrosining suyuq tashqi yadrodagi harakati olib keladi. Yadroning siljishi 100 m ni tashkil etadi. Yer yuzidagi katastrofik vulqonlar va zilzilalar 6–7 yillik davrda, ya'ni Chandler tebranishlari davrida qaytarilib

Chili zilzilasidan olingan seysmogrammalarni talqin qilish, bu davrni 54 minut ekanligini ko'rsatdi. Yerning xususiy tebranishlari ikki turda bo'ladi. Ularni modalar deb ataladi. Sferik tebranishlar S – modani, burama tebranishlar – T modani hosil qiladi. Har bir moda o'z konfiguratsiyasiga ega.

Burama tebranishining asosiy modasiga faqatgina bitta yuza Yerni ekvator bo'ylab kesuvchi yuza kiradi. Bu holda shimoliy va janubiy yarim shardagi zarrachalar bir – biriga qarama qarshi tomonga siljiydi, ya'ni shimoliy yarim shardagi zarrachalar kenglik bo'yicha bir biriga parallel holda bir tomonga siljisa, janubiy yarim shardagi zarralar bir biriga parallel holda boshqa tomonga siljiydi.

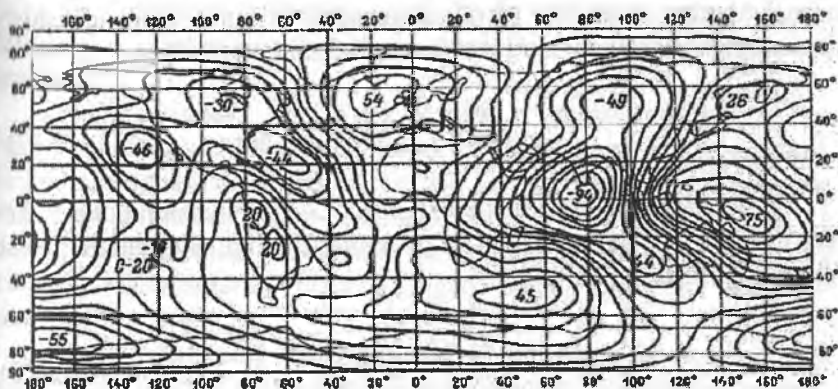
Sferik tebranishlarning asosiy modasi to'pning elastik deformatsiyasi kabi. Bunda Yer sharining galma gal siqilishi va kengayishi ro'y beradi.

Yer xususiy tebranishlarining so'nishi muhitning mexanik mustahkamligi Q bilan aniqlanadi. U har bir moda uchun har xil. Mexanik mustahkamlik kuzatishlarning ko'rsatishicha chuqurlik bilan ortib boradi. Uning ko'rsatkichlari quyi mantiyada yuqori mantiyadagidan kattaroq. Eng katta mexanik mustahkamlik σ_{S_0} radial moda uchun olingan bo'lib, ko'rsatkichi 25000ni tashkil etadi. Bu modaning davri 25,5 minutni tashkil etadi. Umuman, elastik to'lqinlar energiyasining yutilishi, asosan siljish deformatsiyalari bilan bog'liq. Yerning xususiy tebranishlari bir necha kunda so'nadi.

Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari bo'yicha geoid

Yuqorida Yerning ekvatorial qappayishiga Quyosh va Oyning kuch momentlari sababchi ekanligi ko'rsatilgan edi (4.3 - rasm). Albatta, Yer ham Quyosh va Oyga nisbatan xuddi shunday moment hosil qiladi. Oyga qaratilgan moment uning orbitasiga sezilarli darajada ta'sir etadi. Bu moment Yer atrofidagi sun'iy yo'ldoshlar harakatiga ham ta'sir ko'rsatadi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari massalari Yerga nisbatan juda kichik bo'lganligi uchun ular Yerning harakatiga deyarli ta'sir etmaydi. Lekin Yerning momenti ta'siri natijasida sun'iy yo'ldoshlar orbitalari o'zgaradi va bu o'zgarish Yerning sferik simmetriyadan og'ishini ko'rsatadi. Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari bo'yicha tuzilgan geoid (4.6-rasm), shakli bo'yicha ellipsoiddan kam

farq qiladi. Og'ishlar esa ellipsoid siqilishidan 1000 va undan ko'p marta kichikroq.



4.6-rasm. *Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari bo'yicha Geoid balandliklari xaritasi*

Geoid yuzasidagi botiqlik va balandliklarning yer qobig'i tuzilishiga

bog'liq emasligi (qit'alar va okeanlar joylashishiga) qiziqarli. Bu qit'alar masshtabida massalarning kompensatsiyasi (izostaziya) mavjudligini ko'rsatuvchi ajoyib natijadir. Agar qit'alar ideal qatlamli Yer ellipsoidi ustiga tushirilgan bo'lganda, qit'alar chegaralari bilan geoid shaklining bir – biriga bog'liqligi aniq ko'rinar edi. Bunda geoid yuzasidagi botiqlik va balandliklar farqi 10 barobar katta bo'lardi. Geoid shaklining o'ziga xosligini yoki mantiyaning chuqur qatlamlaridagi zichliklar farqi bilan (yuqori mantiyadagi plastik qatlamdan pastroqda, izostatik kompensatsiya sathida) yoki konveksiya tufayli hosil bo'layotgan zichliklar farqi bilan bog'liqligini faraz qilib tushuntirsa bo'ladi.

Yerning sun'iy yo'ldoshlarini kuzatish natijalari Yerning siqilishini 1/298,25 ekanligini 1/30000 aniqlikda berib, Yerning o'rtacha ekvatorial radiusi $a = 6378,160$ km va qutblarda $s = 6356,775$ km ekanligini ko'rsatadi.

4.2. Yerning elastikligi va zichligi

Yerda zichliklarning taqsimlanishini ifodalovchi barcha nazariyalardan, faqatgina sferik simmetriya va butun olam tortishish qonunlariga asoslanganlarigina birmuncha aniq o'rganilgan:

$$g = \frac{GM}{R^2}, \quad dm = 4\pi r^2 \rho dr \quad (4.19)$$

bu yerda, g – erkin tushish tezlanishi, G – gravitatsion doimiy, M – Yer massasi, R – uning radiusi va ρ – uning zichligi. Hidrostatik nisbat holati bajarilsa:

$$\frac{dP}{dz} = - \frac{dP}{dr} = g\rho \quad (4.20)$$

S.Laplas, Yer radiusi bo'ylab zichlik va bosimning Yer ichidagi o'zgarishlari tenglamasini topdi:

$$\frac{dP}{dr} = -4\pi G\rho r^2 \int_0^r \rho q^2 dq \quad (4.21)$$

bu yerda, R – bosim, q – sharsimon qatlamning radius-vektori $r < q \leq 0$. Bu tenglamalar, moddaning holatini hisobga olgan holda, Yer va boshqa sayyoralarda moddalar zichligi modellarini yaratishga asos bo'lib xizmat qildi. Bu modellar Emdem, Rosha, Darvin, Lejandr – Laplas, Vilyamson – Adams, M.S.Molodenskiy, V.N.Jarkov va boshqalarning modellari aks ettirilgan.

Seysmologiyada aniqlangan seysmik to'liqlar tezliklari haqidagi ma'lumotlar (3.5, 3.6-rasmlar), zichlik $\rho(r)$, siqilish moduli $K(r)$ va siljish moduli $\mu(r)$ larni, r – radius funksiyasi sifatida aniqlash imkonini bermaydi. Yuqorida olingan (3.19) formula bo'yicha esa bu kattaliklarning faqatgina nisbatlarini hisoblash mumkin. Bu kattaliklarni alohida topish uchun, Yer massasi M , uning inersiya momenti S yoki u bilan bog'liq $I_2 = \frac{\varepsilon_H C}{Ma^2}$ kattaligini kiritish kerak. Oxirigi formulada, ε_H – dinamik siqilish, a – Yerning ekvatorial radiusi. Bulardan tashqari yana, Yerning eng yuqori qatlamlaridagi ρ_0 zichlikni chegaraviy shart sifatida kiritish lozim. Ma'lumki, Yer

qobig'idagi jinslarning zichliklari keng ko'lamda o'zgaradi, shuning uchun ρ_0 ni Moxorovichich chegarasidan pastda, ya'ni yuqori mantiyadagi bir jinsli moddalar boshlangan joydan olinadi.

Yer qa'ridagi zichlikni aniqlashning Bullen, Rado, Adams-Vilyamson, Gutenberg hisoblash sxemalari va zichlik modellari mavjud.

Bullen sxemasi. Yer qa'rini bevosita o'rganish mushkul bo'lsa-da, mantiya va yadrodagi zichlikning taqsimlanishini ularda seysmik to'lqinlarning tarqalishi tezliklari orqali baholash mumkin. 1950 yilda K.Bullen tomonidan ishlab chiqilgan usul keyinchalik uning o'zi va boshqa tadqiqotchilar tomonidan, Yerning inersiya momenti va uning xususiy tebranishlarini hisobga olgan holda to'ldirilib, takomillashtirildi.

Yerda zichlikning taqsimlanishini aniqlashning bu usuli asosida gidrostatika (4.19 – 4.21) va termodinamikaning tenglamalari yotadi. Ular zichlikning radial gradientlarini muhitning seysmik parametrlari bilan bog'laydi. Seysmik to'lqinlarning tezliklari chuqurlik sari odatda, ortib boradi (3.5, 3.6-rasmlar). Seysmik godograflarni (3.4-rasm) qayta ishlash (interpretatsiya), seysmorazvedkadan ma'lum Gerglots – Vixert usuli bo'yicha olib borilib, bunda tezliklarning chuqurlik bo'yicha o'zgarib borishi aniqlanadi. To'lqinlar tezligining muhit parametrlari bilan bog'liqligi tenglamalaridan, modda zichligi emas, faqatgina zichlikning shu muhitdagi gradientlari baholanadi. Shuning uchun, zichlikning chuqurlikdan bog'liqligi grafigini tuzish uchun, chegaraviy shart sifatida ρ_0 ko'rsatkich kiritilishi lozim. Bunda, alohida geosferalar uchun olingan natijalarni bir-biriga bog'lash uchun (masalan, yadro va quyi mantiya uchun), zichlik bosimning shu ikki chegara orasida uzluksiz ekanligidan keltirib chiqariladi, va uning ko'rsatkichlari Yer massasi $M = 5,98 \cdot 10^{27} \text{ g}$, inersiya momenti $S = 8,038 \cdot 10^{44} \text{ g} \cdot \text{sm}^2$, Yerning o'rtacha radiusi $R_0 = 6371 \text{ km}$ larga zid bo'lmasligi kerak. Zichlikning chuqurlik bo'yicha taqsimlanishiga yanada aniqlik kiritish uchun Yerning xususiy tebranishlarining chastotalari haqidagi ma'lumotlar ham qo'shiladi.

Shunday qilib, zichlikning chuqurlik bo'yicha o'zgarishining har qanday qonuniyatlari, quyidagi uchta shartni bajarishi kerak:

$$\begin{cases} \rho_0 = 3,3 - \frac{3,5r}{\text{cm}^3} \\ M = 4\pi \int_0^{R_0} \rho r^2 dr \\ C = \frac{8\pi}{3} \int_0^{R_0} \rho r^4 dr \end{cases} \quad (4.22)$$

Tadqiqotchi Rado tomonidan, zichlikning chuqurlik bo'yicha kamaymasligi sharti kiritildi:

$$\frac{d\rho}{dr} \geq 0 \quad (4.23)$$

Masalaning bunday qo'yilishi (4.22, 4.23) Radoga, har bir berilgan chuqurlik uchun zichlikni hisoblash imkonini berdi. Buning uchun u quyidagi oddiy sxemani ishlatdi.

Ayaylik, ρ – zichlik o'zgarishining haqiqiy qonuni bo'lsin, δ – esa boshqa qonuniyat, lekin u ham (4.22) qonuniyatga bo'ysinadi. U holda:

$$\begin{cases} M = 4\pi \int_0^{R_0} \delta r^2 dr \\ C = \frac{8\pi}{3} \int_0^{R_0} \delta r^4 dr \end{cases} \quad (4.24)$$

(4.22) tenglamaning birinchisidan (4.24) tenglamaning birinchisini ayirsak,

$$\int_0^{R_0} (\rho - \delta) r^2 dr = 0 \quad (4.25)$$

ni topamiz. Bu yerda r^2 o'z ishorasini o'zgartirmasligidan, δ qonuniyatning o'zgarishi qanday bo'lishidan qat'iy nazar, $(\rho - \delta)$ o'z ishorasini o'zgartiradigan, $r = r_1$ bo'lgan kamida bitta qiymat mavjud.

(4.22) dagi uchinchi tenglikdan (4.24) dagi ikkinchi tenglikni ayirib:

$$\int_0^{R_0} (\rho - \delta) (r^4 - r^2 r_1^2) dr = 0 \quad (4.26)$$

ni hosil qilamiz. $R = r_1$ da $(\rho - \delta)$ ishorasini o'zgartiradi, lekin xuddi shu nuqtada $(\sigma^4 - r^2 r_2^2)$ ham o'z ishorasini o'zgartiradi, bundan esa, integral ostidagi (4.26) ifoda $r = r_1$ bo'lganda ishorasini o'zgartirmasligi kelib chiqadi. Shunday qilib, yana bir $r = r_2$ bor-ki, unda $(\rho - \delta)$ o'z ishorasini o'zgartiradi.

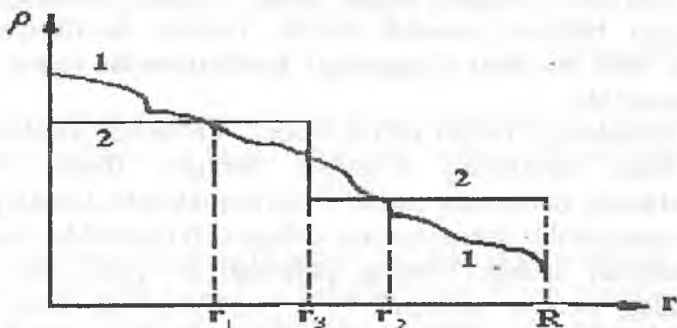
Δ ga, δ sakrab o'zgaradigan qandaydir r_3 nuqtadan boshqa hamma joyda, Rado (4.23) shartini $\frac{d\rho}{dr} \geq 0$ ko'rinishda qo'yamiz. Bunda quyidagi qonuniyatni topamiz:

$$\delta = \delta_1 \text{ pri } r \leq r_3,$$

$$\delta = \delta_2 \text{ pri } r \geq r_3.$$

Δ_1 va δ_2 ko'rsatkichlari (4.24) dan aniqlanishi qiyin emas.

4.7 – rasmdagi siniq chiziq 2-2 δ o'zgarishini, 1-1 chiziq – δ ning chuqurlik bo'yicha haqiqiy yo'nalishini ko'rsatadi. 4.7-rasmdagi va (4.23) shartdan ko'rinib turibdi-ki, $r = r_3$ bo'lganda, δ egri chizig'i albatta $\delta = \delta_1$ va $\delta = \delta_2$ lar orasidan o'tadi. Bundan, δ_1 va δ_2 ko'rsatkichlar Yerning markazidan r_3 masofadagi zichliklarning chegarasi ekanligi kelib chiqadi. Lekin, Radoning chegaralari juda keng va shuning uchun ular Yerdagi zichliklar haqida to'liq ma'lumot bera olmaydi.



4.7-rasm. Rado sharti bo'yicha zichlikning Yer radiusiga bog'liqligi grafigi

Adams – Vilyamson modeli. Bu model Yerning kimyoviy tarkibining bir jinsliliigi va gidrostatik bosimning quyidagi shartni bajarishiga asoslangan:

$$dp = -\rho g dr,$$

bu yerda, ρ va g radius r ga teng bo'lgandagi zichlik va erkin tushish tezlanishi. Siqilish moduli K bosim orttirimasining uning natijasida hosil bo'lgan siqilish orttirimasiga nisbati bilan belgilanadi (issiqlik miqdori va modda massasi o'zgarimasdan qoladi deb olinadi), ya'ni

$$K = \rho \frac{dp}{d\rho}$$

$$V_s^2 = \frac{\mu}{\rho}; \quad \frac{K}{\rho} = V_p^2 - = F$$

larni e'tiborga olsak, Adams – Vilyamson tenglamasini topamiz: bu yerda F – seysmik parametr.

$$\frac{d\rho}{dr} = - \frac{\rho g}{\Phi} \quad (4.27)$$

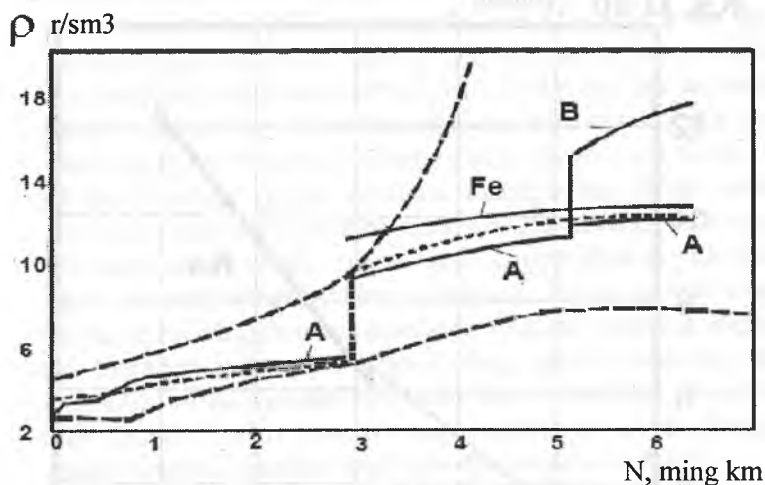
Bu tenglamani $g = \frac{GM}{r^2}$ bilan birgalikda yechsak va seysmik parametr ma'lum bo'lsa, zichlikni Yer radiusi bo'yicha taqsimlanishini aniqlaymiz (G – gravitatsion doimiy). S to'liqlarning ichki yadrodagi tezligini bilgan holda, Puasson koeffitsiyentining kattaligini baholash mumkin bo'ldi. Puasson koeffitsiyenti Yer yadrosi temir deb faraz qilingandagi koeffitsiyentdan yuqori ekanligi ma'lum bo'ldi.

Guttenberg – Bullen zichlik modeli. 4.8-rasmda uzluksiz chiziq «A» bilan zichlikning o'zgarishi berilgan. Bunda 500 km chuqurlikdagi zichlikning sakrab o'zgarishi ikkinchi darajali polinom bilan almashtirilib interpolatsiya qilingan. Bu modelda «S» qatlam va yadrodan boshqa Yerning qatlamlari bir jinsli deb olingan. Yadroning inersiya momenti $C_1 = 0,387m_1r_1^2$ ga teng. Buning natijasida olingan zichlik modeli «A» Bullenning modeli nomini olgan. Bu model bilan Guttenbergning modeli ham bir – biriga to'g'ri keladi. Ularning asosiy farqi shundaki, Guttenberg modeli uning o'zining godograflari asosida tuzilgan, Bullen modelida esa zichliklar Djeffris – Bullen seysmik kesimlari bo'yicha hisoblangan.

Bullen zichlik modeli. 4.8-rasmdagi zichlikning «V» modeli shu rasmdagi punktir chiziq bilan berilgan Molodenskiy modeliga aynan

o'xshash. Faqat ichki yadroda «V» modelida zichlik oshiq ko'rsatilgan.

4.9-rasmdagi ma'lumotlardan, yadroga o'tishda K siqilish koeffitsiyenti, zichlik sakrab o'zgarishiga qaramay, uzluksiz asta o'zgarib boradi. Shunga qaramay, K_S uzluksiz o'zgarib borishi haqida postulatga asoslanib, Yerning zichlik modeli taklif etildi. Natijada Yerning «V» Bullen modeli paydo bo'ldi (4.8-rasm).

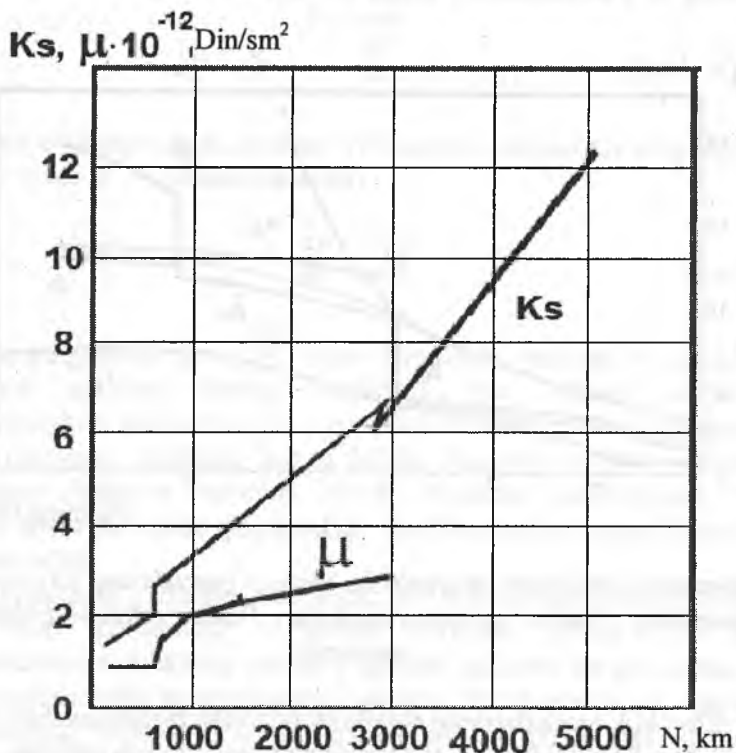


4.8-rasm. Zichlikning chuqurlik bo'yicha o'zgarishining «A» va «V» Gutenberg - Bullen va Bullen modellari. Punktir bilan Molodenskiy chegarasi

Elastiklik modullarining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini (4.9 - rasm) dagi bog'liqlik va (3.19) formulalar orqali topish mumkin. 4.9 - rasmda K_S va μ larning Gutenberg - Bullen «A» modeli uchun ko'rsatkichlari berilgan.

Agar zichlikning chuqurlik bo'yicha o'zgarishi qonuniyatlari ma'lum bo'lsa, bosim va erkin tushish tezlanishlarining chuqurlik bo'yicha o'zgarishini ham hisoblash mumkin. 4.8-rasmdagi 1 va 2 chiziqlar g va p larning Yer ichida zichlikka qarab o'zgarishini ko'rsatadi (Gutenberg - Bullen modeli «A»). Rasmdan g ning mantiyada deyarli o'zgarmasligini ko'rsa bo'ladi.

Yer mantiyasidagi zichliklar. Mantiyani seysmologik ma'lumotlar bo'yicha, odatda 400 km chuqurlikkacha bo'lgan yuqori (V qatlam), 400 – 1000 km oraliqdagi o'tish (S qatlam) va 2900 km chuqurlikkacha yetib boruvchi quyi mantiya (D) larga ajratishadi. Oraliqdagi o'tish qatlamini Golitsin qatlami deb ham atashadi, bu yerda tezliklar gradienti keskin oshadi.



4.9-rasm. Elastiklik parametrlarining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi

Okeanlar ostida yuqori mantiyada seysmik tezliklar pasaygan qatlam – Guttenberg qatlamini ajratishadi, u astenosfera bilan bog'liq deb faraz qilinadi. Qit'alar ostida tezliklar pasaygan zona odatda kuzatilmaydi, yoki sust ajratiladi. Yuqori mantiya tarkibiga

litosferaning qobiqosti qismi ham kiritiladi. Yuqori mantiyaning litosfera tarkibiga kiruvchi bu qismi sovib, kristallashgan mantiya moddasidir. Okean ostida litosfera qalinligi rift zonalarida noldan, okeanlarning abissal chuqurliklarida 60 – 70 km gacha yetadi. Qit'alar ostida litosfera qalinligi 200 – 300 km gacha yetadi. 4.8-rasmdan, yuqori mantiya (V qatlam) zichligi Moxo chegarasidan pastda 3,3 – 3,32 g/sm³ dan 400 km chuqurlikda 3,63- 3,7 g/sm³ gacha oshib boradi. So'ng oraliq mantiya yoki o'tish (S Golitsin qatlamida) zichlik gradienti keskin oshib, 1000 km chuqurlikda 4,55 – 4,65 g/sm³ gacha yetadi. Golitsin qatlami sekin asta quyi mantiyaga o'tadi, u chiziqli funktsiya ravishda yadro tomon ortib 5,53 – 5,66 g/sm³ gacha yetadi.

Mantiya zichligining chuqurlik bo'yicha ortib borishining asosiy sababi, bosimning ortib borishi. Mantiya quyi chegarasida bosim 1,35 – 1,40 Mbarni tashkil yetadi. Ayniqsa, mantiyaning silikat moddasi 400 – 1000km intervalda sezilarli darajada zichlashadi. A.Ringvudning ko'rsatishicha, xuddi mana shu chuqurliklarda ko'pchilik minerallar polimorf o'zgarishlarga uchraydi. Mantiyada konvektiv oqimlarning mavjudligidan bu zonlarda harorat adiabatik darajaga yaqinligi kelib chiqadi, ya'ni mantiyaning qo'shni hajmlari bilan o'zaro issiqlik o'tkazuvchanlikka asoslangan issiqlik almashinish yo'qoladi. Bunday holda mantiyaning issiqlik yo'qotishi faqatgina uning yuqori qatlami, litosfera orqali amalga oshishi mumkin.

Mantiya moddasi zichligining taqsimlanishini bilgan holda, uning massasini hisoblash mumkin. U $4 \cdot 10^{27}$ g ni tashkil qilib, Yerning umumiy massasining 67% tashkil yetadi. Quyi mantiyaning ostki chegarasida qalinligi 200 km bo'lgan D_4 qatlam joylashgan. Unda seysmik to'lqinlar gradienti pasayadi va ko'ndalang to'lqinlarning so'nishi kuchayadi. Yer yadrosining yuzasidan qaytgan to'lqinlarning dinamik xususiyatlarini tahlil qilib I.S.Berzon mantiya va yadro orasida ingichka qalinligi tahminan 20 km bo'lgan o'tish qatlamini ajratgan. Bu qatlamda ko'ndalang to'lqinlar tezligi 7,3 km/s dan, nolgacha kamayadi, qatlamga keyinchalik Berzon qatlami nomi berilgan.

Quyida I.G.Soroxtinning hozirgi Yerda zichlik, harorat, bosim va erkin tushish tezlanishlarining taqsimlanishi jadvali berilgan.

