



Axmadjon TO'XTASINOV,
O'zbekiston Milliy universiteti kafedra mudiri, PhD
E-mail: axmad326@mail.ru
Davron XUSANBAYEV,
O'zbekiston Milliy universiteti kafedra dotsenti, PhD
E-mail: shark_@mail.ru

Geologiya fanlari universitet, PhD A.Abdurazimxodjayev taqrizi asosida

DETERMINATION OF THE STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST BASED ON TELESEISMIC WAVES

Annotation

In this study, converted (teleseismic) waves generated by long-distance (teleseismic) earthquakes were analyzed based on data from a seismic station installed at the Aksok-ata field experiment base. The crustal structure and the depth of the boundaries with velocity contrast were determined based on the conversion of P-waves to S-waves at the boundaries within the crust (Ps phase). As a result of the analysis, several velocity-variable boundaries were identified, including the Moho level.

Keywords: Seismogram, teleseismic event, Ps-conversion, Moho, velocity contrast, correlation.

TELESEYMIK TO'LIQLAR ASOSIDA YER QOBIG'I STRUKTURASINI ANIQLASH

Annotatsiya

Ushbu tadqiqotda Oqsoq-ota dala amaliyoti bazasida o'rnatilgan seysmik stantsiya ma'lumotlari asosida uzoq masofali (teleseismic) zilzilalardan hosil bo'lgan almashinuvchi (konvertatsiyalangan) to'liqlar tahlil qilindi. P-to'liqlarning qobiq ichidagi chegaralarda S-to'liqga konversiyasi (Ps fazasi) asosida yer qobig'i strukturasi va tezlik kontrasti mavjud bo'lgan chegaralar chuqurligi aniqlangan. Tahlil natijasida bir nechta tezlik o'zgaruvchi chegaralar, jumladan Moho sathi aniqlangan.

Kalit so'zlar: Seysmogramma, teleseysmik hodisa, Ps-konversiya, Moho, tezlik kontrasti, korrelyatsiya.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСНОВЕ ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Аннотация

В данном исследовании на основе данных сейсмической станции, установленной на полевой экспериментальной базе Аксак-ата, были проанализированы обменные (телесейсмические) волны, генерируемые землетрясениями на больших расстояниях. Структура земной коры и глубины границ с контрастом скоростей были определены на основе преобразования Р-волн в S-волны на границах внутри коры (фаза Ps). В результате анализа были выявлены несколько границ с различной скоростью, включая границу Мохо.

Ключевые слова: Сейсмограмма, телесейсмическое событие, преобразование Ps, Мохо, контраст скоростей, корреляция.

Kirish. Zamonaviy seysmologik tadqiqotlarda yer qa'ringing chuqur tuzilishini o'rganishda MOVZ usuli samarali geofizik metodlardan biri hisoblanadi. Ushbu metodika dala ishlari davomida hudud bo'ylab vaqtinchalik joylashtirilgan seysmik stansiyalar tarmog'i orqali seysmik to'liqlarni qabul qilish va qayd etishga asoslanadi. Tadqiqot jarayonida seysmik signallar uch yoki to'rt komponentli mintaqaviy raqamli seysmik stansiyalar yordamida ro'yxatga olinadi. Bunday ko'p komponentli qayd etish tizimi bo'ylama (P), ko'ndalang (S) hamda yuza to'liqlarining dinamik va kinematik xususiyatlarini aniqroq tahlil qilish imkonini beradi.

Seysmik kuzatuv nuqtalari tadqiqot maqsadiga muvofiq ravishda profililar bo'ylab joylashtiriladi yoki ma'lum bir hudud bo'yicha bir tekis tarqatiladi. Stansiyalar orasidagi masofa odatda 1 km dan 20 km gacha bo'lib, bu yer qa'ringing turli chuqurlik intervallarini ishonchli qamrab olish imkonini yaratadi. Har bir seysmik stantsiya ma'lum nuqtada taxminan 20-30 kun davomida uzluksiz kuzatuv olib boradi. Ushbu davomiy monitoring mahalliy va mintaqaviy tabiiy zilzilalar hamda uzoq manbali seysmik hodisalarni qayd etishga imkon beradi. Natijada olingan ma'lumotlar asosida muhitning tezlik tuzilishi, qatlamlar chegaralari va chuqur geodinamik jarayonlar haqida ishonchli xulosalar chiqarish mumkin bo'ladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu tadqiqot ishida har bir seysmik stantsiyaga keladigan uzoq masofali seysmik (zilzila) to'liqlarni yer qobig'ining turli qatlamlarida sinib o'tish orqali xosil bo'ladigan almashinuvchi to'liqlarni tahlil qilinadi. Bunda O'zbekiston Milliy universiteti Oqsoq-ota dala amaliyoti bazasida o'rnatilgan seysmik stantsiya ma'lumotlaridan foydalanilgan.