**Zamonaviy Yerda zichlik, harorat, bosim va og'irlik kuchi
tezlanishining taqsimlanishi**
[Soroxtin, Ushakov, 2002, s. 70]

Chuqurlik, km	Zichlik, g/sm ³	Harorat, K	Bosim, kvar	Og'irlik kuchining tezlanishi, sm/s ²
0	2,85	288	0	981
200	3,30	1770	65,5	990
430	3,60	1940	138	997
430	3,82	2010	--	--
600	4,09	2130	218,6	1000
670	4,16	2170	247,2	1001
670	4,37	2110	--	--
800	4,49	2170	305,7	1000
1000	4,61	2260	397,7	996
1200	4,72	2360	491	994
1400	4,85	2450	587,8	993
1600	4,94	2540	686	993
1800	5,04	2640	786,3	995
2200	5,25	2820	994,9	1006
2600	5,45	3010	1216,2	1033
2886	5,60	3130	1384	1067
2886	9,92	--	--	--
3000	10,06	3310	1503	1041
3400	10,60	3880	1909	945
3800	11,06	4400	22,87	841
4200	11,43	4870	2628	732
4600	11,72	5280	2926	622
5000	11,97	5620	3175	517
5120	12,04	5710	3242	490
5120	13,00	--	--	--
5400	13,10	5890	3382	386
5800	13,23	6060	3518	227
6000	13,27	6110	3559	155
6200	13,29	6140	3580	68
6371	13,29	6140	3583	0

4.3. Yerning gravitatsiya maydoni. Og'irlik kuchi anomaliyalari

Yer shaklini aylanma harakat qilayotgan ellipsoid deb faraz qilinadi va geoid tushunchasi kiritiladi, hamda Yer massasi zichligi bir jinsli moddalardan tuzilgan deb qabul qilinadi. Bunda, Yer yuzasidagi og'irlik kuchining o'zgarishi asosan turli kengliklarda markazdan qochma kuchning potensialiga va Yerning ekvatorial va qutbiy radiuslariga bog'liq bo'ladi. Biroq, real sharoitlarda og'irlik kuchi o'zgarishining xarakteri, normal nazariy hisobdan farq qiladi. Bu normaldan og'ish Yerdagi, ayniqsa uning yuqori qatlamlarida zichliklarning turlicha bo'lishiga bog'liq. Kuzatilgan erkin tushish tezlanishining g va og'irlik kuchining γ_0 normal qiymatining farqi og'irlik kuchi anomaliyasi deyiladi va quyidagi (4.28) formula orqali aniqlanadi:

$$\Delta g = g - \gamma_0. \quad (4.28)$$

Og'irlik kuchining normal qiymati xalqaro formula orqali topilgan va 1971 yilda Moskva shaharida qabul qilingan:

$$\gamma_0 = 978,0318(1 + 0,0053024\sin^2\varphi - 0,0000059\sin^2 2\varphi),$$

bu yerda, φ – kenglik.

Og'irlik kuchi anomaliyalari asosan yer qobig'i va yuqori mantiyadagi zichliklarning turlicha taqsimlanishi bilan bog'liq. Bundan tashqari, geografik kenglik va joyning dengiz sathidan balandligi, joyning relyefi kabi omillar ham o'z rolini o'ynaydi. Bu omillarning kuzatilayotgan Δg ga ta'sirini yo'qotish uchun, tuzatmalar kiritiladi yoki buni boshqacha aytganda reduksiya deb ataladi. Reduksiya anomaliyani belgilab beradi.

Balandlik uchun tuzatma. Faya (bo'sh havo uchun) anomaliyasi. Odatda gravimetrik kuzatish nuqtalari dengiz sathidan balandda joylashgan. Kuzatilgan ko'rsatkichlarni bir – biri bilan taqqoslash uchun, ularni dengiz sathiga keltiriladi, ya'ni «balandlik» uchun tuzatma kiritiladi. Bunda, dengiz sathi bilan kuzatish nuqtasi orasidagi massalar ta'siri hisobga olinmaydi.

$$\delta g_1 = 0,3086H$$

bu tuzatmani hisobga olgan holda, og'irlik kuchining Faya anomaliyasini Δg_1 ni hisoblash mumkin. U kuzatilgan kattalikdan,

berilgan balandlikka keltirilgan normal maydonning ayirmasiga teng (Gelmert yoki Kassinis formulasi):

$$\Delta g_1 = g - \gamma_0 + 0,3086H \quad (4.29)$$

Oraliq qatlam uchun tuzatma. Buge anomaliyasi.

Bunda kuzatuv nuqtasi va geoid orasidagi oraliq qatlamdagi massalarning tortishish kuchining ta'siri hisobga olinadi va u quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$g = 0,0451\rho H$$

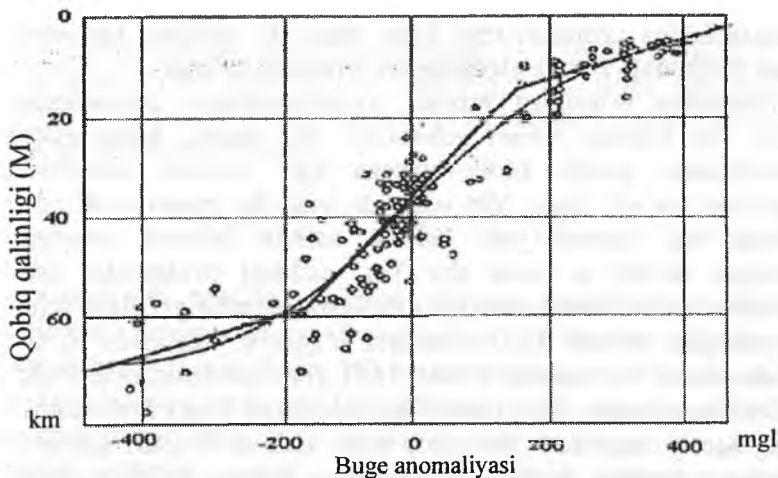
Tog'li rayonlarda oraliq qatlamning o'rtacha zichligi $2,67 \text{ g/sm}^3$ ga teng qilib olinadi, tekislik rayonlarda esa, $2,3 \text{ g/sm}^3$ deb qabul qilinadi. Oraliq qatlam massalari o'lchangan og'irlik kuchi qiymatini ko'paytirgani uchun bu tuzatish manfiy bo'ladi. Bu Buge anomaliyasi deyiladi va quyidagi (4.31) formula orqali aniqlanadi:

$$\Delta g_2 = g - \gamma_0 + 0,3086H - 0,0418 \rho H \quad (4.31)$$

Buge anomaliyasi bilan Moxo chegarasining yotish chuqurligi orasida aniq bog'liqlik mavjud. Bu bog'liqlik orqali seysmik ma'lumotlar bo'yicha Moxo chegarasi aniqlangan joylardagi Buge anomaliyasi hisoblanadi. So'ng Δg_2 mavjud hududlar uchun statistik yo'l bilan Moxo chegarasi chuqurligini hisoblash mumkin. Yer uchun bu bog'liqlik 4.10. - rasmda berilgan:

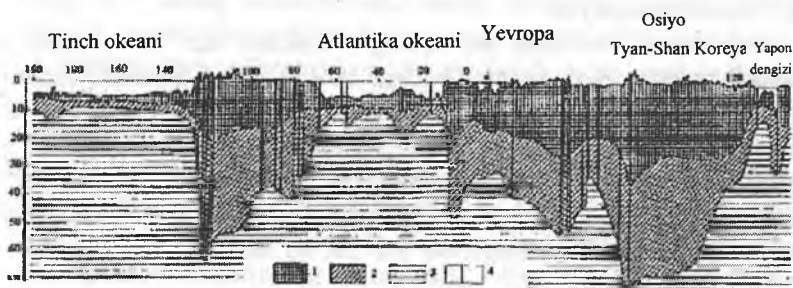
$$M = 35(1 - th(0,0037\Delta g_2)).$$

Izostaziya mavjudligini 1735–1745-yillarda Perudagi meridian yoyini o'lchash vaqtidagi geodezik kuzatishlar natijasida Buge boshchiligidagi fransuz ekspeditsiyasi birinchi bor tahmin qilgan. Ekspeditsiya qatnashchilari And tog'lari tortishishi o'lchov asbobiga ta'sir etib shokulning (otves) og'ishini hosil qilishini kuzatishgan. Buge bu hodisani o'rganganda, vertikal dan og'ish And tog'i ta'sirining nazariy hisoblangan ko'rsatkichidan kichik ekanligini topgan. Bir necha yildan so'ng Boskovich bu hodisaning sababini tog'lar ostidagi moddalarning yetishmovchiligi bilan tushuntirdi.



4.10-rasm. *Buge anomaliasi bilan Yer qobig'i qalinligi orasidagi bog'liqlik*

4.11-rasmda Buge anomalialari haqidagi ma'lumotlarga asosan 40° sh.k. dagi Yer qobig'i kesimi berilgan.



1-Metamorfik va cho'kindi yotqiziqli granit; 2-bazalt; 3-giperbavit; 4-seysmik aniqlashlarga ko'ra Yer qobig'i chuqurligi.

4.11-rasm. *Buge anomalialari bo'yicha 40° sh.k. dagi Yer qobig'i kesimi*

Keyingi yuz yillikda shunga o'xshash natija Himolay tog'lari atrofida o'tkazilgan kuzatishlarda qayd qilingan. Kuzatilgan shokulning og'ishini tushuntiruvchi And va Himolay tog'lari ostidagi massalar yetishmovchiligi, shu tog'larning ustki qismlari massalari

taqsimlanishiga taxminan teng kelar ekan. Bu hodisani tushuntirish uchun 1889-yilda Detton «izostaziya» terminini kiritadi.

Izostaziya prinsipiga asosan, «kompensatsiya chuqurligidan» pastda Yer ichidagi bosim gidrostatik. Bu degani, kompensatsiya chuqurligidan pastda birlik yuzaga ega vertikal ustunlarning og'irliklari bir xil. Agar, Yer yuzasida oshiqcha massa hosil bo'lsa, masalan tog' tizmasi yoki muzlik, hamda izostatik muvozanat erishilgan bo'lsa, u holda shu Yer yuzidagi strukturalar ostida, ekvivalent tarzda kompensatsiya qiladigan massalar yetishmovchiligi ham mavjud bo'ladi. Bu hodisalarni o'rganish natijasida XIX asr oxirida deyarli bir vaqtning o'zida, 1851-yilda geodezist olim Pratt va 1855-yilda astronom Yeri tomonidan izostaziya farazi shakllantirildi. Uning asosiy mazmuni: yer qobig'ining alohida bloklari gidrostatik muvozanat holatida bo'lib, ular qayishqoq magma ustida ko'tariladi (yengil bo'lganda) yoki botadi (og'ir bo'lganda). Bunda yuqoridagi ortiqcha massalar pastdagi massalar yetishmovchiligi bilan kompensatsiya qilinadi (4.11-rasm).

Yuqorida ko'rsatilgan geoid to'liqlari (4.6 - rasm), Faya va Buge anomalialari (4.10, 4.11-rasmlar) izostaziyaning asosiy prinsiplarini to'g'riligini tasdiqlaydi.

Pratt farazi bo'yicha yer qobig'i bloklari har xil zichlik va balandlikka ega. Blok qancha baland bo'lsa, uning o'rtacha zichligi shuncha kichik bo'ladi. Har xil bloklar massalarining kompensatsiyasi mantiyadagi qandaydir «T» sathda amalga oshadi. Demak, agar ρ_1 va ρ_2 – qit'alar bloklari zichligi, ρ_3 – okeanik blok zichligi, N – blokning dengiz sathidan balandligi, R – dengiz chuqurligi bo'lsa, u holda Pratt farazi bo'yicha quyidagi tengliklar mavjud bo'ladi:

$$\rho_1(T + H) = C_1 \quad (4.32)$$

$$\rho_2 T = C_2 \quad (4.33)$$

$$\rho_3(T - P) + \rho^* P = C_3 \quad (4.34)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C = \text{const} \quad (4.35)$$

bu yerda, ρ^* – suvning zichligi, taxminan $1,03 \text{ g/sm}^3$.

$N = 0$ bo'lganda, (4.32) tenglamadan, $\rho_1 = \rho_0$, bu yerda ρ_0 – Yer qobig'ining o'rtacha zichligi (uni odatda $\rho_0 = 2,67 \text{ g/sm}^3$ deb olinadi). Doimiy $S = \rho_0 T$ ga teng. Shunda, kompensatsiya sathi «T» uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$T = \frac{H - \rho_1}{\rho_0 - \rho_1}, \quad T = \frac{P(\rho_1 + \rho^*)}{\rho_0 - \rho_1} \quad (4.36)$$

Amerikalik geofizik Xeyford XX asr boshida Pratt farazini rivojlantirib, kompensatsiya chuqurligini 113,7 km deb oldi. Keyingi ishlarida bu chuqurlik 96 dan 102 km gacha diapazonda baholandi.

Yeri faraziga ko'ra yer qobig'i barcha joyda bir xil ρ_0 zichlikka ega, lekin har xil balandlikka ega bloklar zichligi ρ o'zgaras bo'lgan og'irroq substrat ustida harakatda bo'ladi. Demak, substrat (astenosfera) zichligi va Yeri bo'yicha yer qobig'i (litosfera) zichliklari farqi o'zgaras kattalik: $\rho - \rho_0 = \Delta\rho$. Blokning substratga botishi Arximed qonuniga bo'ysinadi, ya'ni balandroq blok chuqurroq botadi, pastroq blok esa kamroq botadi. Ularning muvozanat shartlari quyidagi ko'rinishda bo'ladi: $\rho_0 B = \rho b$. Bu yerda V – qobiq blokining qalinligi, b – uning astenosferaga botish chuqurligi. Pratt va Yeri farazlarida yondoshish turlicha bo'lsa ham, matematik tomondan ular bir – biridan farq qilmaydi, ya'ni qandaydir «T» sathda bloklar massalari teng bo'ladi.

Izostaziya printsipidan og'ish holatlari ham kuzatiladi. Aksariyat holda, «bo'sh havu uchun» anomaliyalar nolga yaqin bo'lsa, Buge anomaliyalari okeanlarda keskin musbat va qit'alarda manfiy bo'ladi. Ayrim hollarda kompensatsiya keskin buzilgan bo'lib, «bo'sh havu uchun» jadal anomaliyalar kuzatiladi. Gravitatsion maydonning bunday buzilishining uchta asosiy turi mavjud.

Birinchi turi vulqonli orollar, masalan Kipr, Gavayi orollari bilan bog'liq. Bu yerlarga jadal musbat anomaliyalar xos bo'lib, topografik reduksiya kiritilganda ular yo'qoladi, ya'ni bu orollar yer qobig'iga oddiy yuk bo'lib, ular hech narsa bilan muvozanatlanmagan.

Ikkinchi turi bu keng bo'lmagan juda uzun jadal manfiy anomaliyalar. Bularga Janubiy va Markaziy Amerikaning g'arbiy sohili, Aleut orollari bo'ylab, Tinch okeani orollari yoyining g'arbiy sohili misol bo'la oladi. Qit'alarda bunday anomaliyalar kuchsiz

namoyon bo'ladi, masalan, Kanadadagi Grenvil tizmasi. Bu zona yuqori kembriy orogen mintaqasi bilan bog'langan.

Uchinchi turi yer qobig'ining yaqinda cho'kkan joylariga xos, masalan, Indoneziyaning Banda dengizi. Bu yerda musbat anomalialar kuzatiladi.

Quyilish (priliv) va quyilish hosil qiluvchi potensial

Sutka davomida suvning ikki marta dengiz qirg'oqlarida ko'tarilib, so'ng yana qaytishi hammaga ma'lum hodisa. Tabiatning bu hodisasi quyilish (priliv) deyiladi. Quyilish nafaqat dengizda balki quruqlikda ham ro'y beradi. Sutkada ikki marta Yer yuzasi, uning ustidagi uylar, yo'llar, ko'chalar bilan birgalikda ko'tariladi va yana tushadi. O'rta kengliklarda bu tebranishlarning amplitudasi taxminan 0,5 m ni tashkil etadi.

Buning sababi nima?

Ma'lumki, jismga kuch ta'sir qilganda, jism yoki tezlanish oladi, yoki deformatsiyalanadi. Quyosh va Oyniing tortishish kuchlari sayyoramiz harakatiga tezlanish beradi. Lekin sayyoramizning turli qismlariga tortishish kuchi turlicha ta'sir etadi. Agar tortuvchi jism sifatida faqat Oyni ko'rib chiqsak, Yerdan to'g'ri zenitda joylashgan qismlari Oyniing maksimal tortishini his etadi. Sayyora tortishishining yakuniy kuchi massalar markaziga qaratilgan. U Yerga tezlanish beradi. Bu jarayonlarni ifodalash uchun tortishish kuchlaridan tashqari, inertsia kuchi kattaligini kiritish kerak bo'ladi.

Oyniing o'lchamlari, tuzilishi va shaklini e'tiborga olmagan holda, Yerdagi jismning solishtirma tortishish kuchini ifodasi quyidagicha bo'ladi: r' – radius vektor Yerdagi jismdan Oyga yo'nalgan bo'lsin, r' – shu radius vektorning uzunligi. U holda, bu jismni Oy tomonidan tortishishi kuchi:

$$F = \frac{GM_{Oy}}{r'^2} r' \quad (4.37)$$

bo'ladi. Bu yerda GM_{Oy} – selenotsentrik gravitatsion doimiy. Jismni R nuqtaga joylashtiramiz. Yer massalar markaziga joylashtirilgan jismning tortishish kuchi:

$$F_0 = \frac{GM_{Oy}}{r^2} r \quad (4.38)$$

bo'ladi. Bu yerda, r – Oy va Yerning massalari markazini bog'lovchi radius vektor va uning absolyut ko'rsatkichi.

Bunda, quyilish kuchi deb, shu ikki kuch ayirmasiga aytiladi:

$$F_{pr} = F - F_0. \quad (4.39)$$

(4.37) va (4.38) formulalarda tortuvchi jism (Oy) moddiy nuqta yoki massalari sferik simmetrik taqsimlangan shar deb olinadi. Demak, uning tortishish kuchi GM_{oy}/r^2 ga teng. Inertiya kuchi esa Yerdagi barcha moddiy nuqtalar uchun o'zgarmas. Koordinatlar sistemasida Ox o'qini Yerning markazidan o'tkazib, uni Oy tomonga yo'naltiramiz. Qolgan ikkita o'q ixtiyoriy tomonga yo'nalgan. Bunda F_0 kuch, $(GM_{oy}/r^2)x + Const$ ga teng.

Quyilish hosil qiluvchi potensial shu ikki kuch ayirmasiga teng. Uni δW deb belgilab:

$$\delta W = \frac{GM_{oy}}{r^1} - \left(\frac{GM_{oy}}{r^2} \right) x - const$$

ni hosil qilamiz. O'zgarmas $Const$ ni aniqlash uchun, Yer markazida quyilish hosil qiluvchi kuchni nolga teng deb olamiz. Bunda, $x = 0$, $r' = r$. Shuning uchun, $Const = GM_{oy}/r$. Demak, quyilish hosil qiluvchi potensialni quyidagicha yozsak bo'ladi:

$$\delta W = GM_{oy} \quad (4.40)$$

bu ifodani yanada aniqlashtirish uchun, $1/r^2$ nisbatni Lejandr polinomlari bilan almashtiramiz. Agar, ρ – biror nuqtaning Yer markazi R dan uzoqligi bo'lsa (sferik koordinatlar sistemasi boshidan), θ – esa, tortuvchi jism (Oyning) geotsentrik zenit masofasi bo'lsa, u holda, quyilish hosil qiluvchi potensialni quyidagicha ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$\delta W = \frac{GM_{oy}}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{\rho}{r} \right)^n P_n(\cos\theta) \quad (4.41)$$

Oyning ta'sirida ochiq dengizlarda quyilish davrida suv sathi 1 metrga ko'tariladi. Tinch okeani Oxota dengizidagi Penjinskiy

qo'ltig'ida esa uning amplitudasi 11 metr ga yetadi. Sutka davomida ikkita quyilish (priliv) va ikkita qaytish (otliv) kuzatiladi. Yer qobig'i Oyning quyilishlari natijasida 36 sm ga, Quyoshning ta'sirida yana 16sm ga jami 52 sm ga ko'tariladi.

Quyilishlarning tarqalish tezligi katta bo'lib 1666 km/s ni tashkil qiladi. Deformatsiyalar har 6 soatda Yerni 600 km chuqurlikkacha «massaj» qilib turadi. Og'irlik kuchi ta'siridagi Yerning siqilishi va zichlashishi gravitatsion potensial energiya ajralib chiqishiga sabab bo'ladi, bu esa tektonik jarayonlarning asosiy manbalaridan hisoblanadi.

Kuzatiladigan quyilishlarning hammasi yarim sutkalik, sutkalik va uzoq davrlilarga bo'linadi.

Uzoq davrli quyilish, tortib turuvchi sayyoraning yarim aylanish davriga teng. Masalan, agar bu Oy bo'lsa, uning davri ikki hafta, agar bu Quyosh bo'lsa – yarim yil. Bu tipdagi quyilish zonal konfiguratsiyaga ega, u Yerning inertsia momentini o'zgartiradi va shu bilan uning aylanishini sekinlashtiradi.

Bir sutka ichida soat burchagi 2π ga o'zgaradi. Bu quyilish Yerning inertsia momenti va aylanishining burchak tezligini o'zgartirmaydi.

Asosiy quyilish to'lqinlar quyidagi jadvalda berilgan (P.Melxiorning «Земные приливы» kitobidan olingan):

To'lqin	Davri	Argument soni	Davriy funktsiya
M_2	12.25	(255.555)	$A \cos 2\tau$
N_2	12.39	(245.655)	$A \cos (2\tau - s + p)$
O_1	25.49	(145.555)	$A \cos (\tau - s)$
K_1	23.56	(165.555)	$A \cos (\tau + s)$
M_f	ikk hafta	(075.555)	$A \cos 2s$
M_m	tropik oy	(065.455)	$A \cos (s + p)$
S_2	12.00	(273.555)	$A \cos (2\tau + 2s - 2h)$
P_1	24.04	(163.555)	$A \cos (\tau + s - 2h)$

Keltirilgan jadvalda davrlar soat va minutda ko'rsatilgan. Yarim sutkali quyilishlar - M_2 , N_2 Oy bilan, va S_2 esa, Quyosh bilan bog'liq. Sutkali quyilishlar - O_1 (Oy), P_1 i K_1 (Quyosh).

Yer – Oy sistemasida quyilish kuchlarining o‘zaro aloqalari yaqqol ko‘rinadi. Yerning yo‘ldoshi, unga har doim bir tomoni bilan qaragan, ya’ni uning o‘z o‘qi atrofida aylanishi, uning Yer atrofida aylanishi davri bilan sinxronlashgan.

Tayanch iboralar

Geoid, presetssiya, nutatsiya, Chandler tebranishlari, izostaziya, kompensatsiya, priliv.

Nazorat savollari

1. *Yerning shakli qanday?*
2. *Yerni o‘z o‘qi atrofida aylanishini sekinlashtiruvchi qanday jarayonlar mavjud? Ularni ta’riflang.*
3. *Yerning qanday zichlik modellari mavjud?*
4. *Yerning normal va anomal gravitatsion maydonlari haqida tushuncha bering?*
5. *Izostaziya haqida tushuncha bering?*
6. *Izostaziyaning qanday farazlari mavjud?*
7. *Quyilish (priliv) qanday hosil bo‘ladi?*

V BOB. YERNING MAGNIT MAYDONI VA PALEOMAGNETIZM

Geomagnetizm va Yer fizikasi. Yer magnit maydoni elementlari. Magnit qutblarining harakati (migratsiya). Geomagnit maydonning asriy variatsiyalari. Geomagnit maydon anomalionalari. Yerning asosiy magnit maydoni va uning hosil bo'lishi. Global magnit anomalionalarining Yer yadrosida o'z – o'zini hosil qiluvchi tok konturlari sistemasi ekanligi. Paleomagnetizm. Yerning elektr o'tkazuvchanligi.

5.1. Yerning magnit maydoni

Yer magnit maydonining tabiati

Fazodagi plazma bulutlar, Quyosh va boshqa yulduzlar o'z magnit maydonlariga ega. Ko'pchilik sayyoralar va ularning yo'ldoshlarida ham magnit maydoni mavjudligi aniqlangan.

Yerning magnit maydoni sayyoramiz uchun juda muhim. U quyosh – Yer aloqalarini tartibga soladi. Uning kuch chiziqlari Yer yuzasini fazo va Quyoshning yuqori energiyali zarrachalaridan saqlaydi. U butun Yer qa'rini, okean va atmosferani o'tib, tirik tabiatga o'z ta'sirini ko'rsatadi, tog' jinslari va tuproqni magnitlab, uning unumdorligini oshiradi va hokazo.

Yer magnit maydonining tabiati ko'p yillik izlanishlarga qaramay hanuz mavhumligicha qolmoqda. Bu muammo hozirgi kungacha Yer fizikasi fanining eng katta muammosi hisoblanadi. A.Eynshteyn geomagnit maydoni hosil bo'lishi masalasi fizikaning eng katta beshta muammolaridan biri ekanligini ta'kidlab o'tgan.

Magnitosferaning qolgan geosferalar bilan aloqasi

Yer geomagnit maydoni – magnitosfera Yerning qolgan bir necha sferalari bilan o'zaro aloqada.

Atmosferaning yuqori qismi bo'lgan mezosfera usti, yuqori haroratlar bilan xarakterlanadi. Shuning uchun uni termosfera deb ataladi. Bu sfera ikkiga: ionosfera va ekzosferaga bo'linadi. Ionosferada havo juda siyrak, 300 – 750 km balandlikda uning zichligi $10^{-8} - 10^{-10} \text{ g/sm}^3$. Hatto shunday kichik zichlikda ham har bir kub santimetrda, 300 km balandlikda, bir milliardga yaqin molekula va atomlar mavjud. 600 km da esa – o'n million molekula mavjud. Bu esa kosmik fazodagi gazlarning miqdoridan bir necha yuz barobar ortiq. Ionosfera o'z nomiga munosib, havoning juda ionlashganligi bilan xarakterlanadi. Bu yerda ionlarning soni pastki qatlamlardagidan juda ko'p. Ionlarning tarkibi asosan zaryadlangan kislorod atomlari, zaryadlangan azot oksidi molekulari va erkin elektronlardan iborat. 100–400 km balandlikda ularning miqdori 1sm^3 havoda $10^5 - 10^6$ donani tashkil etadi. Ionosferaning o'zi bir necha zonadan iborat, eng yuqori ionlashgan qatlamlar, 100 – 120 km dagi (*E zona*) va 200–400 km dagi (*F zona*). Ionosfera zonalarining joylashishi va ionlarning kontsentratsiyasi vaqt davomida o'zgarib turadi. Ba'zi hollarda juda katta elektron majmualari hosil bo'lib, ular *elektron bulutlar* deb nomlanadi. Atmosferaning elektr o'tkazuvchanligi ham albatta uning ionlashganligiga bog'liq. Masalan, ionosferada havoning elektr o'tkazuvchanligi, yer yuzasi atrofidagi havoning elektr o'tkazuvchanligidan 10^{12} marta katta.

Radioto'lqinlar ionosferada yutiladi, qaytariladi va sinadi. To'lqin uzunligi 20m bo'lgan radioto'lqinlar ionosferaning pastki zonalarida (70- 80 km) deyarli butunlay qaytadi. O'rta va qisqa to'lqinlar ionosferaning yuqori qatlamlaridan qaytadi, ular ionosfera va yer yuzasidan ko'p marta qaytariladi, bu to'lqinlarning uzoq masofalarga uzatilishida, tele- va radioaloqada muhim rol o'ynaydi. Bu radioto'lqinlarning tarqalishini kuzatish esa o'z navbatida ionosferaning holati haqida geofiziklarga ma'lumot beradi.

Ionosferada qutb yog'dusi, tungi osmonning nurlanishi va magnit bo'ronlari kuzatiladi. Ionosferada Quyoshning ultrabinafsha nurlari atmosferadagi gaz molekulari tomonidan yutilishi natijasida, zaryadlangan atomlar va erkin elektronlar hosil bo'ladi. Quyosh faolligiga qarab yuqorida ko'rsatilgan jarayonlar kuzatiladi, bunda asosiy rolni korpuskulyar radiatsiya o'ynaydi.

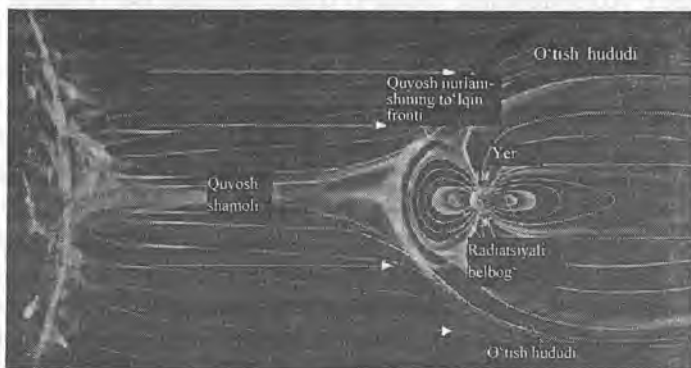
Ionosferada 800 km balandlikda harorat 1000°C gacha ortadi. Haroratning bu darajada oshishiga asosiy sabab, zarrachalarning juda

katta tezlikda harakat qilishidir. Lekin bu yerda havoning zichligi shu darajada kichikki, ionosferada harakatlanayotgan sun'iy yo'ldosh, havo bilan issiqlik almashish orqali qizimaydi. Uning harorat rejimi faqatgina quyosh radiatsiyasi yutilishi bilan bog'liq.

Magnitosfera deganda kosmik jismning (Yer, Quyosh) atrofni o'rab turgan plazmaning, bu jism magnit maydonidagi o'zini tutishi tushuniladi. Bunga ko'ra, magnitosfera chegarasi (magnitopauza) magnit maydoni bosimi bilan jismni o'rab turgan plazma bosimi teng bo'lgan chegara, ya'ni magnitosfera radiusi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$V^2(r_A) = \rho V^2(r_A); \quad (5.1)$$

bu yerda, V – osmon jismining magnit maydoni, ρ va V – plazmaning zichligi va tezligi, r_A – magnitosfera (alvenov radiusi). Sayyora xususiy magnit maydonining quyosh shamoli bilan doimiy o'zaro to'qnashuvi natijasida magnitosfera ancha murakkab shaklga ega bo'ladi (5.1- rasm).



5.1-rasm. Quyosh shamoli ta'sirida Yer magnitosferasi shaklining o'zgarishi

Plazmaning Yer magnitosferasiga suqilib kirishi, magnitopauzadagi tutashgan va uzilgan magnit kuch chiziqlaridagi tirqishlar orqali amalga oshadi. Bu jarayon yuqori kengliklarda kunduzgi qutb yog'dulari bilan birgalikda o'tadi. Plazmaning bir qismi sayyoraning

radiatsion belbog'ini (Van Allen zonasi) va plazma qatlamini hosil qiladi.

Magnit kattaliklari va ularning birliklari

Magnit maydoni ikkita vektor kattalik: maydon kuchlanganligi N va magnit induksiyasi V bilan xarakterlanadi. Ular orasida quyidagi bog'liqliklar mavjud:

$$B = \mu_0(H + J) \quad (5.2)$$

bu yerda, μ_0 – vakuumning magnit o'tkazuvchanligi, J – magnitlanganlik, ya'ni birlik hajmning magnit momenti ($J = m/V$).

$$J = \chi H \quad (5.3)$$

$$B = \mu_0 \mu H \quad (5.4)$$

bu yerda, χ – moddaning magnit qabul qiluvchanligi; μ – uning (nisbiy) magnit o'tkazuvchanligi, $\mu = 1 + \chi$.

Elektr tokining yopiq konturlari va magnitlangan jismlar magnit maydoni manbai bo'lib xizmat qiladi. Ularni elementar magnitlar yoki elementar tok konturlari sifatida (ya'ni dipol sifatida) ham qarashimiz mumkin. Yopiq konturdagi tok kuchi i va uning natijasida hosil bo'lgan maydon kuchlanganligi N o'rtasidagi bog'liqlik, Bio – Savar qonuni bo'yicha, r radiusli aylana kontur uchun quyidagicha bo'ladi:

$$H = \frac{i}{2r} \quad (5.5)$$

bu yerda, N – aylana kontur markazidagi maydon kuchlanganligi. Aylana kontur maydonining tok kuchiga ko'paytmasi, tok konturi magnit momenti vektorining moduli t ni beradi. Bunda t va N vektorlar kontur yuzasiga normal yo'nalgan. Aylana kontur uchun: $t = i\pi r^2$.

Magnit kattaliklari va elektr toki orasidagi bog'liqliklardan magnit kattaliklarining o'lchamlari kelib chiqadi (jadval).

Magnit kattaliklarining o'lehamlari

Magnit kattaliklari		SGS	SI	SGS/SI ga o'tish	SI/SGS ga o'tish
Magnit maydon kuchlanganligi	N	ersted	A/m	$10^3/4\pi$	$4\pi/10^3$
Magnit momenti	M	-	Am^2	10^{-3}	10^3
Magnit oqimi	F	maksvell	veber	10^{-8}	10^8
Induksiya	V	gauss	tesla	10^{-4}	10^4
Magnit qabul qiluvchanlik	χ	-	-	4π	$1/4\pi$
Magnitlanganlik	J	-	A/m	10^3	10^{-3}

Yerning magnit maydoni elementlari

Yerning magnit maydoni – dipol bo'lib, uning o'qi Yer aylanish o'qi bilan $\approx 10^\circ$ burchak tashkil etadi. Qutblari geografik qutblarga teskari, ya'ni Shimoliy magnit qutbi janubda - Antarktidada, Janubiy magnit qutbi esa shimolda – Kanadada joylashgan. Masalan, taxminan 42° shimoliy geografik kenglikda joylashgan Toshkent, taxminan 37° janubiy magnit kengligiga ega.

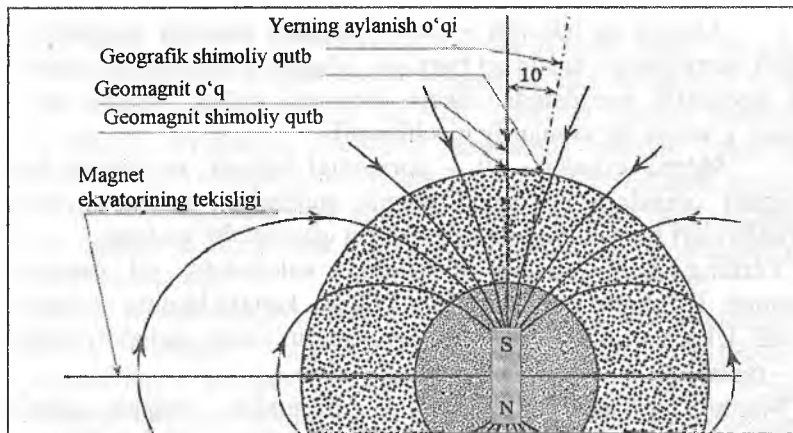
Yerning magnit momenti $M = 8,1 \cdot 10^{25}$ Gs sm^3 ga teng, Yer yuzasidagi magnit maydon kuchlanganligi o'rtacha $\sim 0,4$ Gs ni tashkil etadi.

Dipol o'qining Yer o'qiga nisbatan og'ganligi va ko'chganligi hamda magnit momentining kattaligi Yer magnit maydonining faqat umumiy ko'rinishini ifodalaydi xolos. Yer shari yuzasiga yaqinlashgan sari Yerning magnit maydoni Braziliya, Janubiy Atlantika, Kanada va Sharqiy Sibir global magnit anomalialari ta'sirida sezilarli darajada o'zgaradi.

Geomagnetizm elementlarining ta'riflari quyidagilardan iborat.

-*Geomagnit qutblar* – bu Yer magnit o'qlarining uning yuzasi bilan kesishgan nuqtalari (5.2 - rasm).

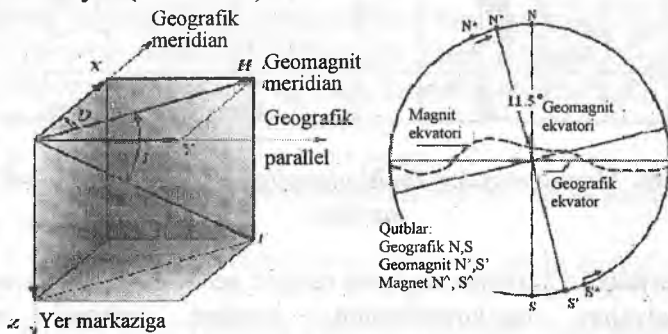
-*Geomagnit kenglik* – geomagnit ekvatoridan Yer yuzasining istalgan nuqtasigacha bo'lgan burchak.



5.2 - rasm. Geomagnet maydon, magnet kuch chiziqlari strelka bilan ko'rsatilgan

-Yerning magnet qutbi – Yer yuzasidagi nuqta, u yerda magnet strelkasi vertikal yo‘nalgan. Magnet qutblarining joylashishi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib turadi.

-Magnet ekvatori – bu Yer yuzasidagi shunday nuqtalarning yig‘indisiki, u yerda magnet strelkasi yer yuzasiga gorizontol holatda yo‘nalgan bo‘ladi. Magnet ekvatori joylashuvi geografik ekvator bilan to‘g‘ri kelmaydi (5.3 - rasm).



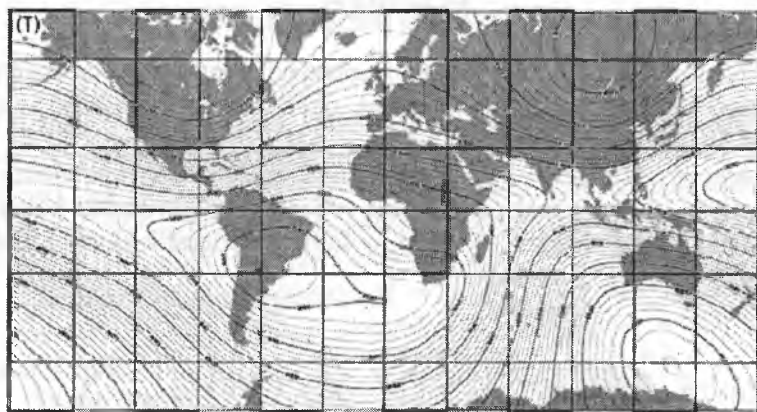
5.3-rasm. Geomagnet maydon elementlari: X, Y, Z – komponentlar, T – to‘liq vektor, D – magnet og‘ish burchagi, I – magnet qiyaligi

- *Magnit og'ishi (D)* – yer yuzasidagi nuqtada geografik va magnit meridianlari orasidagi burchak. Magnit strelkasining shimoliy uchi geografik meridiandan sharq tomonga og'sa, magnit og'ishi musbat, g'arbga og'sa manfiy hisoblanadi.

- *Magnit qiyaligi (I)* – gorizontal tekislik va magnit kuch chiziqlari orasidagi burchak. Magnit qutblarida va katta magnit anomalialari mavjud hududlarda magnit qiyaligi 90° ga teng.

Yerning asosiy magnit maydonini aniqlashda, yil davomida taxminan 10^6 km² maydonda o'lchangan kattaliklarning o'rtachasi olinadi. Ular asosida *T, D, I, H* magnit izolinialari xaritalari tuziladi (5.4 - rasm).

Magnit og'ishi izolinialari – *izogonlar*, magnit qiyaligi izolinialari – *izoklinlar*, magnit maydon kuchlanganligi izolinialari – *izodinamlar* deb yuritiladi.



5.4-rasm. Magnit maydon kuchlanganligi - izodinamlar (*T m kTl*) xaritasi

Bu xaritalarni tuzishda regional magnit aeros'emkalari va magnit observatoriyalari ma'lumotlaridan, bundan tashqari sun'iy yo'ldoshlarning ma'lum vaqtlar oralig'ida olib borgan kuzatishlaridan foydalaniladi.

XVI asr oxirlarida Norman va Gilbert tomonidan geomagnit maydonning eng yaxshi approksimatsiyasi Yer markazida joylashgan va aylanish o'qi bo'yicha yo'nalgan dipolning maydoni deb atalishi

taklif etilgan. Bu to'g'ri bo'lganda, barcha magnit kuch chiziqlari meridional tekislikda yotgan bo'lib, magnit og'ishi nolga teng bo'lar edi. Haqiqatda esa magnit og'ishi $\pm 20^{\circ}$ gacha o'zgarishi mumkin. Tinch okeani, Avstraliya, Shimoliy Amerikada musbat, Atlantika, Hind okeanlari, Yevropa va Afrikada esa manfiy birliklarda bo'ladi. Yaxshiroq approksimatsiyani dipolni Yer aylanish o'qiga nisbatan $\pm 11^{\circ}$ ga egilgan holatda olish mumkin va bu birlik *egilgan markaziy dipol* deb nomlanadi.

Bunday nisbiy hisob-kitoblar asosida shunday xulosa chiqarish mumkinki, magnit maydon kuchlanganligini ifodalovchi izodinamlarning ko'rinishi markazi magnit o'qidan o'tgan aylanalardan iborat bo'lishi kerak. Lekin, haqiqatda esa Sharqiy yarim sharda N ning ko'rsatkichlari, G'arbiy yarim shardagidan kattaroq birlikka ega. Eng yaxshi approksimatsiyani shu egilgan dipolni Yer markazidan taxminan Tinch okeanining g'arbiy tomoniga ko'chirish orqali olsa bo'ladi. Bu dipolning maydonini – *ekssentrik dipol maydoni* deb ataladi. Bu ekstsentrik dipol 1980-yilda Yer markazidan 490 km uzoqlikdan, Yer yuzasidagi koordinatalari $\pm 21^{\circ}$ shimoliy kenglik va $\pm 147^{\circ}$ sharqiy uzunlik bo'lgan nuqta tomonga yo'nalganligi aniqlangan.

Geomagnit maydon variatsiyalari

Yerning boshqa fizik maydonlaridan farqli o'laroq, geomagnit maydon barqaror emas. U vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi. Yer magnit maydoni variatsiyalari quyidagi ko'rinishlarda bo'ladi:

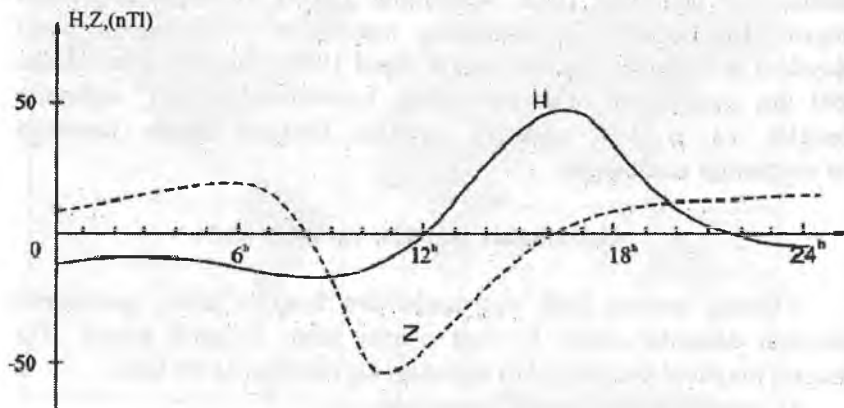
- 1) magnit momentining kamayishi;
- 2) geomagnit maydonning inversiyasi;
- 3) Yer magnit maydonini xarakterlovchi ekstsentrik dipol parametrlarining o'zgarishi;
- 4) g'arbiy dreyf (ko'chish) hosil bo'lishi, uning tezligi (yiliga $0,18-0,23^{\circ}$);
- 5) tashqi (6 va 11 yillik) va ichki (22; 58; 600; 1800; 8000 yillik) Yer magnit maydoni elementlari jadalligining kvazidavriy variatsiyalari;
- 6) tashqi magnit maydonning (ionosfera va magnitosferadagi manbalardan) variatsiyalari:

- quyosh-sutkali tinch kunlarda (Sq -variatsiyalari), ularning amplitudalari Z va H bo'yicha, joyning kengligi va kesimning elektr o'tkazuvchanligiga qarab kunduzi 70 nTl gacha yetadi (5.5 - rasm);

- quyosh-sutkali magnit bo'ronlari kunida (Sd -variatsiyalari), ular aniq qonuniyatlarga bo'ysinmaydi, lekin keskinligi Sq -variatsiyalarnikidan ancha katta bo'lishi mumkin;

- buxtasimon geomagnit maydonning kichik amplitudali (bir necha nanotesla) va qisqa vaqtli (2- 5 soatgacha) g'alayonlari;

- bir necha soatdan bir necha sutkagacha davom etuvchi magnit bo'ronlari, ular 30 – 50 nTl bo'lgan o'rtacha fonda kechib, orasida qisqa davrli yuz va ming nanoteslagacha bo'lgan variatsiyalar bilan birgalikda kechadi. Yerni elektromagnit zondlashda bu magnit bo'ronlarining to'satdan boshlanib, kuchlanishning birdaniga oshishi muhim rol o'ynaydi.



5.5 - rasm. Tinch kunlardagi quyosh – sutkali Sq - variatsiyalar.

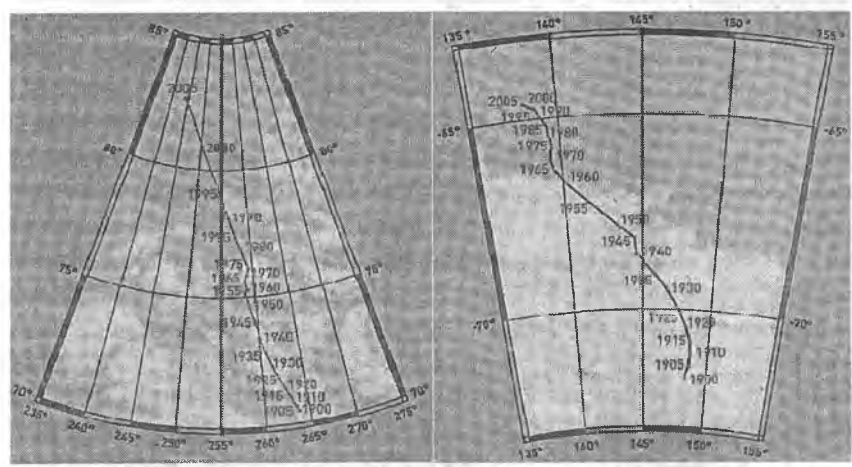
Sutkali variatsiyalar quyosh shamoli ta'sirida – zaryadlangan zarrachalar oqimi magnitosferani deformatsiyalab, uni Quyoshdan teskari tomonga uchirishi bilan kechadi. Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi tufayli, shu deformatsiyalangan magnitosfera ichida sutkali variatsiyalar butun Yer bo'ylab kunduz kuni o'tadi.

Buxtasimon variatsiyalar va magnit bo'ronlari ionosferadagi qutboldi aylanma toklarning harakati (oqimi) natijasida yuzaga keladi. Sutkali va buxtasimon variatsiyalar Yerdagi elektromagnit maydon hosil

qiladi. Ularni kuzatish esa litosferaning chuqur qismlari va mantiyani *magnitotellurik zondlash metodi* yordamida o'rganishga imkon beradi.

8000 yillik variatsiyalar – dipol magnet momenti shakllanishida asosiy rolni o'ynaydi. 2000 yil avval u maksimal darajada bo'lgan va hozirgi ko'rsatkichdan 1,5 barobar katta bo'lgan, 6000 yil ilgari esa – hozirgidan 2 barobar kichik bo'lgan.

XVII asrda magnet og'ishining vaqt bo'yicha o'zgarishi aniqlangan. Qit'alardagi barcha magnet anomalialari, *masalan izogonlar*, ya'ni magnet og'ishi chiziqlari, asta-sekin yiliga taxminan 22 km tezlik bilan, g'arb tarafga siljib borgan. Buning sababi, Yer yadrosi va uning mantiyasining har xil burchak tezligi bilan aylanishidir (5.6 - rasm).



5.6-rasm. Shimoliy va Janubiy magnet qutblarining dreyfi

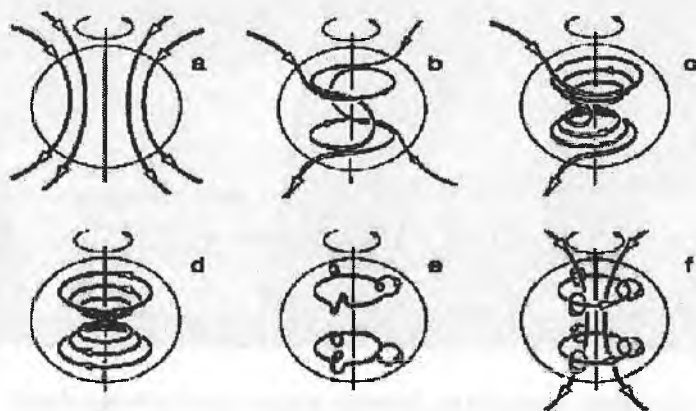
Geomagnet maydonining hosil bo'lishi

Hozirgi qarashlarga ko'ra, Yerning asosiy magnet maydoni suyuq tashqi yadrodagi issiqlikning konveksiya oqimi tufayli hosil bo'ladi. Ma'lumki, tashqi yadro asosan temirdan iborat bo'lganligi sabab, yuqori elektr o'tkazuvchanligiga ega. Bunday postulat esa *gidromagnet dinamo (GMD) farazining* asosini tashkil qiladi. O'tkazuvchi muhitda oqimlarni magnet maydoni egallaydi; uning kuch

chiziqlari tok chiziqlariga «yopishgan». Yer aylanishida sayyoralararo kuchsiz tokning magnit kuch chiziqlari Yer o'qi atrofida o'ralib (5.7 - rasm), kuchli *toroidal maydon* (*b, c, d* bosqichlari) hosil qiladi; undan esa yadrodan tashqarida, Yer yuzasida va tashqi muhitda kuzatiluvchi *poloidal maydon* (*f* bosqich) kelib chiqadi.

O'tgan asrning 40- yillariga kelib, fiziklar sayyoramizning magnit maydoni hosil bo'lishining uchta shartini asoslaganlar.

Geomagnit maydoni hosil bo'lishining birinchi sharti – Yer tashqi yadrosini tashkil qiluvchi katta hajmdagi elektr o'tkazuvchi, temir bilan boy massaning mavjudligi. Uning ostida esa deyarli toza temir tarkibli ichki yadro, ustida 2900 km lik mantiya va yer qobig'i moddalarining mavjudligi. Yadroga yer qobig'i va mantiya tomonidan berilayotgan bosim yer yuzidagi bosimdan 2 million marta katta, yadroning harorati ham juda katta – 5000°C.



5.7-rasm. Dipolli geomagnit maydon hosil bo'lishi mexanizmi
(a-f – bosqichlari)

Geodinamo ishlashining ikkinchi sharti - bu suyuqlik massani harakatga keltiruvchi energiya manbaining mavjudligi. Termal va kimyoviy yo'l bilan hosil bo'lgan ichki energiya yadroda itaruvchi kuchni keltirib chiqaradi. Demak, yadrodagi ko'proq qizigan va kamroq zichlikka ega bo'lgan pastki qismi yuqori tomonga harakat

qiladi. Bu suyuq massa yuqori qatga yetib borganda, uning harorati mantiyaga berilib, ancha pasayadi va zichligi oshadi. So'ng bu temir massa yana yadroga cho'ka boshlaydi.

Magnit maydonni saqlab turuvchi uchinchi shart – bu Yerning aylanishi. Bu aylanma harakat natijasida hosil bo'luvchi *Koriolis kuchlari* Yer ichidagi suyuq massalar oqimini buradi va ularni spiralsimon harakat qilishga majbur etadi. Yer konveksiya va Koriolis kuchlarini saqlab, massalar oqimini aylantirib turishi uchun zarur energiyaga ega deb taxmin qilinadi. Bu faktor «geodinamo» ishlashini million yillar davomida ta'minlab turadi.

Magnit maydoni hosil bo'lishi va vaqt davomida magnit qutblari nima uchun almashinadi degan savollarga hanuzgacha aniq javob topilmagan.

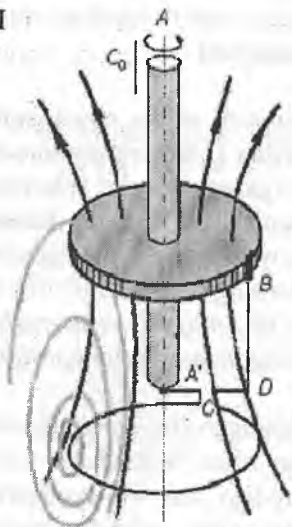
Magnit maydoni inversiyasi

Magnit maydoni inversiyasi – bu simmetrik o'qqa ega magnit dipolining qutblarining almashinishi. 1906-yilda B.Bryunes markaziy Frantsiyadagi neogen davri lavalarini o'rganayotganda, ularning magnitlanganligi hozirgi zamon geomagnit maydoniga teskari ekanligini aniqladi, ya'ni Shimoliy va Janubiy magnit qutblari joylari bilan almashib qolgandi. Geomagnit qutblarning almashinib turishi *paleomagnetologiyada* muhim kashfiyot bo'lib, *magnitostatigrafiya faniga (tog' jinrlarining to'g'ri va almashingan magnitlanganligini o'rganish) asos soldi.*

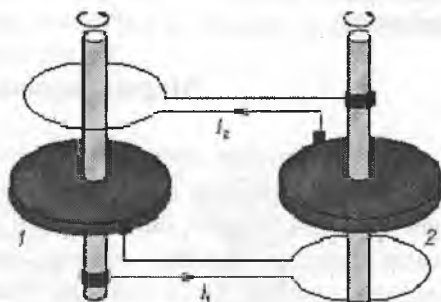
Magnit maydoni inversiyasini hisobga oladigan *ikki diskli dinamo modelini* o'tgan asrning 60-yillarida yapon olimi T.Rikitaki taklif etgan. Uning modelida tashqi suyuq yadrodagi har bir konvektiv yacheyka yoki uyurmani dinamoning bitta diski sifatida qarash mumkin (5.8 - rasm). Ikki diskli oddiy modeldan (5.8 - rasm, II) ko'rinib turibdiki, 1- diskdagi tok I_1 , magnit maydoni bo'lgan I_2 tokni hosil qilib 2 - diskka oqib o'tadi, o'z navbatida 1-disk atrofida magnit maydoni kuchayadi (5.8 - rasm, III). Tok (I) va demak, magnit kattaliklari bir statsionar holatdan, amplitudalari oshib, to'satdan boshqa statsionar holat atrofida tebranishni boshlaydi (T.Rikitaki bo'yicha). Shunday qilib, magnit maydon inversiyasi vujudga kelishi modellashtiriladi.