1-rasm 2024 yilning dastlabki choragida sodir bo'lgan zilzilalar xaritasi

Zilziladan almashinuvchi to'liqlarni o'rganishda seysmik yozuvning sifati, imkon qadar zilzilaning yer yuzasiga proektsiyasiga (manba) yaqin bo'lgan seysmik stantsiya tanlanishi lozim. Seysmik yozuvlar turli xil formatda bo'lishi mumkin, SAC yoki MiniSEED, muhimi 3 komponentli X,Y,Z bo'lishi lozim. Almashinuvchi to'liqlarlarda Z, yani vertical tashkil etuvchi, P to'liqinni kirish vaqtini aniqlash uchun muhim xisoblanadi [2].

Bir nuqtaga kelgan bir yo'nalishdagi bir qancha zilzilalar yozuvlarini qo'shib qayta ishlash, masalan, Qirg'iziston va Xitoy chegarasidagi (Kyrgyzston-Xinjiannng Border Region) zilzila o'chogidan kelgan to'liqlar, orqali seysmik stantsiya joylashgan nuqtaning ostidagi qatlamlar xaqida ma'lumot olish mumkin (jadval). Seysmik stantsiyaga kelayotgan to'liqlar, stantsiya o'zgarimas nuqtada bo'lganligi sababli, xar safar bir hil chegaralardan o'tadi, bu esa seysmik yozuvlar korrelatsiya qilinganda kirish vaqtdan boshlab bir xil vaqtlardagi to'liqin fazalari o'zgarishlari ustma ust tushadi degani (1-rasm).

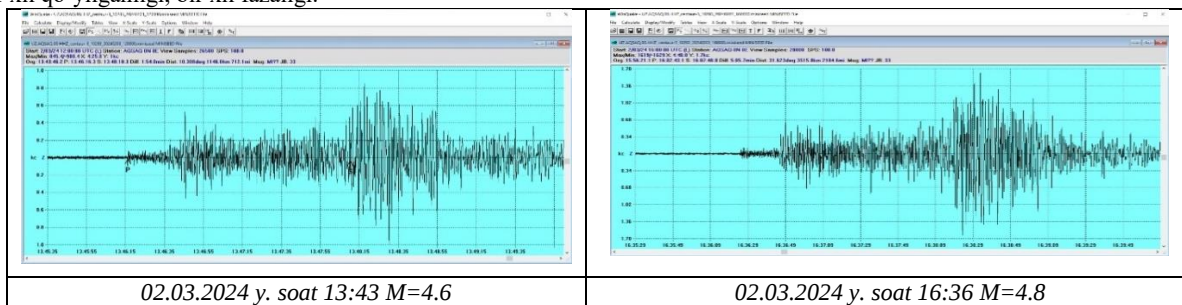
O'choqda (Kyrgyzston-Xinjiannng Border Region) sodir bo'lgan $M > 4.5$ tanlab olingan zilzilalar

jadval

T/r	sana	t_p	t_s	H	M
1	11.02.2024	4:58:53,5	5:00:46,1	10	4.9
2	15.02.2024	2:02:43,1	2:07:48,8	13	5.1
3	15.02.2024	3:54:19,8	3:54:38,6	10	5.0
4	23.02.2024	23:00:34,4	23:00:54,8	10	5.0
5	25.02.2024	4:02:43,1	4:07:48,8	12	4.9
6	06.03.2024	0:02:43,1	0:07:48,8	10	5.1
7	22.01.2024	18:10:42,7	18:10:58,5	13	6.5
8	22.01.2024	23:21:06,6	23:21:16,7	10	5.5
9	24.01.2024	22:23:29,2	22:23:50,8	10	5.1
10	25.01.2024	20:03:08,4	20:07:48,3	10	4
11	26.01.2024	10:02:43,1	10:07:48,8	12	4.9
12	26.01.2024	11:42:24,8	11:42:48,4	10	4.6
13	29.01.2024	22:29:21,0	22:29:34,1	10	5.7
14	03.02.2024	13:46:16,2	13:48:10,3	10	4.8
15	03.02.2024	16:36:24,7	16:36:25,0	10	4.6
16	04.02.2024	0:02:43,1	0:07:48,8	10	4.9