Tarixiy geologiyadan, qutblarning o'zgarishi nisbatan qisqa vaqtda 4000 yildan 10000 yilgacha oraliqda amalga oshganligi aniqlangan. Agar, «geodinamo» o'z ishini to'xtatsa, dipol yana 100000 yil mavjud bo'lib turardi. Qutblarning bunday qisqa vaqtda o'zgarishi, qandaydir noturg'un barqaror bo'lmagan holatda birlamchi qutblanganlikni buzib, yangi qutblarning hosil bo'lishini keltirib chiqarishligini taxmin qilishga asos bo'ladi. Alohida hollarda bunday g'ayriddiy noturg'unlik magnit oqimlari strukturasiing xotik (tartibsiz) o'zgarishi sababli, tasodifiy inversiyaga olib keladi deb ham taxmin qilish mumkin.

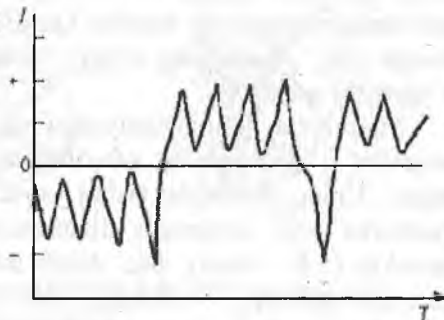
I



II



III



5.8-rasm. Ikki diskli T.Rikitaki dinamosi

5.2. Paleomagnetizm

Paleomagnetologiya – geofizika fanining bo‘limi bo‘lib, Yerning qadimgi geologik davrlardagi magnit maydonini o‘rganishga asoslangan va geologiya, ayniqsa geodinamika va stratigrafiya masalalarini yechishda qo‘llaniladi.

Paleomagnetologiyada tog‘ jinslarining, ular hosil bo‘layotgan geologik vaqtdagi birlamchi qoldiq magnitlanganligi *Jrp* muhimdir. Uning tabiati turlicha. Magmatik jinslar sovishi jarayonida (vaqtda) ular *Kyuri nuqtasidan o‘tib*, termoqoldiq magnitlanganlikka *Jrt* ega bo‘ladilar. Cho‘kindi jinslar hosil bo‘layotganda magnitlangan zarrachalar magnit maydon bo‘yicha yo‘naladilar, bu *yo‘nalgan (orientatsion) magnitlanganlik Jr_o* deb ataladi.

So‘nggi 5 million yil ichida 27 inversiya kuzatilgan (5.9 - rasm, a), butun geologik tarixda esa juda ko‘p marta inversiya ro‘y bergan: masalan – mezozoy -kaynozoy shkalasi (5.9 - rasm, b).

Paleomagnetizm natijalarining aniqligi va uning geologik interpretatsiyasining ishonchliligi *paleomagnetizm farazlarining shartlaridan* kelib chiqadi:

1) fiksatsiya (qayd qilish) farazi – tog‘ jinslari hosil bo‘layotgan vaqtda ular shu joyning geomagnit maydoni yo‘nalishi bo‘yicha magnitlanadi;

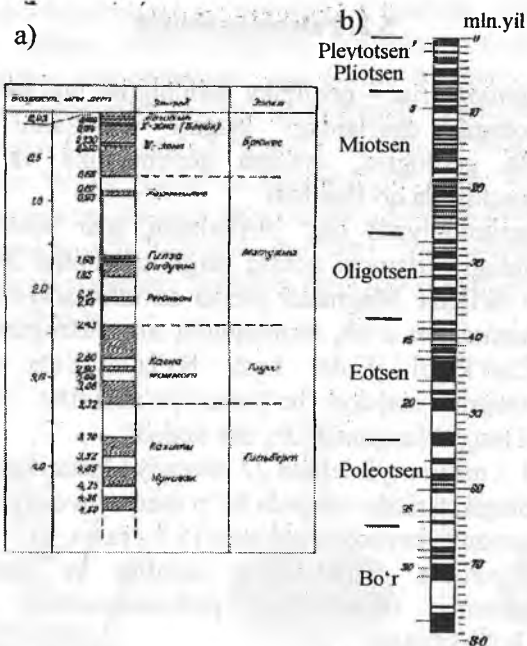
2) saqlanish farazi – birlamchi magnitlanganlik tog‘ jinsida saqlanib qoladi, uni turli tabiatli umumiy magnitlanganlikdan ajratib olsa bo‘ladi;

3) dipol markaziy o‘qi farazi – geomagnit maydon, o‘rtacha $\sim 10^4$ yil mobaynida, dipol markaziy o‘qining maydonidir.

Avvalgi ikkita faraz texnik ahamiyatga ega, ular har bir tur tog‘ jinsi va ularning olingan joylari uchun tekshiriladi.

Paleomagnetologiyaning asosiy natijalari quyidagilar:

1. Turli litosfera plitalariga tegishli bo‘lgan paleomagnet qutblarning geologik vaqtdagi ko‘chishi traektoriyalarini taqqoslash, litosfera plitalarining katta masofalarga gorizonta siljishlari haqiqatda mavjudligini isbot qilib berdi. Bu xulosa Yerning qadimgi magnit maydoni, dipol markaziy o‘qi maydoniga to‘g‘ri keladi degan farazga asoslangan.



5.9-rasm. Paleomagnit shkala 5 million yil (a) va 80 million yil (b) uchun

Turli qit'alardagi, bir xil yoshdagi tog' jinslarining paleomagnit qutblarini rekonstruksiya qilish litosfera plitalarining turli geologik vaqtlardagi joylashuvini aniqlashga imkon berdi.

2. Lokal geodinamik masalalarni yechishda paleomagnitologiya litosfera bloklarining burilishi, ularning siljishini, ya'ni gorizontal harakatlarini aniqlashga imkon berdi (asosan meridional yo'nalishda, kenglik o'zgarmas bo'lgandagi harakatlarni ajratish ancha mushkul).

3. Muayyan inversiyadan so'ng o'tgan vaqtdagi paleomagnit kesimlardagi izoxron yuzalar holatini o'rganish ba'zi cho'kindi havzalarda Yer qobig'ining vertikal harakatlari tezligining taqsimlanishi qonuniyatlarini aniqlash imkonini berdi.

4. Hozirgi vulqonli rayonlarda paleomagnit ma'lumotlar bo'yicha bir qancha effuziv tog' jinslari kesimlari korrelyatsiya qilindi; bu metodni qadimgi effuzivlarni xaritalashda qo'llash tajribasi mavjud.

Magnitostatigrafiya okeanlardan olingan jinslar kolonkasini o'rganishda qo'llaniladi. Uning yordamida cho'kindi hosil bo'lishi tezligini baholash, faunasi yo'q cho'kindilarni ajratish imkoni tug'iladi.

5. Paleomagnet ma'lumotlar geomagnet maydonning asriy variatsiyalari haqidagi tushunchamizni kengaytirish imkonini beradi. Instrumental ma'lumotlar faqatgina 300 yildan beri yig'ib borilmoqda. Arxeo- va paleomagnet ma'lumotlarning asriy variatsiyalarni o'rganishda qo'llanilishi maydon tebranishining muhim turini (8000 yillik davrga ega MAK- to'lqin) ajratish imkonini berdi. Bu davrli tebranishni suyuq yadrodagi magnet, Arximed va Koriolis kuchlarining konvektiv harakatlari hosil qiladi.

5.3. Yerning elektr o'tkazuvchanligi va umumiy elektr modeli

Yerning elektr o'tkazuvchanligi

Tog' jinslarining elektr o'tkazuvchanligi (yoki unga teskari bo'lgan kattalik solishtirma qarshilik) Yer qa'ridagi moddaning muhim xarakteristikalaridan biri. Zichlikdan farqli o'laroq, elektr o'tkazuvchanlik juda katta diapazonda - 10^3 (Omm)⁻¹ dan 10^{-7} (Omm)⁻¹ gacha o'zgaradi. Tog' jinslarining elektr o'tkazuvchanligi uning mineral tarkibiga, g'ovakligiga, seryoriqligiga, suvga to'yinganligiga, harorati va bosimiga bog'liq. Hozirgi paytda laboratoriya izlanishlari asosida yuqoridagi faktorlarning elektr o'tkazuvchanligining miqdoriy kattaligiga ta'siri qonuniyatlari o'rganilgan.

O'tgan asrning 60-yillarigacha Yerni katta chuqurliklargacha bo'lgan elektr o'tkazuvchanligini o'rganishning keng qo'llash mumkin bo'lgan metodlari yo'q edi. Asosiy ma'lumotlarni 3-5 km chuqurlikkacha bo'lgan burg'ulash ishlari va sun'iy o'zgarmas tok manbalari bilan olib boriladigan elektrazvedka metodlari (3-5 km chuqurlikkacha) berardi. Faqatgina Fin qo'ltig'ida A.P.Kraeva va A.S.Semenovalar tomonidan o'tkazilgan noyob eksperimentda o'zgarmas tok yordamida 10 km chuqurlikkacha solishtirma qarshiliklar o'rganilgan.

Chuqurlik geoelektrikasining paydo bo'lishiga A.N.Tixonov va L.Kanyar tomonidan tashqi tabiiy elektrmagnet maydon yordamida

Yerning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish g'oyasi asos bo'ldi. Tabiiy elektrmagnit maydon Yerda keng davriy intervalda mavjud ($10^{-4} - 10^6$ s). U ionosfera va magnitosferada joylashgan tok sistemalari ta'sirida hosil bo'ladi. Quyosh plazmasi va Yer magnit maydonining o'zaro ta'sirlari natijasida tok sistemalarining magnit maydoni o'zgaradi. Bu o'zgaruvchan magnit maydoni Yerda elektr tokini hosil qiladi. Bu toklar *tellurik toklar* nomini olgan, tabiiy elektrmagnit maydonni o'rganuvchi metod esa – *magnitotellurik metod* deb atalgan.

Bu metodning asosida tabiiy elektrmagnit maydonining soddalashgan modeli yotadi. Tashqi manbadan hosil bo'lgan birlamchi maydon ham, gorizontaal bir jinsli Yerda, o'zini bir jinsli (bir xil) tutadi deb taxmin qilinadi. Bunda o'zaro perpendikulyar bo'lgan elektr va magnit maydonining gorizontaal tashkil etuvchilari nisbatlari, variatsiyalarning davri va o'tkazuvchanlikning chuqurlik bo'yicha taqsimlanishiga bog'liq bo'ladi. *Impedans Z deb ataluvchi bu nisbat*, har qanday ortogonal joylashgan tashkil etuvchilar orqali hisoblanishi mumkin, ya'ni $Z = E_x / H_y = - E_y / H_x$.

Variatsiyalar davri qancha katta bo'lsa, maydon Yerga shuncha chuqur kirib boradi. Impedansning davr ortishi bilan o'zgarishi, solishtirma qarshilikning chuqurlik bilan o'zgarishini akslantiradi. Amalda tuyuluvchi solishtirma qarshilikni ρ_T o'zgarishini kuzatish qulayroq, u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\rho_T = (\omega\mu)^{-1}|Z|^2 \quad (5.6)$$

bu yerda, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T – variatsiyalarning davri (sekundda), $\mu =$

$4\pi \cdot 10^{-7}$ Genri/m, Z – Omda, ρ_T – Omm da. ρ_T ning ko'rsatkichlari eng ekstremal holatlarda haqiqiy solishtirma qarshilik ko'rsatkichiga yaqin bo'ladi. Masalan, eng kichik davrda, maydon pastki qatlamga hali o'tmaganda, ρ_T ning qiymati birinchi qatlamning solishtirma qarshiligiga teng. Tabiiy elektromagnit maydon variatsiyalarini keng davriy intervalda qayd qilib, tuyuluvchi solishtirma qarshilikning davrdan bog'liqligi grafigi, ρ_T zondlash egri chizig'ini olish mumkin. Zondlash egri chiziqclarini ixtiyoriy muhit uchun hisoblangan algoritmlari mavjudligi, qarshiliklarni chuqurlik bo'yicha

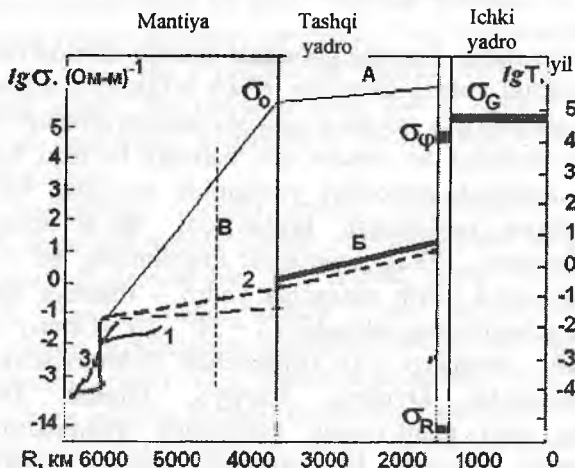
taqsimlanishini aniqlashga imkon beradi, ya'ni teskari masala yechiladi: ρ_T qiymatlari bo'yicha muhitning parametrlari aniqlanadi.

Yerning umumiy elektr modeli

Barcha tan olgan Yerning geoelektr modeli asosida uning temir yadrosi mavjudligi yotadi. Shundan, elektr o'tkazuvchanlikning yadro – mantiya chegarasida sakrab o'zgarishi taxmin qilinadi. Bu sakrab o'zgarishning kattaligi bir necha o'n barobar bo'lishi kerak. Uni elektrmagnit zondlash metodlari yordamida aniqlash, bu modelni to'g'ri ekanligini tasdiqlagan bo'lar edi. Ba'zi tadqiqotchilar (Rotanova, Pushkov, 1982), geomagnit maydonning 60 – 30 yillik variatsiyalarini qayd qilish natijasida yadro – mantiya chegarasida elektr o'tkazuvchanlikning sakrashini $S = 10^5 - 10^6$ (Omm)⁻¹ tengligini olishgan. 5.10 - rasmdagi «V» uchburchak Kolomiytseva, Oldridj, Steysi, Makdonald, Dyukrui, Kurtiyo, Moelm, Benks va boshqalarning quyi mantiyaning geoelektrik kesimlarini umumlashtirish orqali olingan. Bu rasmdagi shtrixli chiziq elektr o'tkazuvchanlikning 11 yillik variatsiyalariga tegishli. Bu chamasi eng aniq natija hisoblanadi, chunki boshqa uzunroq davrli (20 – 100 yil va undan katta) variatsiyalarni doimo va hamma yerda kuzatish imkoni yo'q. Shuning uchun asriy variatsiyalar (5.10 - rasmdagi 2- egri chiziq) bo'yicha ma'lumot shtrix chiziq bilan davom ettirilgan. Elektr o'tkazuvchanlikning sakrab o'zgarishi yadro – mantiya chegarasi bilan 2 – egri chiziq kesishgan joyda kuzatilishi kerak ($S = 10^5 - 10^6$ (Omm)⁻¹ bo'lgan qiymatgacha A - chiziq). Elektr o'tkazuvchanlikning bu qiymati temir tarkibli tashqi yadroning o'tkazuvchanligiga to'g'ri keladi. 5.10 – rasmdagi o'ng tarafdagi shkala variatsiyalarning davrini ko'rsatadi, unga mos keluvchi o'tkazuvchanlik esa chap tarafdagi shkalada berilgan. Shunday qilib, agar biz yadrodagi elektr o'tkazuvchanlikni qiymatini aniqlamoqchi bo'lsak, biz davri 10^5 yil bo'lgan elektrmagnit to'lqinlar bilan zondlashimiz kerak bo'lar edi.

Izlanishlar natijasida Yer shari bo'ylab barcha qit'alarining Yer qobig'ida elektr o'tkazuvchanlikning katta anomalialari aniqlandi, ko'pchilik qadimgi platformalar qalqonlari (masalan, Boltiq qalqoni va hokazo) va er qobig'ida o'tkazuvchi qatlam ajratildi, yuqori mantiyada o'tkazuvchi qatlamlar ajratildi va global magnetvariatsion egri chiziqlarni interpretatsiya qilish natijasida elektr

o'tkazuvchanlikning 2000 km chuqurlikkacha bo'lgan qismi o'rganildi.



5.10-rasm. Yerning elektr o'tkazuvchanligining chuqurlik bo'yicha o'zgarishi:
geomagnit variatsiyalar (1), asriy variatsiyalar (2) va GMTZ (3)
(Rotanova, Pushkov, 1982) ma'lumotlari asosida

Shu bilan birga, Yerning 5/6 qismini tashkil etuvchi okeanlar osti yer qobig'i va mantiyasining elektr o'tkazuvchanligi sust darajada o'rganilgan. Hozirgi vaqtda okean ostida ayrim magnittellurik zondlash ishlari olib borilgan bo'lib, bu ma'lumotlarni umumlashtirish ancha mushkulliklarni tug'dirmoqda.

Tayanch iboralar

Magnitosfera, ionosfera, magnit momenti, magnit induksiyasi, izogon, izoklin, izodinamo, geodinamo, migratsiya, inversiya, magnitostratigrafiya, variatsiya, paleomagnetizm, tellurik toklar, impedans.

Nazorat savollari

- 1. Yer magnit maydonining tabiati qanday?*
- 2. Yerdagi hayot uchun magnitosferaning ahamiyati qanday?*
- 3. Yer magnit maydoni elementlari deganda nimalar tushuniladi?*
- 4. Yer magnit maydonining qanday variatsiyalari mavjud?*
- 5. Yerning tashqi va ichki magnit maydonlari haqida tushuncha bering?*
- 6. Magnit maydoni hosil bo'lishining qanday farazlari mavjud?*
- 7. Paleomagnetizm nimaga asoslangan?*
- 8. Paleomagnetizm fanining qanday asosiy yutuqlarini bilasiz?*
- 9. Yerning elektr o'tkazuvchanligi nimalarga bog'liq?*

VI BOB. YERNING ISSIQLIK MAYDONI

Yer qobig'i, umuman litosferada sodir bo'ladigan tektonik harakatlar va deformatsiyalar mexanik, kinetik energiyalar mahsuli. Ammo, bu energiyalar – Yerning yuqori qattiq qobiqlari moddalarining bo'shoqlanish yoki zichlashish, kengayish yoki siqilish jarayonlarini keltirib chiqaruvchi issiqlik energiyasining qayta o'zgargan ko'rinishi. Bunday jarayonlar Yer rivojlanish tarixida uzluksiz davom etib keladi va ularning ro'yobga kelishligi esa o'z navbatida uzluksiz, juda katta quvvatdagi issiqlikni Yer bag'ridan ajrab chiqishligini talab qiladi. Yer bag'ridan hozirgi zamonda $4,2 \times 10^{13}$ W miqdorda issiqlik oqimi ajrab, qattiq Yer yuzasi orqali muttasil (uzuluksiz) atrof-muhitga tarqayotganligi isbotlab berildi.

Aynan shuni nazarda tutgan holda «Yer – issiqlik mashinasi» degan ibora kelib chiqqan. Bu mashinani harakatga keltiruvchi issiqlikning zamin chuqurliklaridan chiqishi, chuqurlik ortgan sari haroratning ham ortib borishi va yuqorida qayd qilingan miqdorda baholanayotgan issiqlik oqimi dalillar asosida o'z isbotini topgan bo'lsada, tabiiy savol yuzaga keladi: Qanday omillar bu issiqlik oqimini keltirib chiqaradi?

6.1. Issiqlik oqimining manbalari

Yerdagi issiqlik oqimining asosiy manbai an'anaviy fikrga ko'ra *radioaktiv elementlarning parchalanishidan* chiqadigan issiqlik energiyasi hisoblanadi. Haqiqatdan shundaymi? Buni biz quyida ko'rib chiqamiz (keyingi «Radiogen issiqlik»ni q.).

So'nggi yillardagi tadqiqotlar asosida radiogen manbadan tashqari issiqlik oqimining boshqa manbalari ham mavjud ekanligi isbot qilib berildi. Bular: Yerning me'rosiy issiqlik energiyasi, gravitatsion differentsiyalanish energiyasi, Yerga Oy va ayniqsa Quyoshning gravitatsion ta'siri energiyasi.

Radiogen issiqlik

XIX – XX asrlar oralig‘ida radioaktivlik kashf qilingunga qadar, Yerning issiqligi Kant-Laplas farazi deb ataluvchi kosmogenik qarashga muvofiq uning birlamchi olovli-suyuq holatidan meros bo‘lib qolgan deb tasavvur qilinar edi. Ammo, bu fikr Yer sovishi vaqtini, ya‘ni yoshini 100 mln yildan oshmasligi haqidagi fikrga asoslanishini talab etardi.

Radioaktivlik hodisasini kashf qilinishi yer qobig‘ida radioaktiv elementlarning mavjudligi «merosiy» issiqlik farazini puchga chiqarib, ilm sahnasidan chiqarib tashladi. Shundan buyon ko‘pchilik tadqiqotchilar Yerning ichki issiqligining asosiy manbai radioaktiv elementlar; eng avvalo qobiq va mantiya tarkibidagi *uran, toriy va kaliyning parchalanishidan* hosil bo‘lgan energiya deb hisoblaydilar.

Amerikalik geofizik V. Vakening hisoblashi bo‘yicha, radiogen issiqlik Yer umumiy issiqlik oqimining $\frac{1}{4}$ qismini ta‘minlar ekan. Ya‘ni, umumiy issiqlik oqimi – $4,2 \times 10^{13}$ W bo‘lsa, radiogen issiqlik $1,14 \times 10^{13}$ W ga teng.

Tabiiy radioaktiv elementlarning asosiy zaxirasi (90 %ga yaqini) kontinental qobiqning yuqori qatida mujassamlangan. Bu esa okeanlarda radioaktiv parchalanishning boshqa mahsuloti – geliyning juda oz miqdorda ajralishi bilan ham tasdiqlanadi. Agar okeanlarda issiqlik oqimi radioaktiv parchalanish oqibati bilan bog‘liq bo‘lsa, uning miqdoridan faqat 5 %i geliy ajralishi hisobiga to‘g‘ri kelar ekan. Buning ustiga, agar radioaktiv elementlarning asosiy massasi kontinental qobiqning yuqori qismida mujassamlashgan bo‘lsa, ular ajratadigan issiqlik ancha chuqurlikdagi tektonik jarayonlar sodir bo‘lishligida sezilarli ahamiyat kasb etishligi mumkin emas.

Demak, radiogen issiqlik Yerdagi tektonik faollikni ta‘minlab turishlik uchun sarf bo‘layotgan issiqlik energiyasining asosiy tashkil etuvchi manbai deb aytilish mutlaqo mumkin emas. Issiqlik oqimining yaqqol boshqa, ancha muhim va ancha chuqurdagi manbalari mavjud.

Yerning merosiy issiqligi

Bu manba Yerning akkretsiya va qisman protoplaneta davrlaridan meros bo‘lib o‘tgan. Avvalgi fikrlardan farqli, Yer protoplaneta disk ko‘rinishida birmuncha qizishga duchor bo‘lgan. Bo‘lajak Yer paydo

bo'lish oblastida harorat 1000-1200 K gacha yetgan. Akkretsiya jarayonida Yer juda sezilarli darajada qizigan va uning sathida yoki uncha katta bo'lmagan chuqurlikda «magmatik okean»ni hosil bo'lishini ta'minlagan. Ammo bu akkretsiyon issiqlikning qancha miqdori hozirgi davrgacha saqlanib qolganligini va uning sayyoramiz energetik balansidagi roli qandayligini hisoblashning imkoni yo'q.

Chuqurlik gravitatsion differentsiyallanishining issiqligi

1971-yili Rossiya fizik-matematik olimi, geolog O.G. Soroxtin radioaktiv elementlar parchalanishidan chiqadigan issiqlik Yerning asosiy energiyasi degan fikrni shubha ostiga oladi. Bu olim Yerning ishida asosiy manba sifatida mantiya va yadro chegarasida sodir bo'ladigan gravitatsion differentsiyallanish jarayoni haqidagi fikrni ilgari suradi. Hozirda bu fikrning to'g'riligi o'z tasdig'ini so'nggi yillardagi kashfiyotlarda ham topmoqda. Masalan, o'rta okean tizmasining o'q qismida jadal issiqlik oqimini ajralish jarayoni kashf etildi va real issiqlik oqimining miqdori baholandi. Spreading o'qi bo'ylab hisoblangan issiqlik oqimi miqdori tabiiy radioaktiv elementlar parchalanishidan ajrab chiquvchi issiqlikka nisbatan ancha ko'p ekanligi qayd etildi. Yerning bu eng muhim issiqlik manbai chuqurlikdagi gravitatsion differentsiyallanish jarayonlari natijasida sodir bo'ladi. Ya'ni, Yerdagi moddalarning kimyoviy va fizik holatining o'zgarishi oqibatidagi ularning zichligi bo'yicha taqsimlanish jarayonidan issiqlik ajralib chiqishligi so'nggi yillardagi kuzatuvlarda o'z tasdig'ini topdi.

Gravitatsion differentsiyallanishdagi asosiy jarayon bo'lib, mantiya va yadro chegarasidagi moddaning silikat va metalli yoki aniqrog'i metallashgan (Fe_2O yoki FeO) qismlarga bo'linishi xizmat qiladi. Mantiya va yadro chegarasi Yerdagi gravitatsion differentsiyallanishning yagona chuqurligi emas. Yana ham chuqurroqda bunday gravitatsion differentsiyallanish manbai tashqi va ichki yadro oraliqidagi chegara hisoblanadi. Chunki, ichki yadro «toza» temir tarkibli (nikel «primes»lari bilan), tashqi yadro esa – kislorod, oltingugurt, kremniy kabi elementlarga boy.

Yerning asrlar mobaynida sovishi bilan bog'liq ichki qattiq yadroning kattalashishi bu yengil «primes»larni tashqi yadroga siqib chiqarishlikka sababchi bo'ladi.

Gravitatsion differentsiyallanishning boshqa chuqurligi – ostki va yuqori mantiyaning chegarasi bo‘lib, issiqlik ajralishi jarayoni ular oralig‘idagi kimyoviy tarkibning farqi (ostki mantiya yuqori mantiyaga nisbatan temir bilan ko‘proq boyigan) bilan bog‘liq.

Gravitatsion differentsiyallanishning yana bir sathi – bu astenosfera va litosfera chegarasi. Bu zonada peridotitli mantiya moddasidan iborat bazalt fraktsiyasining erishi ro‘y beradi. So‘ng, yuqoriga ko‘tarilib, yer qobig‘ini ko‘paytiradi. Ammo, differentsiyallanish qobiqning o‘zida ham davom etadi – ostki (yoki o‘rta) qobiqda granit erishmasi hosil bo‘lishi yuz beradi va monand ravishda yuqoridagi granit-gneysli qat kattalashib boradi. Barcha bu jarayonlar Yer issiqlik balansining shakllanishiga o‘z hissasini qo‘shishi lozim.

Yerga Oy va Quyoshning gravitatsion ta’siridagi issiqlik manbai

Bu manba yuqorida ko‘rib o‘tilgan – Yer ichida sodir bo‘ladigan omillardan farqli, issiqlikka nisbatan tashqi faktor – Yerga uning qo‘shnisi Oy va ancha kam darajada Quyoshning gravitatsion ta’siri keltirib chiqaruvchi kuchlar bilan bog‘liq. Yerga Oy va Quyosh «ta’sir kuchlarining», ya’ni kinetik energiyasining issiqlikka aylanishi ta’sir kuchlari «bukr»ligidagi moddaning ichki ishqalanishi oqibatida sodir bo‘ladi.

O.G. Soroxtin va S.A. Ushakov hisoblari bo‘yicha hozirda «qattiq» Yerdan tarqayotgan ta’sir kuchlari energiyasining miqdori zamin ishlab chiqarayotgan barcha issiqlik energiyasining 2 %idan oshmas ekan. Bu energiyaning ko‘p qismi sayoz suvli dengizlarda va kam miqdorda – okeanlarda va astenosferada yuzaga keladi. Bu vaziyatda Oy ta’sir kuchi haqida fikr ketayapti.

Quyosh ta’sir kuchining omili esa Oy ta’sir kuchi omilining 20 %ini tashkil etadi.

Ammo, geologik o‘tmishda Oy va Yer orasidagi masofa hozirgiga nisbatan kam bo‘lgan. Ta’sir kuchi issiqligining miqdori ham Yerning issiqlik balansida monand ravishda anchagina ko‘p miqdorda bo‘lgan. Ayniqsa bunday xususiyat Yer rivojining ertangi – togeologik bosqichiga, o‘rta arxeygacha bo‘lgan vaqtga taalluqli.

O.G. Soroxtin va S.A. Ushakov Yer va Oy bir vaqtda hosil bo‘lganligi va bu bosqichda astenosfera mavjud bo‘lmaganligi

haqidagi fikrga asoslanib, Oy hosil bo'lishidan so'ng darrov ta'sir kuchi energiyasi generatsiyasining tezligi hozirgi Yerdagi endogen issiqlik generatsiyasi tezligidan 13 marotaba ortiq bo'lgan va ta'sir kuchi balandligi 1 km dan oshgan degan xulosaga kelganlar. Bu mualliflar tadqiqotiga ko'ra, 4,6 – 4 mlrd yil muqaddam oralig'ida Oyning ta'sir kuchi hisobiga Yer taxminan qo'shimcha 500 °C ga qizigan bo'lishi mumkin.

Kechki arxeyda, proterozoy va fanerozoyda Oy va Yer oralig'idagi masofaning ortishi va juda katta epikontinental dengizlarni paydo bo'lishi bilan vaziyat o'zgargan, ta'sir kuchi issiqligining umumiy chuqur issiqlik oqimiga qo'shgan ulushi 1-2 % dan ortmagan.

6.2. Issiqlik oqimi hodisasi va uning o'lchov birliklari

Issiqlik oqimi hodisasi

Biz yuqorida Yerdagi issiqlik ishlab chiqaruvchi bir necha manbalarni ko'rib chiqdik va an'anaviy hisoblangan radiogen issiqlik umumiy Yer issiqligining $\frac{1}{4}$ qismiga tengligini qayd etdik.

Xo'sh «issiqlik mashinasi» ishlab chiqarayotgan mahsulot qanday yo'l bilan yuqoriga ko'tariladi?

Zamin bag'rida ishlab chiqarilayotgan va saqlanayotgan issiqlik – *termal energiya* miqdori Yer qobig'i orqali o'tib, fazoda tarqaydi. Bu – tabiatning «*issiqlik oqimi*» («teplovoy potok», «heat flow») hodisasi deb ataladi.

Yer qobig'ida issiqlik oqimi hodisasining xususiyatlarini bilish zamin qa'rida kechayotgan jarayonlarni, jumladan foydali qazilmalar genezisi muammolarini o'rganishda va ularning mohiyatini ochishda kalit vazifasini bajaradi.

Issiqlik o'lchov birligi nima?

Bunday savol bilan murojaat etilganda tabiiy holda: «gradus Selsiy – °C» – deb javob beriladi. Bu to'g'ri!

Lekin, issiqlik o'lchovining boshqa birliklari ham fanda ma'lum. Ulardan ko'p hollarda mutaxassislar foydalanadigan issiqlik o'lchov birliklari: $\text{mkkal}/\text{sm}^2\text{c}$; mVt/m^2 ; $\text{kal}/^\circ\text{C} \cdot \text{g}$; $\text{Dj}/^\circ\text{C} \times \text{kg}$; $\text{kal}/\text{sm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$;

$Vt/m \cdot ^\circ C$. Bu birliklar orasida issiqlikning metrik birligi o'Ichovidan Yer qa'ridan ko'tarilayotgan issiqlik oqimini o'lchashda foydalaniladi - mVt/m^2 .

Metrik birlikni boshqa birliklar bilan o'zaro mutanosibligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

Issiqlik oqimi birligi («Edinitsa teplovogo potoka» - ETP) = 1 mkkal/sm² c = 41,8 mVt/m² (1,4 ETP = 60 mVt/m²) · 1 kal/°C · g = 4180 Dj/oC · kg (0,24 kal/°C · g = 1000 Dj/°C kg) · 1 kal/sm · s · °C = 418 Vt/m · °C (0,007 kal/sm · c · °C = 3 Vt/m · °C).

6.3. Issiqlik oqimining ko'rinishlari: Konvektiv va konduktiv oqim tushunchalari

Yer qa'ridagi issiqlikning Yer sathiga ko'tarilishi, ya'ni issiqlik oqimi ikki yo'l bilan sodir bo'ladi: konvektiv va konduktiv. Konvektiv oqim ma'lum bir issiqlik nuqtalari (aniqrog'i, kanallari) orqali namoyon bo'lsa, konduktiv oqim esa – biror sath bo'ylab yuqoriga ko'tariladi.

Konvektiv oqim - issiqlik nuqtalari orqali oqim ko'tarilganda, bu issiqlik biror modda orqali olib kelinadi. Issiqlikni bunday yo'l bilan Yer qa'ridan ko'tarilishi konveksion issiqlik oqimi deb yuritiladi. *Konveksiya* – lotincha «convectio» so'zi bo'lib «olib kelish», «olib kelinishi» ma'nosiga ega. Konveksiya so'zi fanda issiqlik yoki elektr zaryadlari harakatiga nisbatan qo'llanilib, ular bir makondan ikkinchi makonga o'tishida ma'lum muhit asosiy omil bo'lib xizmat qiladi. Masalan, issiqlikni havo va gaz yoki suyuqlik orqali olib kelinishi. Oddiy shaklda tushintirilganda konveksiya hodisasiga xonadonlarimizda qish mavsumida faoliyat ko'rsatadigan, markaziy isitish sistemasiga ulangan batareyalarni misol sifatida keltirsa bo'ladi. Bunda issiqlik olib keluvchi asosiy omil suv, ya'ni qaynoq suv tarkibidagi issiqlik ajralib chiqib xonadonimizdagi havoga o'tadi, sovigan suv o'z yo'lida aylanaveradi. Yer qa'ridan ko'tariladigan issiqlikning konvektiv hodisasi o'rta okean tizmalarining, «qora kashandalari», kontinent va okeanlardagi «issiqlik nuqtalari», neftgazli o'lkalarning «chuqurlik issiq massa harakatlanadigan kanallari» orqali amalga oshadi. Konveksion oqimdan farqli, issiqlik konduktiv yo'l bilan ham tarqaydi.

Konduktiv issiqlik oqimi yuz bergan holatlarda Yer qa'ridan ko'tarilayotgan issiqlik yer qatlamlarining yaxlit yuzasi orqali o'tadi.

Prinston universiteti professori V. Djason Morgan yer qobig'ining vertikal harakati va issiqlik oqimini o'rganib, okean tubi yo'qotayotgan issiqlikning yarmiga yaqini lokal issiqlik nuqtalari orqali ko'tarilib, qolgan yarmi esa issiqlik o'tishi hisobiga – sath orqali (konduktiv yo'l bilan) ko'tarilar ekan deb xulosa chiqargan.

Demak, yuvinil litosfera yo'qotadigan issiqlikning ko'p qismi zamonaviy asboblardan ham o'lchash imkoni bo'lmagan konveksion oqim orqali olib ketiladi.

Konveksiya Yerning ichki issiqligini tashqariga chiqishidagi eng samarali va isbot etilgan mexanizm. Konvektiv issiqlik oqimining haqqoniyligi seysmotomografiya metodi bilan mantiyada qizigan va sovugan oblastlarni almashinuvini xaritalash asosida tasdiqlandi.

Demak, konveksiya toza tafakkur mahsuli bo'lmay, u faktik dalillar asosiga qurilgan ilmiy xulosa. Konveksiyani inkor etib bo'lmaydigan dalillardan biri okeanning spreading mintaqalarida gidrotermal faoliyatni (issiqlik manbalarini) kashf etilishi bo'ldi. Bunday issiqlik manbalari faqat o'rta okean tizmalarida emas, shu bilan birga chekka dengizlarda ham qayd etilishi, Yerning chuqur tubliklaridan kelayotgan issiqlik oqimining baholanishini keskin oshirishni talab etdi.

Agar, tabiatda issiqlik oqimining konveksiya jarayoni mavjud bo'lmaganida va Yer bag'ridan ko'tarilayotgan issiqlik miqdori zamindan faqat *konduktiv* («to'g'ridan-to'g'ri, uzluksiz») yo'l bilan chiqib ketganda, Yer juda tez qizib ketib, uning yuqori qatlari – oyog'imiz ostidagi, insoniyat faoliyat ko'rsatayotgan yer qobig'i erib ketar edi. Umuman, Yer ichki tuzilishiga – III bobda yoritilgan Yerning yetti qavatining Yer ichki tarafidan Yer yuzasi tomon joylashishiga ahamiyat beradigan bo'lsak, aynan oyog'imiz ostidagi yer qobig'i insoniyat sivilizatsiyasi uchun zarur bo'lgan moddalarni o'zida jamlagan tarzda yaratilgan.

6.4. Okean tubidagi gidrotermlar – «qora kashandalar»

Gidrotermlarni kashf qilinishi va «qora kashandalar»ning hayoti

O'rta okean tog' tizmasining kashf qilinishi va uning xossa-xususiyatlarini geologik geofizik xaritalash, geokimyoviy tadqiqotlar

o'tkazish yo'li bilan bilvosita va nihoyat inson faoliyat ko'rsatuvchi suv osti apparatlarida tadqiqotchilarning okean tubini kuzatishlari natijasida sayyoramizdagi yana bir ajabtovur hodisani fanga ma'lum qilib, Yer haqidagi ilmni inqilobga olib kelinishiga sabab bo'ldi.

O'rta okean tizmasidan 1100–1200 °C issiqlikda magma yer tubidan ko'tarilib, okean suvi ostiga uzluksiz quyilishi ma'lum bo'ldi. Ammo, bunday haroratdagi magma ko'tarilishi o'rta okean tizmasining barcha joyida bir tekisda kuzatilmagan. Bunday anomal yuqori haroratli zonalar o'rta okean tizmasi bo'ylab 100–150 km masofa oralig'ida uchrashi ma'lum bo'ldi.

Okeanning 2–3 km chuqurligidagi zulmat bag'rida bunday anomal zonalarini okean sathidan maxsus jihozlangan sudnalar bortidan xaritalash metodlari mavjud (bu haqda keyinga q.). Bu metodlarni qo'llab anomal zonalarining joylarini to'la ravishda ishonchli tarzda xaritaga tushirilib, «gidrotermallar obrazi» aniqlangandan so'ng, ularning batafsil tavsilotlari o'rganilib, suv ostida insoniyat faoliyat ko'rsatadigan apparatlarni okean tubiga tushiriladigan joylar belgilanadi. Shundan so'ng, belgilangan joyga – okeanning zulmat bag'riga faoliyat yuritadigan apparat ichida okean tadqiqoti mutaxassislarining tashrifi amalga oshiriladi.

Apparat belgilangan nuqtaga tushiriladi. Undagi katta quvvatga ega bo'lgan projektorlar va projektorlar nuridan ham uzoqroqni ko'rish imkonini beruvchi lokatorlar yoqiladi. Bu lokatorlar projektor nuri yetib boruvchi 8–10 m emas, balki yuzlab metr uzoqdagi maqsadli obyektini – gidrotermalni izlay boshlaydi. Bu vaqtda projektor nuri ostida «yaqindagi hayot belgilarini» kuzatish mumkin. Bular gidroterm issiqligi ta'siridan halok bo'lgan tirik organizmlar – qisqichbaqalar, vestimentifer va boshqa jonzotlar. Demak, faoliyatdagi gidroterm – sulfid ruda minorasi yaqin o'rtada.

Haqiqatdan ham apparat tez orada uning devoriga to'qnash keladi. Apparat qarshisidagi minoraning balandligi apparatdan o'n, o'n besh marta katta bo'lganligi uchun apparat illyuminatoridan uni to'laligicha ko'rib bo'lmaydi. Minora tanasini va qismini o'rganish maqsadida apparat maxsus aylana manevrini bajarib, minora bo'ylab ko'tarila boshlaydi.

Minora og'zidan chiqayotgan qora «tutun» illyuminatordan ko'zga tashlanadi. Okean tadqiqotchilari Yer ilmidagi yangilik – mashhur «qora kashandalar»ni kashf etadilar.

Okean tubi tadqiqotchilari tabiatning qanday sir-sinoatiga duch kelishdi? Minora og'zidan ufurayotgan qora «tutun» nima?

Bu yerdan namunalar olish, va tadqiqot natijalaridan ma'lum bo'ldiki, minora og'zidan katta haroratda (+350 °C gacha) va miqdorda yer mantiyasidan (ichki qismidan) sulfid rudalari (temir, marganets, miss va b.) chiqib, okean suvlari bilan qorishib ketadi. Natijada kimyoviy reaksiya vujudga kelib, minerallarning katta miqdordagi metallga boy mayda zarrachalari hosil bo'ladi. Atrofdagi suv harorati esa +2-+4 °C dan oshmaydi (A.P. Lisitsin, Yu.A. Bogdanov, E.G. Gurevich, 1990). Demak, bunday gidrotermal qurilmalar o'ziga xos ruda «fabrikasi» bo'lib xizmat qiladi. Bu yerda katta bosim, shuningdek suv ustuni bosimi ham mavjud.

Minora og'zidan shiddat bilan yuqoriga urib chiqayotgan qaynoq eritma oqimini o'z ko'zlari bilan kuzatgan tadqiqotchilar, uni go'yo katta paroxod trubasidan baquvvat ustun turida qora rangda vishillab chiqayotgan sulfid rudani qora «tutunga» o'xshatishgan. Aynan shuning uchun ham gidrotermal mineralarning bunday xususiyati ularni «qora kashandalar» deb nom olishiga sababchi bo'lgan. Agar, mineralar og'zidan sulfat eritmalar tarzida bazalt qavatdan metallar ko'tarilsa, «tutun» oq rangda bo'ladi va bunday holat «oq kashandalar» nomini olgan. Mineralarning balandligi 100–150 m ga yetadi.

Suv osti apparati illyuminatoridan fantastik miqyosdagi ulkan mineralar kuzatilgan. Eng baland minora deyarli 20 qavatli imoratga, ya'ni chamasi 55 m ga teng bo'lgan. Apparatdagi asboblar esa 100 m gacha balandlikka ega bo'lgan «qora kashandalarni» ham qayd etgan. Eng taajjublanarlighi shu bo'ldiki, okean tubining nisbatan kichik, boryo'g'i 14 kv km sathga teng maydonida 70–80 ga yaqin «qora kashandalar»ning mineralari kuzatilgan.

Bundanda taajjublanarlighi – bu mineralarning tanasi «tirik choyshab» bilan o'ralgan. Bu gidrotermal faunalar, tirik organizmlardir. Gidrotermlarda g'ujg'on urgan tirik organizmlar – ekstrofillardan tashqari, bunday ekstremal sharoitda, ya'ni quyosh nuri mutlaqo mavjud bo'lmagan zulmatda, kislorodsiz va nihoyatda yuqori bosim va haroratda (1000–1200 °C gacha) hamda oltingugurt-vodorodli va zaharli metallar mavjud bo'lgan muhitda yashovchi tirik mavjudotlarning boshqa turlari – qisqichbaqalar va uzunligi 2 m ga yetadigan chuvalchangsimon «vestmentiferlar» ham hayot kechi-

rishligi kuzatilgan. Okean tubidagi ekstremal sharoitdagi hayotning kechishi uchun fotosintez o'rniga xemosintez tabiat sahnasiga chiqqan.

Xemosintez sharoitidagi tirik organizmlar uchun Quyosh nuri singari «qora kashandalar» og'zidan ufirilayotgan issiqlik oqimi oziqa vazifasini o'taydi. Demak, «qora kashandalar» sharoitidagi hayot uchun Quyosh nuri va kislorodli muhit zarur emas ekan.

Okean tubidagi gidrotermlarni prognoz qilish metodikasi

O'rta okean tog' tizmasining kashf qilinishi Yer haqidagi ilmlarni qayta ko'rib chiqishga sabab bo'ldi. Dunyo okeani tubi bo'ylab yastangan bu tizmalarni mukammal tadqiqoti natijalarida tabiat hodisalarining qator kashfiyotlari ro'yobga keldi. Jumladan, bu yerlarda Yer qa'ridan chiqayotgan juda katta haroratli issiqlik oqimi - gidrotermlar aniqlandi. Bunday gidrotermlar o'ziga xos okean tubidagi issiq massa kanallari vazifasini o'tab, Yer qa'ridagi issiqlik oqimini konvektiv yo'l bilan yuqoriga chiqarishni ta'minlab beradi. Bunday kanallardan 1100-1200 °C ga ega qaynoq magma Yer tubidan ko'tarilib, okean suvi ostiga uzluksiz quyilib turishligi ma'lum bo'ldi. Bunday natijalar o'tgan asrning 70- va 80 yillari Rossiya Fanlar Akademiyasining P.P. Shirshov nomli okeanologiya instituti olimlari va mutaxassislari Kaliforniya bo'g'ozida, sharqiy Tinch okeani tizmasida olib borgan kuzatuvlarining mahsuli bo'ldi. Okeanda olib borilgan bunday kuzatuvlar faqatgina suv sathidan emas, balki maxsus moslamalar – suv ostida faoliyat ko'rsatadigan apparatlar «Paysis» va «Mir» yordamida okean tubida ham bajarildi.

Yuqorida qayd etilgan issiqmassa kanallari - gidrotermlar o'rta okean tizmasining barcha joyida uchrayvermaydi. Ular 100-150 km masofada bitta yoki ikkita uchraydi. Ularni aniq joyini okeanni tadqiq qilish uchun amalga oshiriladigan har bir reysni samarali bajarish maqsadida okeanlarni tadqiqot qiluvchi «Dmitriy Mendeleev» va «Akademik Mstislav Keldish» nomli sudnalar maxsus geologik va geofizik tadqiqotlarni okean sharoitida o'tkazishga mo'ljallangan moslama va qurilmalar bilan jihozlangan. Okean tubiga tushishdan oldin suv sathida geologo-geofizik va geokimyoviy metodlar bilan okean tubi o'rganiladi. Chunki har bir okean tubiga tushish juda murakkab jarayon va katta sarf-xarajat evaziga amalga oshiriladi. Hamda bu jarayon okean tubiga apparatlarda tushayotgan ekipaj

a'zolari hayoti uchun havfsiz deb sanalmaydi. Shuning uchun gidrotermlarni o'rganishlik, eng avvalambor ular mavjud bo'lgan joyni aniq belgilash bilan bog'liq. Demak, okean tubi tadqiqotida gidrotermlarni o'rganish bo'yicha maxsus strategiya va kuzatuv metodikasiga tayanishi lozim. Bunday metodika gidrotermlarning diagnostik tavsiflariga asoslangan. O'rta okean tog' tizmasining gidrotermal qurilmalari mavjud bo'lgan joylar quyidagi diagnostik belgilarga ega bo'ladi.

*Birinchi*dan, bunday joylar ko'p holatlarda o'rta okean tizmasi o'qining – plitalar ajralish chizig'ining (spreding) siljigan («pereskok») mintaqalariga to'g'ri keladi.

*Ikkinchi*dan, ular mavjud joylarda rift vodiysining, ya'ni spreding o'qi o'tgan mintaqa tubi gumbazsimon ko'tarilishga ega bo'ladi.

Yuqorida qayd etilgan ikki xususiyat kema bortidan turib bajariladigan geologik-geofizik metodlar yordamida o'rganiladi va gidroterm qurilmalari ehtimoli bo'lgan mintaqalar xaritalanadi.

Keyingi bosqichda, bunday xaritalangan mintaqalar doirasida suv qatlami va okean tubi cho'kindilarining namunalari geokimyoviy metodlar yordamida o'rganiladi. Geokimyoviy tadqiqotlar sudna bortidagi laboratoriyalarda bajariladi. Demak, gidroterm mavjudligidan dalolat beruvchi uchinchi belgi: agar okean tubida katta energetik quvvatga ega bo'lgan gidroterma faoliyatda bo'lsa, u albatta gaz tarkibining anomaliyasi sifatida o'zini namoyon etadi. Bunday anomaliyalar kema bortida gaz analizatorlari yordamida aniqlanadi. Suv va cho'kindi namunalari bu yerda tahlildan o'tkazilib, natijalari tezkorlikda olinadi. Agar namunada ma'lum miqdorda geliy (geliy-3) izotopi qayd etilsa, bu bexato ravishda okean suvi tarkibidagi gazlar yerning chuqur qatlamlaridan chiqayotgan moddalar mavjudligidan guvohlik beradi. Demak, kuzatilayotgan joyning yaqin atrofida faoliyatdagi gidroterma mavjud, chunki geliy-3 - bu faqat yerning chuqur mantiya qismidan ko'tariladigan kimyoviy elementligi fanda isbot qilingan.

*To'rtinchi*dan, okean tubidan ko'tarilgan eritmalar va boshqa namunalardagi anomaliyalar qayd etilsa, demak okeanologlar issiq massa kanallariga yana ham yaqinlashganliklaridan guvohlik beradi. Bunday anomaliyalar 20 dan ortiq elementlarning ekspress-analizi o'tkazilib, tezkor tarzda aniqlanadi.

Yuqoridagi belgilar tahlili asosida faoliyatdagi katta quvvatga ega geotermlarning aniq joyi belgilanib, xaritaga tushiriladi. Shundan

so'ng okeanologlar o'z ixtiyorlaridagi suv ostida faoliyat ko'rsatadigan apparatlarda gidroterm aniq mavjud bo'lgan - okean tubida behato belgilangan joyga tushishni amalga oshiradilar. Ular XX asrning 70- yillari Kaliforniya bo'g'ozidagi va 80- yillari Sharqiy Tinch okeani ko'tarilmasidagi juda faol bo'lgan issiq massa ko'tariluvchi kanallarni okean tubiga tushib o'z ko'zlari bilan ko'rishga musharraf bo'lganlar. Bunday gidrotermalar fanda yuqorida ta'rif berilganidek «qora kashandalar» deb nomlangan.

6.5. Plyum-tektonika yoki issiqlik nuqtalari

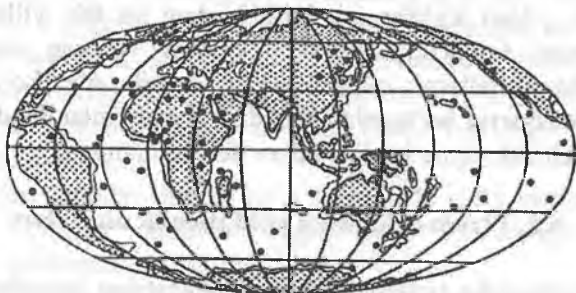
Plyum-tektonika («pleyt-tektonika») atamasiga muqobil ravishda) yoki plyumlar tektonikasi («plitalar tektonikasi»)ga muqobil ravishda) konsepsiyasining tarixi yangi global tektonika nazariyasi shakllanayotgan XX asrning 60- va 70- yillariga boradi. Bu davrda Dj. Vilson va Dj. Morgan «issiqlik nuqtalari» va mantiya oqimlari («struya») – plyumlari farazini ilgari surdilar (6.1-rasm).

Bu farazning ilgari surilishiga sabab, Yangi global tektonika kontsepsiyasi asosini tashkil etgan «litosfera plitalar»ining ichki qismida kuzatiladigan vulqonlar va magmatik jarayonlar bo'lib, bunday xususiyat konsepsiya postulatiga to'g'ri kelmasligi bo'ldi. Chunki, Yangi global tektonika konsepsiyasi postulatiga ko'ra seysmik faol mintaqalar, shu jumladan vulqon va magmatizm jarayonlari plitalarning chekka qismi bo'ylab tarqalganligi faktik materiallar asosida isbot qilib berilgan edi. Shu bois, plitalarning ichki qismida kuzatilgan vulqonlar va magmatik jarayonlar o'zagi qayerda? – degan savol vujudga kelgan edi.

Yuqorida qayd etilgan plyum-tektonika farazi shu savolga javob topish uchun qaratilgan qadam bo'lgan. Bu farazning vujudga kelishiga Tinch okeanidagi Gavaya va Imperator tog' tizmalarini tadqiqot natijasi sabab bo'ldi.

Gavaya tog' tizmasi janubi-sharqda Gavaya orollarida faoliyatdagi vulqonlar bilan yakunlanuvchi so'ngan vulqonlar mavjud zanjirsimon tizilgan orollardan iborat. Faoliyatdagi bu vulqonlar – Kilauea, Mauna-Loa va Mauna-Kea. Gavayadagi hozirda faoliyatdagi vulqonlardan boshlab, so'ngan vulqonlar yoshi birma bir tizmaning shimoliy chekkasidagi vulqongacha qonuniy tarzda eotsengacha (42 mln. yil) ulg'ayib boradi. Bu yerda, ya'ni eng «ulug'» vulqon mavjud

bo'lgan orol Imperator tizmasidagi suv osti zanjirsimon vulqon tepaliklari bilan ulanib ketadi.



6.1-rasm. Asosiy issiqlik nuqtalarining zamonaviy joylashishi
(Dj. Vilson, 1973)

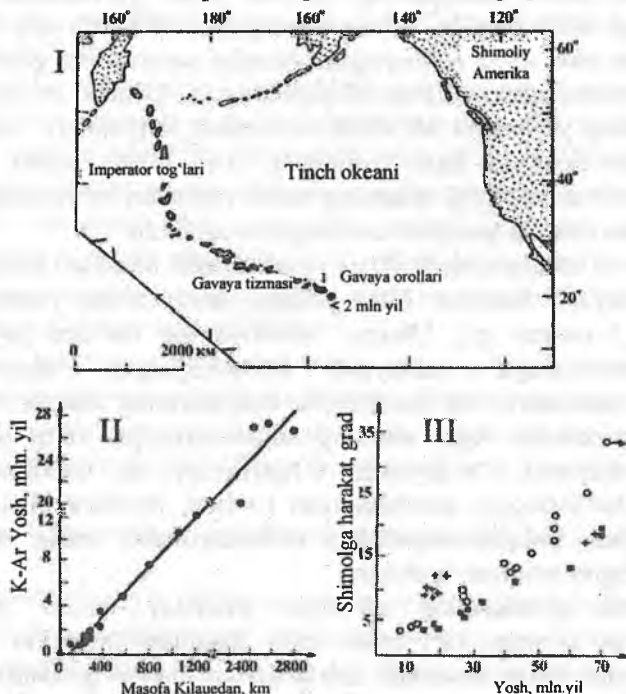
Imperator tizmasining yo'nalishi Gavaya tizmasi singari g'arbi-shimoli-g'arbdan sharqi-janubi-sharqiy bo'lmay, shimoli-g'arbiy janubi-sharqiy; vulqon qurilmalarining yoshi eotsendan bo'rdavrining kechki bo'limigacha (78 mln yil) ortib boradi.

Shunday qilib ko'z o'ngimizda vulqon markazlarining vaqt va makon bo'ylab qonuniy tarzdagi migratsiyasini yaqqol tasvirda kuzatish mumkin (6.2-rasm). Bu holatni Dj. Vilson va Dj. Morgan Gavaya oroli ostida hozirgi vaqtda faoliyat ko'rsatayotgan astenosfera va litosferani teshib o'tayotgan o'zagi statsionar vaziyatda bo'lib, yuqoriga vertikal ko'tarilayotgan issiq mantiya oqimining («struya») mavjudligi bilan tushintiradilar. Tinch okeani litosfera plitasi bu issiqlik nuqtasi ustidan avval shimoli-g'arb (Imperator tizmasi), so'ng 42 mln. yil muqaddamdan boshlab g'arbi-shimoli-g'arbiy yo'nalishda harakatlangan. Bu yo'nalishdagi harakat mobaynida issiqlik oqimi uning duch kelgan litosfera plitasi qismini teshib yuqoriga ko'tarilavergan va natijada yangi vulqonlar hosil bo'lavergan.

Hozirda seysmik tomografiya mantiyadagi konvektiv oqim hamda Gavaya, Islandiya, Yelloustan kabi yirik zamonaviy plyumlar haqida ma'lumotlar bermoqda.

Ammo, qanday qilib mantiyadan vertikal ko'tarilayotgan issiqlik oqimi astenosferada ro'y berayotgan gorizontal konvektiv oqim orqali ko'tarilishi hamon taxmin darajasida qolmoqda.

A.A.Abidovning (2014) fikricha, plyum tektonika mexanizmining ishlashi uchun vertikal oqim tezligi astenosferadagi gorizontol oqim



6.2-rasm. Faol vulqonli Gavaya orollaridan uzoqlashgan sari Gavaya-Imperator tizmalaridagi vulqon qurilmalari yoshining ortib borishi va uning issiqlik nuqtalari farazi bo'yicha interpolyatsiyasi:

I – Umumiy sxema, D. Klek va b.(1975) bo'yicha; II – Gavaya tizmasidagi vulqonlar yoshining Kilaueagacha masofadan bog'liqligi, chiziqning egilishi vulqonlanish ehtimoliy migratsiyasi tezligiga $9,41 \pm 0,27$ sm/yil to'g'ri keladi, I. Mak-Dougal, R. Dunkan (1980) bo'yicha; III –Tinch okean plitasini shimolga siljishining turli metodlar bo'yicha olingan kattaligini taqqoslash: Gavaya-Imperator tizmasidagi vulqonlarning yoshi bo'yicha, ya'ni Gavaya issiqlik nuqtasiga nisbatan (aylanachalar); paleomagnet ma'lumotlari bo'yicha (qo'shuv belgilar); ekvatorial mintaqaning cho'kindi fatsiyalari bo'yicha (to'g'ri to'rtburchaklar). R. Gordon, Ch. Keyp (1981) bo'yicha.

tezligidan bir necha marta ortiq bo'lishi lozim. Bunday vaziyatda astenosfera oqimi mantiyaning vertikal oqim yo'nalishini ozroq o'zgarishiga ta'sir etsa-da, batamom unga monelik ko'rsata olmaydi (*hozirda bu olim ilmiy rahbarligida bunday vaziyatning geodinamik miqdoriy modellashtirish ishlari bajarilmoqda*). Demak, bu ikki oqim faqat ularning yo'nalishi bo'yicha bir-biridan farqlanmay, ular fizik xususiyatlari bo'yicha ham farqlanadi. Issiq massa oqimi issiqlik oqimini yorib o'tishligiga (ularning tezlik nisbatlari ta'minlanganda!) tabiiy hodisa sifatida qaralishi asoslangan voqealidir.

Okean va kontinentlarda 40 ga yaqin issiqlik nuqtalari aniqlangan. Ularning deyarli barchasi bilan vulqon faoliyatining namoyonligi bog'liq (6.1-rasmni q.). Ularga mantiyaning ma'lum joylaridan («nedepletirovannaya mantiya») ko'tarilayotgan ishqor-bazalt magmalari xarakterli. Bu esa issiqlik nuqtalarining chuqur «ildizli» ekanligidan dalolat. Agar ularning statsionarligiga, ya'ni geologik davrlar mobaynida o'z joylarini o'zgartirmay, bir koordinatalarda faoliyatda bo'lishligiga asoslanadigan bo'lsak, litosfera plitalarining «qoziqlangan» issiqlik nuqtalariga nisbatan nisbiy emas, aksincha mutlaq tezligini aniqlash mumkin.

Litosfera plitalarining absolyut (mutlaq) tezligi haqidagi parametrlarni boshqa yo'l bilan ham hisoblash mumkin. Bunda momentsiz hisoblash sistemasi deb ataluvchi metod qo'llaniladi. Bu metod quyidagiga asoslangan. Hozirda mavjud bo'lgan har qaysi litosfera plitasi mezosferaga aylanish momentini beradi. Aylanish momentini plitalarning chegaralari va ularning burchak tezligini bilgan holda hisoblab chiqarish mumkin. So'ng shunday sistemani topish lozimki, bu sistemada barcha plitalar mezosferaga bergan momentlar barcha plitalar momentlari yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak. Olingan natijalarni issiqlik nuqtalari bilan solishtirish yaxshi, ammo bunday solishtirish to'liq bo'lmagan ravishdagi monandlikni ko'rsatdi. Bunday to'liq bo'lmagan monandlik issiqlik nuqtalari bir-biriga nisbatan uncha katta bo'lmagan masofaga joylarini o'zgartirishi, ya'ni ba'zi siljishlarga duchor bo'lishligidan guvohlik beradi degan xulosalar ham mavjud. Ehtimol, bu o'zgarish issiqlik nuqtalari «o'zagining» siljishi natijasi emas (ular statsionar!). Issiqlik nuqtalarining bir-biriga nisbatan joyining uncha katta bo'lmagan masofaga o'zgarishi, ya'ni siljishi mantiyadan ko'tarilayotgan vertikal issiqlik oqimining astenosferada ro'y berayotgan gorizontal

konvektsiya oqimi ta'siriga duchor bo'lishining natijasi deb qaralsa to'g'riroq bo'lardi. Ammo, issiqlik nuqtalarining bu siljishi litosfera plitalarining harakatiga nisbatan juda ham sezilarsiz darajada namoyon bo'ladi.

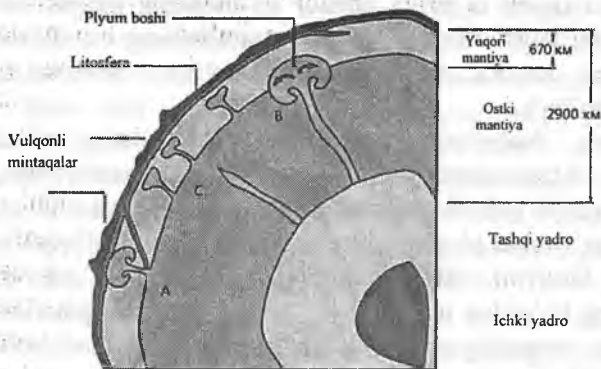
Yaqinda Imperator tizmasidagi vulqonlarni paleomagnetik o'rganish maxsus dasturi tufayli Imperator tizmasini shakllantirgan mantiya oqimini meridional siljiganligi isbot etildi va o'lchab chiqildi.

Hozirgi vaqtda plyum-tektonika tadqiqotchilar diqqat markazida. Plyumlar faoliyati bilan tektonika, magmatizm va ruda hosil bo'lishining ko'pgina masalalari o'z izohini topmoqda. Davriy hosil bo'ladigan «superplyumlar» bilan superkontinentlar bo'linishi va parchalanishi jarayonlari izohlanadi.

Ostki mantiya sirtidan va hatto uning tubidan ko'tariladigan mantiya plyumlarining faoliyati litosfera plitalarining harakatiga va o'zaro munosabatiga ta'sir etib qolmay, ba'zi hollarda bu jarayonlarni nazorat etishi ham mumkin degan fikrlar mavjud (6.3-rasm).

6.6. Chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar

Konvektiv issiqlik oqimi chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar («kanal glubinnogo teplomassoperenosa – kanal GTMP») orqali amalga oshishi, yuqorida e'tirof etib o'tilgan «qora kashandalar», «issiqlik nuqtalari» singari, ammo ularga nisbatan namoyon bo'lish energiyasi kam miqdorda bo'lsada, tabiatda mavjudligi isbot qilib berildi. Chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar orqali issiqlikni Yer qobig'ining ostki qismidan va yuqori mantiyadan ajralib chiqayotgan yuvinil gazlar (SO_2 , N_2 , H , CH_4 , Ar va b.) olib chiqishligini XX asr oxiri – XXI asr boshlarida A.A.Abidov o'z hamkasblari va shogirdlari bilan olib borgan keng qamrovli ilmiy-tadqiqot (F.G. Dolgoplov, A.E. Abetov va b.), dala sharoitidagi termogeokimyoviy s'emkalar (A.A. Polikarpov, U.N. Raxmatov, U. Kamolodjaev), geodinamik miqdoriy modellashtirish (I.U. Atabekov, A.I. Xodjimetov) va laboratoriya-eksperimentallari (Z. Tilyabaev) asosida isbot qilib berdi va fanga birinchi bor «*chuqurliklik issiqmassasi harakatlanuvchi kanallar*» tushunchasini kiritdi.



6.3-rasm. Mantiya plyumining ko'rinish sxemasi (V.E Xain bo'yicha)

Bunday kanallarning tabiatda mavjudligi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasi ilk marotaba 1997y. «O'zbekiston neft va gaz jurnali»ning 5- sonidagi A.A.Abidov va b. «Neft va gaz konlarining paydo bo'lishi va joylashishida chuqurlik issiqmassa jarayonlarining roli» nomli maqolada e'lon qilindi.

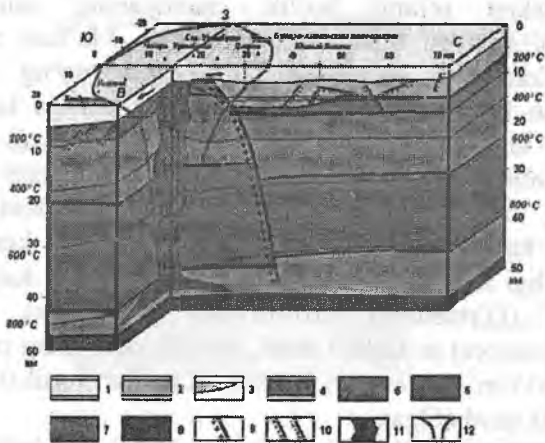
Keyingi yillarda keng qamrovda olib borilgan dala termogeokimyoviy syomkalar va ilmiy-tadqiqot ishlari natijasida Markaziy Qizilqum, G'arbiy O'zbekistondagi O'rtabuloq, Tegirmon, Surxondaryo o'lkasidagi Gadjak-Boyangora, Farg'ona vodiysidagi Adrasman-Chust, Qorajiyda, Ustyurt o'lkasidagi Sam, Toshquduq, Urganch kabi chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallarni xaritalash imkonini berdi.

Chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar nafaqat termogeokimyoviy s'emkalaridagi anomaliyalarda, balki chuqur seysmik zondlash va seysmorazvedkaning umumiy chuqurlik nuqtalari metodlari yordamida olingan geofizik kesmalarni interpretatsiyasi natijalari bilan ham isbotlandi. Geofizikaning bunday materiallarining tahlilidan ma'lum bo'ldiki, chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar sifatida turli yo'nalishlarda mavjud bo'lgan uzilmalarning kesishgan zonalarini xizmat qilgan ekan. Bunday zonalarda yer qobig'ining nisbatan bo'shashgan jinslari mavjud bo'lib, ular o'zidan ma'lum termobarik sharoitlarda yuqori tomon issiq massani o'tkazish xususiyatiga ega bo'ladi. Qayd etilayotgan kanallarning

faoliyati diskret rejimli bo'lib, mantiyaning shu zonadagi termodinamik vaziyati bilan bog'liq bo'ladi. Ma'lum portsiyadagi issiqmassa kanaldan ko'tarilish jarayonidan so'ng pastda bu issiqmassadan bo'shagan interval qayta o'z holatiga keladi. Ostki intervalning inversion rejimi yuqoridagi issiqmassani yana ham yuqoriga intilishiga qo'shimcha turtki vazifasini bajaradi. Kanallarning og'zi «voronka»simon bo'lib, maydoni 750 km² (O'rtabuloq kanali), 800 km² (Tegirmon), 1000 km² (Gadjak-Boyangora) ligi aniqlandi. Issiqlik oqimining faolligi kanallar ustida 110 mVt/m² (O'rtabuloq), 120 mVt/m² (Tegirmon), 85 mVt/m² (Gadjak-Boyangora) ni tashkil etadi, issiqlik oqimining regional foni esa 60-80 mVt/m² ga teng (6.4-rasm). Kanallar vertikal subvertikal ko'rinishlarda qayd etilgan.

Xaritalangan kanallarning uch o'lchamli modellarini ishlab chiqishlik, bunday kanallarning ta'sir radiusida cho'kindi qoplamida aniqlangan neft va gaz konlari joylashganligini ko'rsatdi. Kanallar ustida qazilgan quduqlar kesmasining ost qismidagi (yuqori paleozoy va ostki-o'rta yura terrigen) jinslardan olingan kern namunalaridan shliflar tayyorlanib, uning mineralogik tarkibi mikroskopda tahlil qilinganda (N. Osipova), shliflarda yuqori issiqlik ta'siridan ikkilamchi o'zgarishga duchor bo'lgan minerallar, ya'ni yuqori haroratga xos bo'lgan atsestosor minerallar qayd etildi. Quduqlardan olingan qatlam suvlari tarkibi laboratoriyada (V.A. Kudryakov) tahlil etilganda, ularning tarkibida chuqurlikdan ko'tarilib, qatlam suvlari tarkibiga o'tgan noyob yer elementlari (toriy, stronsiy) mavjudligi aniqlandi. Kanallar ustida joylashgan konlardagi uglevodorodlar tarkibi gaz xromotografiyada (S. Ramazonov, A. Tulanov) tahlil qilinganda tabiiy gaz tarkibida yuvenil gazlar mavjudligi ham qayd qilindi.

Yuqorida qisqacha bayon etilgan laboratoriya tadqiqotlarining va dala s'emkalarining kompleks natijalari *chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar* tabiatda mavjudligi va ular orqali issiqlik oqimining konveksion turi amalga oshirishligiga shubha qoldirgani yo'q.



6.4-rasm. O'rtabuloq koni atrofi bo'ylab faoliyatdagi chuqurlik issiq massa harakatlanuvchi kanalning uch o'lchamli modeli (tuzuvchilar A.A. Abidov, F.G. Dolgoplov, A.A. Polikarpov, 2002):

- 1 – mezozoy-kaynozoy qoplami; 2 – yuqori rift kompleksi; 3 – ostki rift kompleksi; 4 – torift asosi; 5 – kristallangan fundament, 6 – ostki qobiq; 7 – mantiya diapirining qoldig'i (relikt), 8 – yuqori mantiya, 9 – qobiqni yorib o'tgan uzilmalar; 10 – yuqori qobiqdagi uzilmalar; 11 – chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanal; 12 – anomal termogeokimyoviy zonaning chegarasi.

Bunday kanallarning tabiatda mavjudligi va ular aynan katta neft va gaz konlari ostida joylashganligi o'z navbatida kanallar orqali konvektiv oqimda ko'tarilayotgan issiq massaning neft va gaz hosil bo'lishi jarayonlarida ishtirok etishligi muammosini keltirib chiqardi. Bu muammo kimyoviy eksperimentlar natijasida hal etilib, *neft va gaz generatsiyatsiyasining mikstgenetik kontseptsiyasi* A.A. Abidov tomonidan (hamkasblari va shogirdlari ishtirokida) ishlab chiqildi.

Mikstgenetik kontseptsiya esa yangi neft va gaz konlari mavjud bo'lgan joylarni prognoz qilish va ularni izlashning avval ma'lum bo'lmagan yangi metodini ishlab chiqish imkonini berdi. Bu metod «Uglevodorod konlarini izlash va razvedkasi uchun istiqbolli maydonlarni aniqlash usuli» nomli ixtiro bo'ldi (mualliflar A.A. Abidov, T.L. Babadjanov, A.B. Bigaraev, I.I. Diveev, A.A. Polikarpov,

I.X. Xalimatov, U.N. Raxmatov) va 05.02.2009 y. O'zbekiston Respublikasining davlat ixtirolar reestrída №IAR 03894 sonli patent bilan qayd etildi. Mikstgenetik konsepsiyaning yaratilishini Yer ilmidagi ilmiy-texnik inqilobning neft va gaz geologiyasiga kirib kelishligi va Yer issiqlik oqimiga bo'lgan munosabatning geodinamik nuqtai nazardan tubdan o'zgarishining natijasi deb qarashlik zamon talabiga mos bo'lgan ilm bilan kelishish sifatida baholansa bo'ladi.

Tayanch iboralar.

Radiogen issiqlik, issiqlik oqimi, konveksiya, konduksiya, «qora kashanda», plyum, issiq nuqta, chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar.

Nazorat savollari.

- 1. Yerning qanday issiqlik manbalari mavjud?*
- 2. Issiqlik oqimi nima va uning o'lchov birliklari qanday?*
- 3. Konduktiv va konvektiv issiqlik o'tkazuvchanlik haqida tushuncha bering?*
- 4. Hidrotermlar haqida tushuncha bering?*
- 5. Plyumlar qanday hosil bo'ladi?*
- 6. Yerda issiqlik o'tkazishning qanday mexanizmlari mavjud?*

VII BOB. YER REOLOGIIYASI, YERNING ASOSIIY GEOSFERALARI VA ULARNING CHEGARALARI TABIATI

Yer fizikasida muhit. Oquvchanlik jarayoni. Reologik muhitlar uchun kuchlanish va deformatsiyalar orasidagi bog'liqlik. Yer reologiyasi. Yuqori bosim va haroratlarda Yer moddasi. Moxorovichich chegarasi tabiati va xususiyalari. Yer qobig'ining shakllanishi, differensiatsiya gipotezasi, mintaqaviy erish va okean qobig'ining paydo bo'lishi.

7.1. Umumiy tushunchalar

Yer mantiyasini o'rganish, Yerning gravitatsion maydonida issiqlik va moddalarni tashishning asosiy jarayonlari konveksiya va diapirizm (plyumlarning shakllanishi va ko'tarilishi) ekanligi haqidagi xulosalarga olib keldi. Zichligi kichik qatlamning zichligi katta qatlam ostida bo'lib qolishi natijasida muhitdagi zichliklarning beqarorligi hosil bo'lishi, bu jarayonlarning bevosita sababidir. Bunday beqarorlik mexanikada *Reley – Teylor beqarorligi* nomini olgan va bu borada juda ko'p nazariy va amaliy izlanishlar olib borilgan.

Zichlik kamayishining tabiati ikki xil bo'lishi mumkin: issiqlik va kimyoviy. Kimyoviy inversiya yer qobig'ida diapirlarning (tuz gumbazlari, granit gumbazlari) hosil bo'lishi va rivojlanishidan ma'lum. Astenosferadagi beqarorlik tufayli hosil bo'luvchi diapirlar esa issiqlik tabiatiga ega. Bu ikkala omil (faktor) mantiyaning D'' qatida birgalikda namoyon bo'ladi va bu zonada *ostki mantiya termokimyoviy plyumlari* hosil bo'ladi. Bu beqarorlikning rivojlanishi juda sekin harakat («krip») va qayishqoq suyuqlikning oqishi tarzida kechadi. Bu jarayonlar *mantiya reologiyasi* va tog' jinslari xossalariining haroratga bog'liqligi bilan belgilanadi.

Reologiya – jinslarning qattiq holatda oquvchanlik xossalariini aks ettiruvchi tushuncha. Tog' jinslariining katta bosim va harorat ta'sirida kristallik holatidan plastik holatga o'tishi juda ko'p misollarda o'z isbotini topgan hodisa. Ayniqsa buni metamorfik jinslar misolida ko'p uchratish mumkin. Xilma-xil disgarmonik burmalar, tomirlar, «qat-

qat» jinslar hosil qilgan metamorfik jarayonlar bunga yaqqol misol bo'la oladi.

Tog' jinslarning «oquvchanligi» ularning yopishqoqlik xususiyatlariga, yopishqoqlik xususiyatlari esa o'z navbatida jinslarning kimyoviy tarkibi, bosim va harorat bilan bog'liq.

Har qanday tog' jinslari uchun bosim va haroratni ortib borishi, uni yopishqoqligini pasaytiradi va oquvchanligini oshiradi. Jinslarning bu xususiyatlarini maxsus fan – *reologiya* – mexanikaning maxsus bo'limi o'rganadi.

Moddiy jismlarning xususiyatlarini o'rganishda reologiya elastiklik nazariyasi bilan gidrodinamika o'rtasidagi vaziyatni egallaydi.

Yer moddasining mexanik xususiyatlari murakkabligi bilan birga ma'lum darajada zidlilikka ham ega. Masalan, Yer mantiyasining moddasi uzoq muddatli va masshtabli tashqi ta'sirga xuddi sekin oquvchan suyuqlikka o'xshab javob beradi. Lekin, shunga qaramasdan past tezlikli qatda barcha elastik to'lqinlar kuzatiladi. Yerning siqilishi ham aylanma harakatlanayotgan suyuqlikning muvozanat shartlariga javob beradi.

Qayishqoqlik (vyazkost) – ichki ishqalanish – bu oquvchan jismlarning (suyuqlik yoki gazlarning) bir qismini boshqa qismiga nisbatan siljishiga qarshilik ko'rsatish xususiyatidir. Qayishqoqlik η SGS sistemasida $g/(sm \cdot sek) = 1$ Puaz (P) yoki SI da $n \cdot sek/m^2 = Pa \cdot sek = 10P$.

Qayishqoq elastiklik (vyazkouprugost) – bu qattiq jismning bir vaqtning o'zida ham elastik ham oquvchan xususiyatga ega bo'lishidir. Ba'zi bir jismlar qayishqoqligining ko'rsatkichlari: suvning qayishqoqligi uy haroratida - 0,01P, glitserin – 7 P, asfalt – $10^{10} - 10^{12}P$.

Tog' jinslariga uzoq muddatli kuch ta'sir qilayotganda ularning deformatsiyalari butunlay elastik bo'lmaydi, unda plastiklik, elastik aks ta'sir hodisalari, yopishqoqlik (polzuchest) kuzatiladi. Jismlarning bunday elastik bo'lmagan holatlari reologiyaning asosiy tenglamalarida ifodalangan. Bu tenglamalar ancha murakkab bo'lib, ular urinma kuchlanishlar, hosil bo'luvchi deformatsiyalar va ularning tezliklarini o'zaro bog'laydi.

Gidrostatik bosim sharoitida jismlar Guk qonuniga bo'ysunadi. Turli xil materiallarning turlicha qo'yilgan kuchlar (jadalligi, vaqti)

ta'sirida o'zlarini tutishlari haqidagi ma'lumotlarga asoslanib, urinma kuchlanish τ , deformatsiya ε va ularning tezligi $d\varepsilon / dt$ orasidagi bog'liqlik aniqlanadi.

Jismlarning reologik xususiyatlarini o'rganishni yengillashtirish uchun mexanikada *ideal reologik jismlar* tushunchasidan foydalaniladi. Bu jismlarga: *Guk jismi* N (elastik qattiq jism), *Nyuton jismi* N

(Nyutonning qayishqoq suyuqligi), *Sen-Venan jismi* StV (plastik qattiq jism) kiradi. Bu jismlar parallel (I) yoki ketma-ket (—) bog'lanib murakkab tuzilishli boshqa jismlarni hosil qiladilar: *Maksvell jismi* $M = N - H$ (elastik – qayishqoq suyuqlik), *Kelvin jismi* $K = H I N$ (elastik aks ta'sirga ega qattiq jism), *Prindtl jismi* $P = StV - H$ (elastik – plastik qattiq jism), *Djeffris jismi* $J = N I M$ (qattiq jismdagi elastik kuchlanishlar relaksatsiyasi) va boshqalar.

7.2. Yer geosferalarining reologiyasi

Yer qobig'i tog' jinslarining reologiyasi

Yer yuzasiga yaqin tog' jinslari faqatgina mo'rtlik yoki sinuvchanlikni namoyon qilmasdan, balki burmalanishning har xil turlarini ham namoyon qiladi. Burmalanishni plastik deformatsiya yoki suyuqlik sifat oqim hosil qiladi. Tog' jinslaridagi metamorfik reaksiyalarni ko'rsatishicha, burmalanish hosil bo'layotgandagi harorat tog' jinsidagi minerallarni erish haroratidan juda kichik bo'lgan. Yer qobig'idagi tog' jinslarning minerallari chegarasida suv molekullari mavjud bo'lsa, u erituvchi sifatida ta'sir etadi. Yerigan mineral zarrachalar yuqori bosimli, erish yuqori bo'lgan zonadan, erish tezligi past bo'lgan past bosimli zonaga diffuziv o'ta boshlaydi. Demak, erigan minerallarning diffuziyasi qayishqoqlikka olib keladi. Kompresion qayishqoqlik mexanizmi natijasidagi deformatsiya ta'sir etuvchi kuchlanishga proporsional va oquvchanlikka ekvivalentdir.

Masalan, 500°C haroratda kvarsning qayishqoqlik koeffitsiyenti 10^{17}P ni tashkil etadi. Ko'rinib turibdiki, kompresion qayishqoqlik Yer qobig'i tog' jinslari deformatsiyasining muhim mexanizmidir. Uning asosida past haroratlarda ham burmalanish hosil bo'lishi mumkin.

Mantiya moddalarining reologiyasi

Mantiya moddalarining qayishqoq oquvchanligini bir necha yo‘l bilan aniqlash mumkin: mantiya moddasining reologik holati, mexanik xususiyatlari, zilzilalar haqidagi ma‘lumotlar bo‘yicha. Uning ikkita asosiy mexanizmi bor, diffuzion va dislokatsion oquvchanlik. Ulardan qaysi biri mantiyadagi oqimlarni boshqarishi noma‘lum.

Mantiya moddasi o‘zini juda sekin oquvchi suyuqlik sifatida tutadi. Geoidning aylanish ellipsoidi formasidan og‘ishi (taxminan $\pm 100\text{m}$), mantiyaning o‘lchamlari (3000 km) va mantiyadagi konvektiv oqimlarning o‘rtacha tezligi (10-20 sm/yil) haqidagi ma‘lumotlardan Mantiyaning o‘rtacha qayishqoqligini baholasa bo‘ladi, u 10^{22} P ni tashkil etadi.

Okean osti litosfera plitalarida 85 -100 km chuqurlikda qisman erigan mantiya moddasining oquvchanligi 10^{19} - 10^{20} P dan oshmaydi. Qit‘alar ostida 250-300 km chuqurlikda mantiyaning oquvchanligi 10^{21} - 10^{22} P ga yetadi. Quyi mantiyada oquvchanlik oshib borib 2000 km chuqurlikda 10^{24} - 10^{25} P gacha boradi. Undan chuqurroqda oquvchanlik kamaya boshlaydi va D’’ qatlam chegarasida 10^{19} - 10^{20} P ni tashkil etadi.

Yer yadrosi moddalarining oquvchanligi

Yadro moddalarining oquvchanligi haqida ma‘lumotlar kam. Djekobs (1979) ma‘lumotiga asosan Yer yadrosining oquvchanligi 10^{-3} – 10^{-2} P dan 10^9 - 10^{10} P gacha. Yer yadrosi oquvchanligining yuqori chegarasini undan o‘tuvchi bo‘ylama to‘lqinlarning yutilishi bo‘yicha baholash mumkin. Bu ko‘rsatkich kuzatishlar bo‘yicha 10^9 P dan kam. Yer yadrosida dipol magnit maydoni hosil bo‘lishi uchun yadrodagi oqimlar tezligi yuqoriroq bo‘lishi kerak. Geomagnit maydonning tashkil etuvchilarini o‘rganish, maydon generatsiyasi, uning energetikasini o‘rganish natijasida Yer tashqi yadrosidagi oquvchanlik 0,4P dan oshmasligi aniqlangan. Yadro haroratining yadroni tashkil etuvchi moddalarni erish haroratidan 50–100°C kattaligini hisobga olgan holda tashqi yadroning oquvchanligini o‘rtacha 0,1–0,01P, ya’ni suvning oquvchanligiga teng deb hisoblash mumkin.

Tashqi yadro oquvchanligi haqida ma'lumotlar deyarli yo'q. Lekin u ichki yadro oquvchanligidan bir necha o'n barobar yuqori.

7.3. Reologiya va adyabatik sharoitlar

Tog' jinslari ko'pincha bir necha minerallarning yig'indisidan iborat. Shu minerallardan eng tez eruvchisining eriydigan temperaturasi – *solidus temperaturasi*, eng qiyin eriydiganining erish temperaturasi – *likvidus temperaturasi* deb ataladi.

Yer moddasining xossalarini harorat va bosim natijasida o'zgarib borishini *adiyabatik sharoitlar* bilan bog'liq holda talqin qilinadi. Masalan, bosimni ortib borishi moddaning zichligini oshiradi, ammo haroratni ortishi aksincha, zichlikni pasaytiradi. Shuning uchun moddaning tabiiy xususiyatlari adyabatik sharoitlar bilan chambarchas bog'liq. Modda Yerning ichki qismida qattiq (kristallik), erigan (suyuqlik) holatda bo'lishi mumkin. Bu xususiyatlar jinslarning erishi bilan bog'liq.

Adyabatik (grekcha so'z, ma'nosi «o'tib bo'lmaydigan») jarayon – makroskopik sistemada termodinamik jarayon bo'lib, bunda sistema tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydi. Bu jarayon qaytariluvchi yoki qaytarilmas bo'lishi mumkin. Agar istalgan vaqtda sistema muvozanat holatda bo'lsa (ya'ni holatning o'zgarishi juda sekin bo'lsa) *adiyabatik jarayon qaytariluvchi hisoblanadi*.

Adyabatik sharoitlar moddaning reologik xususiyatlarini belgilab beradi, ya'ni uni qayishqoqligi, deformatsiyalarga moyilligi, eruvchanligi va hokazo. Bundan tashqari adyabatik sharoitlar tog' jinslarining cho'zilish va erish qobiliyatini, mantiya va astenosfera holatini belgilaydi.

Masalan, astenosferada haroratni peridotit minerallarini solidusiga yaqinlashib borishi, uni qisman erib ketganligini bildiradi. Ammo, shunday vaziyatlar ham bo'ladiki, harorat oshib borsa ham jinslar erimaydi. Buning sababi bosimning kattaligida, ya'ni bu vaziyatda bosim ortgan sari jinslarning erish qobiliyati cheklanadi va jinslar kristallik holatda saqlanib qolaveradi.

Haroratning adiabatik gradienti

6.1- rasmda tashqi bosim (a) va jism haroratining (b) chuqurlikka bog'liqligi grafigi keltirilgan. Jismning siqilishidan hosil bo'lgan chuqurlik bo'yicha haroratning o'zgarishi $G_a = \Delta T / \Delta Z$ haroratning adiabatik gradienti deb ataladi.

Agar biror jismning harorati muhit haroratidan yuqori bo'lsa ($T_{a1} > T_0$), uning zichligi kam bo'ladi va bunda itaruvchi kuch (Arximed kuchi) F_a paydo bo'ladi. Agar muhit harorati chuqurlik bo'yicha o'zgarsa, lekin haroratning ortish tezligi adiabatik gradientdan kichik bo'lsa $G_2 < G_a$ yana itaruvchi kuch hosil bo'ladi.

Lekin, agar muhitning harorati ortib, u adiabatik siqilishdan tezroq bo'lsa $G_2 > G_a$, jismning pastga ko'chishida uning harorati muhit haroratidan past bo'ladi. Bu holda Arximed kuchi pastga yo'nalgan bo'ladi.

Demak, haroratning chuqurlik bo'yicha ortish tezligi (harorat gradienti) haroratning adiabatik gradientidan kichik bo'lsa $G < G_a$, muhit barqaror. Bunday muhitda massalarning tasodifiy ko'chishi, shu massalarni o'z holiga qaytaruvchi kuchlarning paydo bo'lishiga olib keladi.

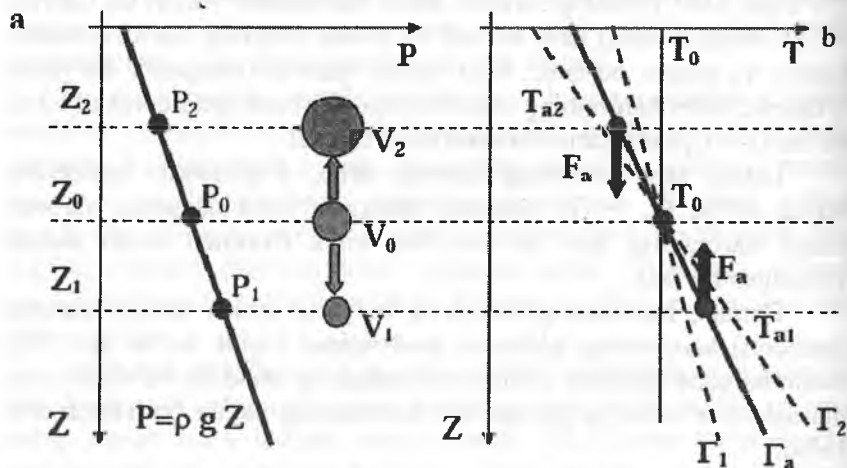
Agar harorat gradienti haroratning adiabatik gradientidan $G > G_a$ yuqori bo'lsa muhit barqaror emas. Bunday muhitda o'z o'zidan moddalarning harakati hosil bo'lishi mumkin (masalan, *vulqonlarning hosil bo'lishi*). Moddaning og'irlik kuchi maydonida harorat gradienti ta'sirida o'z o'zidan harakatga kelishi *erkin issiqlik konveksiyasi* deyiladi.

7.4. Konduktiv va konvektiv issiqlik oqimlari

Konduktiv issiqlik oqimida issiqlik energiyasi qo'zg'almas qattiq jism orqali amalga oshadigan jarayon bo'lib, issiqlik jismning issiq qismidan sovuq qismiga o'tadi. Konduktiv oqimda issiqlikning o'tish tezligi jismning tarkibiga bog'liq bo'ladi va bu holat fizikada *issiqlik o'tkazuvchanlik* deb ataladi.

Konduktiv issiqlik oqimi natijasida Yer paydo bo'lgandan beri, ya'ni o'tgan 4,5 milliard yil ichida sayyoramiz atigi 370 km gacha sovigani bo'lar edi.

Issiqlik oqimining samaraliroq turini magmaning harakatida kuzatish mumkin. Mantiyadagi jinslarning 1sm/yil tezlikdagi *issiqlik oqimi konvektiv tabiatga ega*. Bunda vaqtning geologik masshtabida (oʻn millionlab yil) haroratning ortishi yuzlab gradusga etishi mumkin.



6.1-rasm. Tashqi bosim R va V hajmli jism haroratining chuqurlik Z ga bogʻliqligi

Erkin konveksiya

Suyuqlikning konvektiv oqim mavjudligida issiqlik energiyasi oqimi bir necha marta oshadi (*Nusselt raqami*). Bu raqam suyuqlikda harakat yoʻq vaziyatda birga teng boʻladi. *Nusselt raqami* umumiy issiqlik oqimining konduktiv oqimdan qanchaga kattaligini koʻrsatadi.

Issiqlik energiyasi oqimi temperaturalar farqi ΔT ga proporsionaldir. Agar bu koʻrsatkich astalik bilan oshib borsa, biror kritik nuqtaga ΔT^* yetganda konveksiya boshlanadi va u bilan birga issiqlik oqimi issiq muhitdan sovuq muhit tomonga 10 barobarga ortadi (6.2 - rasm).

Mantiyaning yuqori qismi (150–650 km) quyidagi parametrlarga ega: effektiv qayishqoqlik $\eta = 10^{21}$ Pa s;

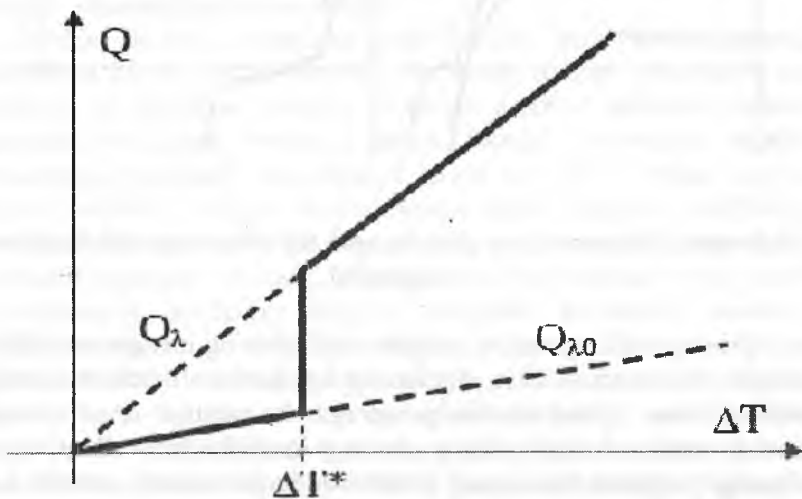
Zichlik $\rho=3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$;

Issiqlik o'tkazuvchanlik $a=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;

Shuning uchun yuqori mantiyada har doim moddalar konveksiyasi sodir bo'lib turadi va issiqlik oqimi Yer qobig'idagiga nisbatan samarali bo'ladi. Bu vaziyatdagi Nusselt raqami 20 ga teng.

Ostki mantiyada va astenosferada konduktiv issiqlik oqimining konvektiv mexanizmi doimo mavjud va uzluksiz namoyonlikda.

Astenosferaning xususiyati undagi moddaning solidus haroratiga yaqinligida, ya'ni ba'zi yengil eruvchan moddalarining erigan holatdiligida. Seysmik to'lqinlar astenosferadan o'tayotganda mexanik energiyaning issiqlik energiyasiga aylanishi, ya'ni to'lqinlarning yutilishi kuzatiladi.



6.2 - rasm. Issiqlik oqimining haroratlari farqiga bog'liqligi

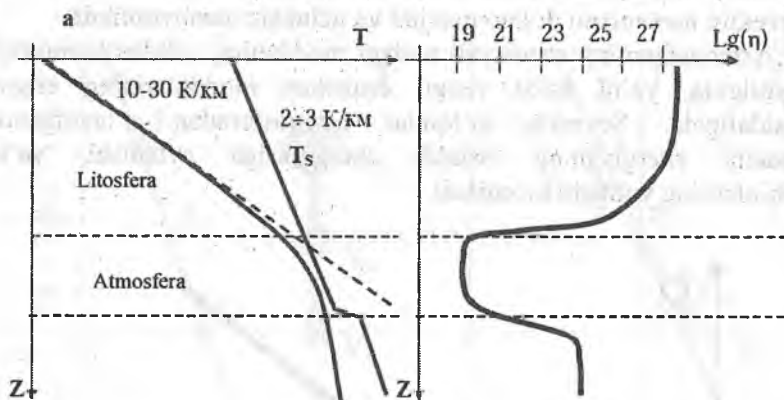
Astenosferaning yuqori chegarasida jinslar solidus haroratiga yaqin holda bo'ladi.

Litosfera – astenosfera va astenosfera - mantiya chegaralarida oquvchanlik bir necha o'n million barobarga sakraydi (6.3 - rasm).

Haroratning katta gradienti va astenosferaning plastikligi erkin konveksiya hosil bo'lishiga olib keladi. Bunday sharoitda issiqlik oqimining samarasi o'nlab marta oshadi. Zichlikning oshishi bilan

solidus harorati T_s sakrab oshadi, jinsning harorati bilan solidus harorati orasidagi farq oshadi va qayishqoqlik oshadi.

Yerni energetik balansi muammolari orasida energiyaning uzatilish mexanizmi juda dolzarb hisoblanadi. U bir necha ko‘rinishda amalga oshishi mumkin.



6.3-rasm. Harorat (a) va qayishqoqlik (b) ning chuqurlik bo‘yicha o‘zgarishi

Yerning ichki qismidan issiqlik uzatilishining mexanizmi sifatida issiqlik o‘tkazuvchanlik va issiqlikning konduktiv o‘tkazilishi ekanligi ehtimoli kam. Hisob-kitoblarga qaraganda mantiya orqali issiqlik uzatish uchun 5 mlrd yilga yaqin vaqt kerak bo‘lardi. Bu vaqt esa Yerning yoshidan ham ortiq! Nurlanish orqali issiqlik uzatish ham mumkin emas, chunki bunda nur energiyasi atrof-muhitga yutiladi. Energiya uzatishning eng samarali ko‘rinishi bo‘lib konveksiya mexanizmi so‘nggi yillardagi kashfiyotlar natijasida isbot qilib berildi.

Konveksiya deganda suyuqlik massasining harakati nazarda tutiladi. Konveksiya jarayoni suyuqlikning turli qismida zichlik va haroratning keskin farqi tufayli sodir bo‘ladigan gravitatsion beqarorlik natijasida vujudga keladi. Issiqlik va kimyoviy tarkib muvozanati buzilganda yengil massalarning yuqoriga va og‘irlarining pastga tomon harakati natijasida energiya ajralib chiqish jarayonlari kuzatiladi va tog‘ massalarining o‘zi issiqlikni o‘tkazib turadi.

Mantiyadagi konvektiv oqimlar Yer moddalarini chuqurlikdagi differentsiatsiyasini tushintirib beruvchi yagona mexanizm hisoblanadi. Agar chuqurlikdagi issiqlik Yer yuzasiga konvektiv yo'l bilan odatdagi issiqlik o'tkazish ko'rinishida namoyon bo'lganda edi, sayyoramizning butun yoshi davomida uning yuzasiga yetib bormagan bo'lar edi. Bunday holda yer qo'rida issiqlikning to'planishi natijasida oyog'imiz ostidagi yer qobig'i butunlay suyuqlanib, erib ketar edi. Konvektiv issiqlik oqimining insoniyat baxti uchun tabiatda mavjudligi Yerning o'ta qizib ketishining oldini olib turuvchi asosiy omil hisoblanadi.

Issiqlik konveksiyasi nazariyasi suyuqliklar harakatini o'rganish natijasida yaratilgan. Uning asosiy tamoyillari mantiyadagi konvektiv oqimlar nazariyasining poydevorini tashkil etadi. *Yerkin va majburiy issiqlik konveksiya* turlari mavjud.

Yerkin issiqlik konveksiya deb issiqlik tashuvchi massaning issiqlikdan kengayishi tushuniladi. Bu uning zichligi pasayishi bilan kechadi. Gravitatsion kuchlar ta'sirida issiqlik tashuvchi massa (suyuqlik yoki gaz) harakatga keladi. Bunday konveksiya issiqlik konveksiyasi deyiladi. Konveksiya tarkib va zichlik bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Bunda konveksiyaga turli kimyoviy tarkibdagi moddalar jalb etiladi. Masalan, yadro va mantiya chegarasida temirning yadroga cho'kishi, alyumosilikatli va boshqa yengil litofil birikmalarning ko'tarilib chiqish jarayonini ko'rsatish mumkin. Shakllanayotgan konvektiv oqimlar pastga va yuqoriga harakatlanuvchi vektorlarga ega bo'lib, ular haroratning kerakli gradienti yoki modda miqdori yetarlicha bo'lgunga qadar davom etadi. Tarkib va zichlik konveksiyada, ya'ni yengil modalarning suzib chiqishi va og'irlarining cho'kishidagi jarayon, ularning to'liq qayta taqsimlanishiga qadar davom etadi. Masalan, yadro va mantiya chegarasidagi differentsiatsiya jarayoni tufayli vujudga kelgan konveksiya temirning saralanishidan so'ng to'xtaydi.

Majburiy issiqlik konveksiyasi tashqi sabablar ta'sirida vujudga keladi. Bunga misol sifatida isitiladigan binoga quvurlar orqali issiqlik tashuvchi moddaning (issiq suv yoki issiqlik bug'i) majburiy harakatini keltirishimiz mumkin. Majburiy konveksiya turiga litosfera plitalarining subduksiyasi ham taalluqli.

7.5. Mantiyadagi konveksiya va litosfera plitalarining shakllanishi

Mantiyadagi konveksiya gravitatsion turg'unlikning faqat ma'lum chegaraviy parametrlari mavjudligida rivojlanishi mumkin. Nazariy hisoblar shuni ko'rsatadiki, konveksiyaning vujudga kelish sharti sifatida Reley sonining kritik miqdorining oshishi ahamiyatga ega, bunda $R = \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{gh^3}{\nu x}$. Birinchi ko'paytuvchi $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ o'rganilayotgan qatlamaning osti va ustidagi zichlikning nisbiy farqini aks ettiradi. Bu zichlik o'zgarish ko'rsatkichi hisoblanadi. Ikkinchi ko'paytuvchi og'irlik kuchi tezlashuvini (g), qatlam qalinligini (h), uning kinematik qovushqoqligini (ν) va harorat o'tkazish koeffitsiyentini aks ettiradi. Bunda kinematik qovushqoqlik modda qovushqoqligining zichligiga bo'lgan nisbatini ($\nu = \frac{\eta}{\rho}$) aks ettiradi va stokslarda o'lchanadi (sm^2/s). Harorat o'tkazish koeffitsiyenti $x = \frac{\kappa}{\rho c}$, bunda x – issiqlik o'tkazuvchanlik, s - esa nisbiy issiqliq sig'imi. Bir stoks shunday kinematik qayishqoqlikka tengki, unda $1\text{g}/\text{sm}^3$ bo'lgan muhitning dinamik qayishqoqligi 1 Puazga teng bo'ladi.

Yuqoriga harakatlanuvchi oqimlar mantiya va yadro chegarasidan boshlanadi. Bu yerda, mantiyani kremniy oksidi, alyuminiy, magniy va kalsiy oksidlari bilan boyishiga olib keluvchi moddalarning gravitatsion differentsiatsiyasi amalga oshadi. Mantiya asosida yuqoridagi qatlardan $0,05\text{ g}/\text{sm}^3$ ga farq qiluvchi zichlik anomaliyalari hosil bo'ladi. Bu esa qizigan yengil massaning yuqoriga ko'tarilish imkoniyatini yaratadi. Ular yer yuzasiga modda va energiyani olib chiqadi, ya'ni konvektiv oqim to'la amalga oshadi. Uning masshabi yadro va mantiya chegarasidagi jarayonlar bilan, ya'ni Yer yadrosi o'sish jadalligi bilan bog'liq. Yer yuzasida bunday modda va energiya chiqadigan joy okeanlardagi O'rta-okean tog' tizmalari va ulardagi «qora kashandalar», rift sistemalari hamda «issiqlik nuqtalari» va neftgazli hududlarda xaritalangan «chuqurlik issiq massasi harakatlanuvchi kanallar».

Litosfera plitalari kinetik energiyani litosferaning asta-sekin sovushi, uning qalinligi va zichligi oshishi hisobiga oladi. Litosferaning ostki yuzasi energiya manбайдan (O'rta-okean tizmasi o'qi bo'yicha plyumning chiqishi) uzoqlashgan sari pasayib boradi,

plitaning o'zi esa uni mantiyaning pastga yo'nalgan konvektiv oqimi tortib ketishi sababli, qo'shimcha tortish energiyasini oladi. Subduksiya zonasida og'irlashgan, suzuvchanligini yo'qotgan litosfera mantiyaga cho'ka boshlaydi. Bu haqda seysmotomografiya bo'yicha aniqlangan chuqur fokusli zilzilalarning o'choqlari va sovib subduksiyalangan og'ir massalarning holati dalolat beradi. Yadroga yetishi bilan sovib cho'kayotgan massa konvektiv oqimni tutashtiradi. Shu orqali mantiyadagi konvektiv oqimlarning planetar tizimi shakllanadi.

Apveling va daunveling

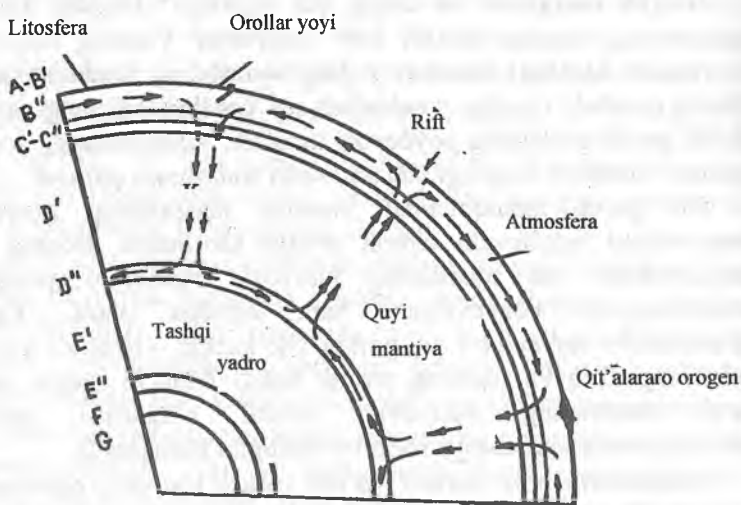
Issiqlik energiyasi va uning yer yuzasiga chiqishi, konvektiv oqimlarning vujudga kelishi kabi jarayonlar Yerning tuzilishi va rivojlanishi haqidagi zamonaviy dunyoqarashning fundamental asosi sifatida qaraladi. Bunday yondoshish esa Yer ilmidagi yangi yo'nalish global geodinamikaning poydevori sanaladi. *Adabiyotlarda konvektiv oqimlar xarakteri haqidagi ikki muammo muhokama qilinadi.*

Bir guruh tadqiqotchilar mantiya massasining gravitatsion beqarorligini belgilovchi termik omilga asoslanadi. Boshqa guruh tadqiqotchilari esa moddaning kimyoviy tarkibi o'zgarishini – termokimyoviy konveksiyani ham hisobga oladi. Yuqoriga ko'tariluvchi «plyumlar» va pastga cho'kuvchi «sleblar» kimyoviy tarkibidagi farq va ularning termik holati ikkinchi nuqtai nazarni, ya'ni moddaning kimyoviy tarkibi o'zgarishi natijasida termokimyoviy konveksiya sodir bo'lishligini tasdiqlaydi.

Umummantiya bir yarusli va ikki yarusli konvektiv oqimlar bilan qamrab olingan mantiyaning tuzilishi ham muhim muammo sanaladi. Bir yarusli umummantiya konveksiyasi tarafdorlari seysmotomografiya yordamida aniqlangan mantiyani yorib o'tuvchi yadro va litosfera orasidagi modda aylanishi va almashuvini tushuntiruvchi apvellingslar va daunvelinglarning planetar tizimiga tayanadi. Geokimyogarlar tomonidan qo'llab-quvvatlanayotgan boshqa nuqtai nazar bo'yicha, mantiyadagi konveksiya ikki yarusli tizim bo'yicha amalga oshadi. Buning isboti bo'lib magma hosil qiluvchi o'choqlar mantiyaning turli gipsometrik sathlarida joylashgan O'rta-okean tizmalari va okean orollaridagi magmalarning kimyoviy tarkibidagi farq sanaladi. Bunda asosiy e'tibor yuqori va o'rta mantiya oralig'idan

o'tuvchi zonaga (660-670 km) qaratilgan bo'lib, ba'zi subduksiyalanuvchi sleblar undan pastga tushmaydi.

Litosfera plitalari tektonikasi geologiyadagi ikkita asosiy muammoni yechishga imkon berdi. U o'ziga xos tuzilishga ega bo'lgan okean va qit'alarining paydo bo'lishini tushuntirib bera oldi. Ularning shakllanishi va rivojlanishi juda murakkab. Yer rivojlanish tarixida okean litosferasi spreading zonalarida hosil bo'ladi va subduksiya, keyingi kolliziya sharoitida qit'a turidagi yer qobig'iga aylanadi. Bu asosiy evolyutsiyani belgilovchi jarayon hisoblanadi. Bu jarayonlar mantiyadagi konvektiv oqimlar bilan bevosita bog'liq.



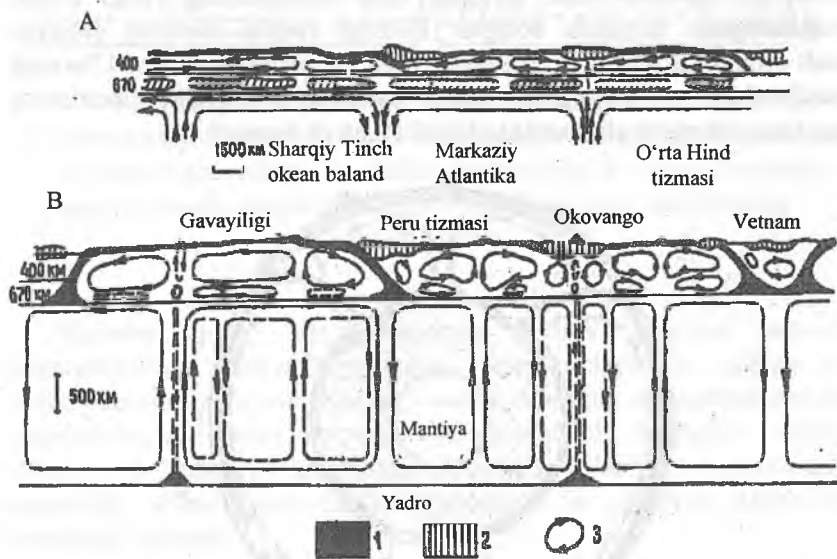
6.4-rasm. Mantiyadagi bir yarusli konveksiyaning modeli
(S.A. Ushakov)

Ehtimol, Yer tarixida bir yarusli umummantiya konveksiyasi ikki yarusli rejimlar bilan bir necha marta almashgan bo'lishi mumkin (6.4 va 6.5-rasmlar).

Kontinental turdagi yer qobig'iga va litosferaga ega bo'lgan hududlar vaqti-vaqti bilan o'zaro birikib superkontinentlar hosil qilgan. Bunga Vegenerning yuqori paleozoy Pangeyasi misol bo'ladi. Huddi shunday superkontinentlar arxeining oxirida, proterozoy

erasida ham yuzaga kelgan. Keyinchalik ular yana parchalanib, yangi okeanlar vujudga kelgan. Mezozoydan boshlab yer qobig‘i shu yo‘l bilan rivojlanmoqda. Bunga misol tariqasida yosh Atlantika, Hind va Shimoliy Muz okeanlarini ko‘rsatish mumkin.

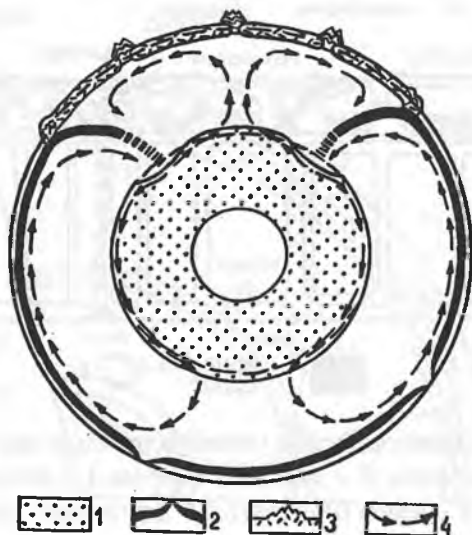
Yer qobig‘i va litosfera massalarining o‘zaro munosabati va superkontinental sikllar sabablarini chuqur mantiyadan izlash joiz. Ular konveksiya holati bilan bog‘liq. Shu orqali mantiya tuzilishi, uning konvektiv oqimlari qayta tuzilishini tushuntirish mumkin.



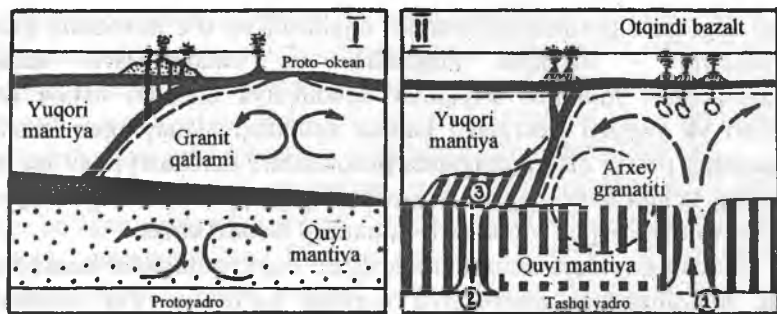
6.5-rasm. Mantiyadagi ikki yarusli konveksiyaning modeli (A–T. Irvin bo‘yicha. B – N.L.Dobretsov va A.G.Kirdyashkinlar bo‘yicha); 1 – okean litosferasi, 2 – kontinental litosfera, 3 – konvektiv oqimlar.

Superkontinent - ostiga qarab harakatlanuvchi daunvelingga va Yerning qarama-qarshi tomonida esa yuqoriga harakatlanuvchi apvelingga ega bo‘lgan bir yarusli konveksiya sharoitida hosil bo‘lgan. Bunda superkontinent barcha tarafdin subduksiya zonalari bilan chegaralangan bo‘ladi. Shu tufayli qit‘a ostida differentsiallangan mantiya moddasining yirik massalari to‘planadi. Natijada pastga harakatlanuvchi issiq massa oqimlari o‘rnida yuqoriga

harakatlanuvchi kuchli oqim – *apveling vujudga kelgan*. U va uning tarmoqlari qit'a litosferasini sindirgan. Bu esa superkontinentning parchalanishidan hosil bo'lgan litosfera bo'laklarining («litosfera plitalarining») turli tomonlarga markazdan qochma dreyfiga sababchi bo'lgan. Bu jarayonda yuqori mantiya va astenosfera orasidan o'tuvchi qat (410–660 km) asosiy ahamiyatga ega. O'zaro uzoqlashayotgan litosfera plitalari oralig'idagi bo'shliqda yuqori yarus konvektiv oqimlari hosil bo'lgan. Ular okeanlarning yangi avlodi shakllanishiga sababchi bo'lgan. Hozirgi vaqtda ularning qatoriga yosh Atlantika, Hind va Shimoliy Muz okeanlari mansub. Ularning shakllanishi yuqori paleozoydagi Pangeya-II superkontinentining parchalanish geologik vaqtidan boshlangan (6.6-rasm).



6.6-rasm. Superkontinentning parchalanishiga olib keluvchi ikki zanjirli umummantiya konveksiyasi modeli. Uning parchalanish mexanizmi konveksiya rejimining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, ostidagi yuqoriga harakatlanuvchi yangi oqimning hosil bo'lishi tufayli yuz bergan (O.G.Soroxtin). 1. Tashqi yadro. 2. Okeanik po'st. 3. Kontinental litosfera. 4. Konvektiv oqimlar.



6.7-rasm. Yer tarixida mantiya konveksiyasi turlari:

(S.Maruyama): I – ikki sathli konveksiya, II – bir sathli konveksiya;
 1 – plyumlar apavelingi, 2 – selblar daunvelingi, 3 – yuqori mantiya pastki qismda subduksiyalangan litosfera sovuq massasining tutilib qolishi.

Shunday qilib, Yer yuzasining termik maydoni tasviri, astenosferaning geotermik zonalligi, turlicha seysmik tezliklar va yadro yuzasi relyefi xususiyatlari bilan ifodalangan subvertikal modda rang-barangligi Yerda yuqoriga harakatlanuvchi konvektiv oqimlarning rivojlanganligi haqida dalolat beradi. Ular Yer moddasining chuqurlik differentsiatsiyasini ta'minlaydi va litosfera plitalarini harakatga keltiradi.

Zichligi pasaygan zonalarning subvertikal tuzilishi qizigan mantiya moddasining yuqoriga ko'tariluvchi konvektiv oqimning holatini ifodalaydigan issiqlik oqimining yo'nalishini ko'rsatadi. Shu bilan bir vaqtda okean litosferasining sovugan massasining cho'kayotganligini aniqlash, pastga yo'nalgan konvektiv oqimlar mavjudligining ishonchli isboti hisoblanadi. Bunday holatlar tahlil qilinayotganda cho'kayotgan, nisbatan sovuq, kompakt massalarining uyumlarini - *sleblar* hosil bo'lganligini nazardan qochirmaslik kerak.

Bunday uyumlar - *sleblar* seysmotomografiya materiallari bo'yicha yaqqol ajratiladi.

Apvelinglar va turli xildagi plyumlar boshqacha tuzilishga ega. Ularning ildizi mantiyadagi turli sathlarda joylashgan bo'lishi, o'zlari esa turli shakllarda, jumladan *apvelinglar* (*superplyumlar*) va ularning tarmoqlari sifatida yuzaga kelishi mumkin. Litosferaga yaqinlashishi

bilan ular qo'ziqorinsimon shaklni egallashi va o'z navbatida kichik plyumlarni – «issiqlik nuqtalari» va «maydonlari» izlarini shakllantirishi mumkin. Plyumlar subduksiya zonalari ustida (orol yoylari va yoyorti havzalari) hamda subduksiyalanayotgan litosfera plitasining pastki qismi uzilganda (astonosfera darchasi) hosil bo'ladi. Shuning uchun ham magmatik jinslarning jismlari o'zining kimyoviy tarkibi va miqyosi bo'yicha turli-tumanligi tasodif emas.

Bundan quyidagi xulosa chiqarilgan: mantiyada jadal kechadigan yirik masshtabdagi konveksiya mavjud bo'lib, u Yer moddalari differentsiatsiyasi va unda tarkibi va fizik xossalari turlicha bo'lgan geosferalar hamda ularni kesib o'tuvchi *apvelinglar (plyumlar)* va *daunvelinglar (sleblar)* shakllanishi uchun javobgardir. Shu tufayli apvelinglar va daunvelinglar mantiyadagi zichligi turlicha bo'lgan konvektiv oqimlar bilan qamrab olingan va D^{II} qatida mantiya moddasi differentsiatsiyasi jarayonlari va qaynoq mantiyaga sovuq okean litosferasining subduksiya jarayoni natijasida cho'kishi tufayli hosil bo'ladi.

Yaponiya olimlarining fikricha konvektiv oqimlar tuzilishi va ularning rivojlanishi yuqori va o'rta mantiya chegarasida (660 km) subduksiyalanuvchi okean qobig'ining og'ir moddalari to'planishi va keyinchalik uning pastga yo'nalgan planetar sleb («avalanj») shaklida ostki mantiyaga yorib kirishi bilan bog'liq. Bunday jarayon esa mantiya va yadro chegarasida yuqoriga yo'nalgan kompensatsiyalovchi apvelingning (superplyum) hosil bo'lishiga olib keladi. Agar apveling superkontinent ostida bo'lgan holatda superkontinentning alohida bo'laklarga parchalanib ketishi va parchalangan bo'laklar oraliq'ida okeanlar hosil bo'lishiga olib kelishligi hozirgi kunda ishlab chiqilgan ishonarli geologik ssenariya hisoblanadi.

7.6. Yer va okean qobiqlarining shakllanishi

Shu kungacha olingan barcha ma'lumotlar bo'yicha qit'alar yer qobig'ining jinslari (cho'kindi qatlamisiz) sayyoramizning chuqur qismlaridan otilib chiqqan yoki yer qobig'iga quyilgandan keyin qayta ishlangan jinslar ekanligi aniqlangan. Okean turidagi yer qobig'i ham shunga o'xshash tuzilgan. Demak, tog' jinslarining kimyoviy tarkiblari yerning ustki qismida va chuqurlikda har xil bo'lishi kerak. Hozirgi vaqtda yuqori bosim va harorat ta'siridagi fazaviy o'tish

jarayonlari hamda ularning chegaralari ma'lum. Yer qobig'ining quyi chegarasi, Moxorovichich (Moxo) yuzasi (chegarasi) xuddi mana shu turdagi chegaralardan biri. Yuqori mantiyada seysmik to'liqlarning tarqalish tezliklari bo'yicha yer qobig'i ostidagi muhit jinslari asosiy – eklogit guruhi yoki ultrasosiy – peridotit guruhi tarkibiga xos.

Moxo chegarasi yaqinidagi yer qobig'i jinslari asosli tarkibga ega bo'lgan gabbrodan iborat. Okean qobig'i ham shu tarkibli. Lekin, ba'zi tadqiqotchilar fikricha okean qobig'i serpentinishgan peridotitlardan tarkib topgan. Moxo chegarasining fazaviy o'tish chegarasi ekanligidan yuqori mantiyaning eklogit tarkibi dalolat beradi. Chunki bazalt va eklogit bir xil kimyoviy tarkibga ega bo'lib, faqatgina mineralogik tarkibi bo'yicha farqlanadi.

Bo'ylama to'liqlar tezliklarining tog' jinslarining zichligiga bog'liqligini tahlil qilish natijasida, qit'alarda Moxo chegarasi asosan kimyoviy tabiatga ega ekanligi (gabbro yoki eklogit – peridotit) aniqlangan. Lekin, qator yosh tektonik faol hududlarda bu chegara fazaviy o'tish chegara bo'lishi mumkin (gabbro – eklogit). Bu masalaga aniqlik kiritish uchun hali yetarlicha ma'lumotlar yo'q.

Mavjud ma'lumotlar bo'yicha, Moxo yuzasi okean qobig'i ostida fazaviy o'tish chegarasi bo'la olmasligi aniqlangan. Boshqa tabiatga ega bo'lgan o'tish chegaralari haqida tasavvurlar ilgari surilmoqda.

Yuqorida ko'rsatilganidek, Yer qobig'i Yerning rivojlanishi jarayonida mantiyadan ajralib chiqqan. Ammo, yer qobig'i moddasining ajralib chiqishi va yer qobig'i rivojlanishi jarayonlari hamda bu jarayonlarning mexanizmi va sabablari alohida munozaralar doirasiga taalluqli. Yer qobig'i turlarining hosil bo'lishi va ularning rivojlanishi ham xuddi shunday munozarali masala. So'nggi vaqtda olingan ma'lumotlar bo'yicha, yer qobig'ining umumiy erish boschqichidan keyin mantiya moddasining zichlik bo'yicha differentsiatsiyasi orqali hosil bo'lgani haqidagi faraz asossiz ekanligi aniqlangan. Chunki, bu holda butun Yer bo'yicha uning qobig'i bir xil tarkib va qalinlikka ega bo'lar edi. Bundan tashqari, mantiyaning o'rtacha tarkibi xondritlarga yaqinligidan bunday yer qobig'i qalinligi juda katta (taxminan 200 km) ko'rsatkichni tashkil qilardi. Va, nihoyat bu faraz Yerning ma'lum issiqlik rejimi va uning tarkibiga mos kelmasligi tadqiqotchilar tomonidan isbot qilib berildi.

Hozirgi kunda yer qobig'i hosil bo'lishi farazlari ichida eng ishonchligi zonalar bo'yicha erish jarayoni haqidagi faraz hisoblanadi.

Katta miqdordagi ma'lumotlarni taqqoslash va tahlil qilish, xondritlarning moddasi o'z massasining 10% ni yo'qotib, yer qobig'i moddasini tashkil etishi va peridotitli qatchani hosil qilishi aniqlangan.

Issiqlik manbalari miqdori ko'p bo'lgan hududlarning zonali erish sharoitiga tushishi natijasida bu yerlarda bo'lajak qit'alarining yadrolari tarkib topgan. Bunda, issiqlik manbalari asosan magmalar bilan Yer qobig'iga olib chiqilgan va ular nisbatan sovigan. Zonali erish esa qo'shni hududga ko'chgan. Natijada, asta-sekin konsentrik shaklda qit'alarining o'sishi ta'minlangan. Bu jarayon barcha tarafga bir hilda tarqalmagan. Kerakli sharoitlar o'sib borayotgan qit'alardan ancha tashqarida ham hosil bo'lgan. Shuning uchun qit'alarining ichida hali qayta ishlanmagan hududlar ham mavjud bo'lgan (masalan, Yangi Zelandiya va Avstraliya). Bu qolib ketgan hududlar keyinchalik qayta ishlangan, ular eski hududlarni ham qamrab olgan, natijada turlicha murakkab tuzilishga ega bo'lgan qit'alarining strukturalarini tashkil etgan. Mana shu faol zonali erish davri Yer qobig'i rivojlanishining geosinklinal bosqichiga to'g'ri keladi. Ma'lumki, bunda qobiqning o'sishi jarayoni pastdan mantiya hisobidan kechadi. Geosinklinal jarayonning tugashi, birlamchi, chuqurlikdagi jarayonlarning tugashi bilan aniqlanadi. Hozirgi vaqtda qit'alarga nisbatan okeanlar ostida haroratning yuqoriligi buning dalilidir.

Yangi qit'a qobig'ining hosil bo'lishi jarayonlarining birinchi bosqichlarini hozirgi o'rta-okean tog' tizmalarida, ya'ni spreading zonalarida kuzatish mumkin.

Huddi shunday, qit'a qobig'ining hosil bo'lishi jarayonlari bilan birga, shu qobiqning okean qobig'iga aylanishi jarayonlari muammosi ham mavjud. Bunday teskari jarayon, bir qator tadqiqotchilar fikricha qadimgi qit'alar o'rnida okeanlarning hosil bo'lishiga olib kelgan.

Keyingi geodinamikaga oid bobda, Yerning tashqi yadrosi va D qatlamlarning rivojlanish jarayonlari Yer qobig'ining qit'alashish yoki okeanlashishida muhim rol o'ynash, bu jarayonlarning mexanizmida ifodalangan.

Tayanch iboralar

Reologiya, qayishqoqlik, ideal reologik jismlar, puaz, stoks, adiabata, gradient, erkin konveksiya, apveling, daunveling, sleb.

Nazorat savollari

1. *Reologiya nimani o'rganadi?*
2. *Qayishqoqlik va qayishqoq elastiklik deganda nimalar tushuniladi?*
3. *Solidus harorat nimani bildiradi?*
4. *Yer yadrosining reologik xususiyatlari qanday?*
5. *Yer mantiyasining reologik xususiyatlari qanday?*
6. *Plitalar tektonikasi elementlarini ta'riflab bering?*
7. *Plitalar tektonikasi mexanizmlari qanday?*
8. *Okean va kontinent Yer qobiqlari qanday shakllangan?*
9. *Apveling va daunvelinglar nima?*

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Стейси Ф. Физика Земли. Москва, Мир, 1972.
2. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. Москва, Наука, 1983.
3. Ботт М. Внутреннее строение Земли. Москва, Мир, 1974.
4. Егер Дж. К. Упругость, прочность и текучесть. Москва, Машгиз, 1961.
5. Магнитский В.А. Внутреннее строение и физика Земли. Москва, Недра, 1965.
6. Марков М.Я. Планеты Солнечной системы. Москва, Наука, 1981.
7. Общая геофизика. [Ред. В.А.Магницкий. Част 1 - Физика твердой Земли. Москва, МГУ,] 1995. Долимов Т.Н., Троицкий В.И. Эволюцион геология. Ташкент, «Университет», «ЯнгийЎл-полиграф сервис», 2005.
8. Викулин А.В. Введение в физику Земли. Учебное пособие для г/ф специальностей вузов. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004.
9. Ладынин А.В. Физика Земли для геологов. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 2011.
10. Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы. Новосибирск, ИГиГ СОАН СССР, 1990.
11. Портсевский А.К. Физика Земли. Москва, МГУ, 2005.

12. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. Москва, МГУ, 2002.

13. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. Москва, КДУ, 2005.

14. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницин В.Е. Общая и экологическая геофизика. Москва, Физматлит, 2005.

15. Гаврилов В.П. Физика Земли. Учебник для вузов. Москва, ООО «Недра – Бизнес центр», 2008.

MUNDARIJA

I BOB. OLAM, GALAKTIKA, QUYOSH SISTEMASI, SAYYORALAR

1.1. Olamning paydo bo'lishi va evolyutsiyasi haqidagi asosiy farazlar	3
Katta portlashning boshlang'ich nuqtasi.....	5
Galaktikalarning vujudga kelishi.....	6
1.2. Quyosh sistemasi va Yerning vujudga kelishi	7
Quyosh haqida ma'lumotlar.....	7
Quyosh sistemasining paydo bo'lishi.....	10
Yerning shakllanishi.....	11
1.3. Oyning paydo bo'lishi	15
1.4. Yer geosferalari	18
Yer yadrosi.....	18
Yer mantiyasi.....	19
Litosfera va astenosfera	20
Yer qobig'i.....	23
Gidrosfera.....	24
Atmosfera.....	25

II BOB. YER EVOLYUTSIYASI HAQIDAGI TASAVVURLAR VA YERNING YANGI FIZIK XUSUSIYATLARINING KASHF QILINISHI

2.1. Antik davr va Rim inqirozi.....	28
2.2. Arab madaniyatining yuksalishi va unda O'rta Osiyo olimlarining o'rni.....	29
2.3. Uyg'onish davri yoki tayyorgarlik bosqichi (XVII a. –	

XVIII a.ning birinchi yarmi).....	34
2.4. Ilmiy bosqich yoki geologiyani mustaqil fan sifatida shakllanishi (XVIII a. ikkinchi yarmi - XIX a. birinchi yarmi).....	35
2.5. Bo‘lajak geotektonika fanining shakllanishi yoki klassik bosqich (XIX a. ning ikkinchi yarmi).....	36
2.6. Geologiyadagi faraz va konsepsiyalarning inqirozi – mobilizm sharpasi (XX asrning birinchi yarmi).....	38
2.7. Geotektonika tarixida birinchi nazariyaning paydo bo‘lishi – inqilobiy bosqich (XX a.ning ikkinchi yarmi).....	40
2.8. Global geodinamikaning vujudga kelishi – zamonaviy bosqich (XXI asrning birinchi o‘n yilligi).....	41

III BOB. SEYSMOLOGIK MA'LUMOTLAR

BO'YICHA YERNING ICHKI TUZILISHI VA HOLATI

3.1. Kuchlanish modullari va ularning o‘zaro bog‘liqligi...	43
3.2. Seysmik to‘lqinlar tarqalishining o‘ziga xos xususiyatlari.....	46
3.3. Yer radiusi bo‘ylab ko‘ndalang va bo‘ylama to‘lqinlarning tarqalishi.....	49
3.4. Yerning ichki va tashqi yadrosida hajm to‘lqinlarining tarqalishi.....	53
3.5. Seysmologik ma'lumotlar bo'yicha Yer geosferalarini ajratish.....	54
3.6. Zilzilalar va ularning fizik xususiyatlari.....	58
3.7. Yer ichki tuzilishining hozirgi zamon modellari. PREM.	69

IV BOB. YERNING SHAKLI VA GRAVITATSIYA

MAYDONI

4.1. Yerning haqiqiy shakli – geoid haqida tasavvur.....	74
Yerning haqiqiy shakli – geoid haqida tasavvur.....	76
Geoidni geofizik asoslash. Klero steroidi.....	78
Yer shakli va unda massalarning taqsimlanishi.....	80
Pretsessiya, nutatsiya, dinamik siqilish haqida tushunchalar.	82
Yerning xususiy tebranishlari.....	85
Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari bo'yicha geoid.....	86
4.2. Yerning elastikligi va zichligi.....	88
Quyilishlar (prilivlar) va quyulish hosil qiluvchi potensial...	102

V BOB. ERNING MAGNIT MAYDONI VA

PALEOMAGNETIZM

5.1. Yerning magnit maydoni.....	106
Yer magnit maydonining tabiati.....	106
Magnitosferaning qolgan geosferalar bilan aloqasi.....	106
Magnit kattaliklari va ularning birliklari.....	109
Yerning magnit maydoni elementlari.....	110
Geomagnit maydon variatsiyalari.....	113
Geomagnit maydonining hosil bo'lishi.....	115
Magnit maydoni inversiyasi.....	117
5.2. Paleomagnetizm.....	119
5.3. Yerning elektr o'tkazuvchanligi va umumiy elektr modeli.....	121
Yerning elektr o'tkazuvchanligi.....	121
Yerning umumiy elektr modeli.....	122

V BOB. YERNING ISSIQLIK MAYDONI

6.1. Issiqlik oqimining manbalari.....	125
Radiogen issiqlik.....	127
Yerning merosiy issiqligi.....	127
Chuqurlik gravitatsion differensiyallanishining issiqligi.....	128
Yerga Oy va Quyoshning gravitatsion ta'siridagi issiqlik manbai.....	129
6.2. Issiqlik oqimi hodisasi va uning o'lchov birliklari....	130
Issiqlik oqimi hodisasi.....	130
Issiqlik o'lchov birligi nima?.....	130
6.3. Issiqlik oqimining ko'rinishlari: Konvektiv va konduktiv oqim tushunchalari.....	131
6.4. Okean tubidagi gidrotermlar – «qora kashandalar»..	132
Okean tubidagi gidrotermlarni prognoz qilish metodikasi.....	135
6.5. Plyum-tektonika yoki issiqlik nuqtalari.....	137
6. 6. Chuqurlik issiqmassasi harakatlanuvchi kanallar....	141

VII BOB. YER REOLOGİYASI, YERNING ASOSIY GEOSFERALARI VA ULARNING CHEGARALARI TABIATI

7.1. Umumiy tushunchalar.....	146
7.2. Yer geosferalarining reologiyasi.....	148
Yer qobig'i tog' jinslarining reologiyasi.....	148
Mantiya moddalarining reologiyasi.....	149
Yer yadrosi moddalarining oquvchanligi.....	149
7.3. Reologiya va adiabatik sharoitlar.....	150
Haroratning adiabatik gradienti.....	151

7.4. Konduktiv va konvektiv issiqlik oqimlari.....	
Yerkin konveksiya.....	
7.5. Mantiyadagi konveksiya va litosfera plitalarining shakllanishi.....	
Apveling va daunveling.....	
7.6. Yer va okean qobiqlarining shakllanishi.....	
Foydalanilgan adabiyotlar.....	

YER FIZIKASI

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2014

Muharrir:	F.Ismoilova
Tex. muharrir:	M.Holmuhamedov
Musavvir:	D.Azizov
Musahhiha:	N.Hasanova
Kompyuterda sahifalovchi:	Sh.Mirqosimova

Nashr.lits. AL№149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi 20.10.2014.

Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Timez Uz» garniturası.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 10,5. Nashriyot bosma tabog'i 11,0.

Tiraji 300. Buyurtma № 178.

FAN VA 
TEKNOLOGIYALAR

ISBN 978-9943-4500-5-9



9 789943 450059