Qatlam chegaralarida to'liqin fazasi "sakraydi", yoki keskin o'zgaradi, biz manashu fazadagi o'zgarish orqali yer po'stining chegaralari xaqida ma'lumot olishimiz mumkin. Ma'lum bir muhitda tarqalayotgan to'liqin muhitning akustik qattiqligi o'zgarishi bilan, refleksiya orqali to'liqin fazasi o'zgaradi. Biz qo'llamoqchi bo'lgan usul avvalgi MOVZ usullaridan ozgina farq qiladi, yani bir qo'zg'atuvchi bir nechta qabul qiluvchi emas, aksincha bir manbadan bir nechta qozg'atishlar va bitta qabul qiluvchi orqali amalga oshiriladi. Uzoqdan kelayotgan zilzila (teleseismic event) to'liqini qabul qiluvchi stantsiyaga deyarli tik (to'liqin nurining chiqish burchagi) keladi. P to'liqin yer osti chegaralariga kelganda fazasi o'zgaradi va chegarada Ps to'liqinni (konversiya) xosil qiladi. Manashu jarayondagi Ps to'liqinni kechikishi va faza o'zgarishi yer ostidagi chuqur chegaralarni o'rganishga asos qilib olingan [2,4].

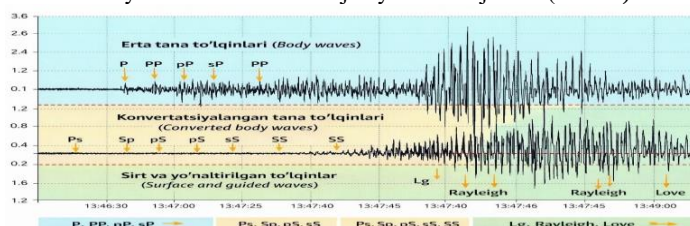
Seysmogrammalar tahlili shuni ko'rsatadiki dastlab kuchli P to'liqin fazasi kuzatiladi, so'ngra o'rtacha 2-6 sekund farqi bilan Ps to'liqin fazalari yuqori amplituda bilan aniq ko'rinadi, barcha zilzila seysmogrammalari deyarli bir ko'rinishda (2-rasm). To'liqlar fazalari o'zgarishidagi farq aniqlanib $h = \Delta t / (1/V_s - 1/V_p)$ chuqurlikni topish uchun soddaroq formuladan foydalaniladi. Ushu usulda uzoq (teleseismic event) zilzila tanlanadi, Z, E, N, komponentlar olinadi, filtirlash qilinadi, R/Z faza o'zgarishi topiladi, seysmogrammadan Ps piklari tahlil qilinadi va bu orqali chegaralar topiladi. Bu ishda qilinadigan xatolarni kamaytirish va ishonchlilikni oshirish maqsadida 15-20 ga yaqin teleseismic zilzilalarni o'rganish va korelatsiya orqali fazalar o'zgarish vaqtlarni aniqlab olishga xarakat qilindi. Muxim joylaridan biri barcha seysmogrammalar bir xil komponentligi (masalan Z), filtri bir xil qo'yilganligi, bir xil fazaligi.



2-Rasm Aqsaq seysmik stansiyasida yozib olingan teleseysmik seysmogrammalar

Tahlil va natijalar. Uzoq masofalarda (750 km va undan uzoq) qayd etilgan zilzilalar seysmogrammalarni qayta ishlash va ularning tahlili keltiriladi.

Tahlil jarayonida seysmogrammalarda to'liqin amplitudasining uch marotaba sezilarli o'zgarishi aniqlandi. Ushbu hodisa oddiy P va S to'liqlari bilan cheklanmaydi va murakkab fizik jarayonlar natijasidir (3-rasm).



3-rasm. Uzoq masofadan kelgan (teleseysmik) seysmogramma

Seysmogrammalarga etibor bersak amplitudalar farqlari o'zgarishi uch bosqichda ortganini ko'rishimiz mumkin.

1. Birinchi past amplituda paketi - birlamchi boylama to'lqinlari. Bu bosqichda P, PP, pP, sP kabi to'lqinlar kuzatiladi. Ular kichik amplitudali, yuqori chastotali va nisbatan silliq signalga ega [3].

2. Ikkinchi amplituda paketi - konvertatsiyalangan to'lqinlar:

Bu paket Ps, Sp, pS, sS, SS kabi fazalarni o'z ichiga oladi. Qobiq ichidagi tezlik kontrasti va chegaralarda konvertatsiya sababli amplituda kuchayadi va signal cho'ziladi [3].

3. Uchinchi amplituda paketi - Sirt va yo'naltirilgan to'lqinlar:

Eng katta amplitudali va uzoq davom etuvchi signal aynan shu bosqichda kuzatiladi. Bu Love (LQ), Rayleigh (LR) hamda kontinental qobiq bo'ylab tarqaluvchi Lg to'lqinlari bilan bog'liq [3].

Seysmogrammalarda amplitudaning ketma-ket uch marta kuchayishi qobiq tuzilmasi, to'lqinlarning konvertatsiyasi va qobiq bo'ylab energiyaning yo'naltirilgan tarqalishi bilan izohlanadi.

Xazigava (Hasegawa) formulasi seysmologiyada **manba (zilzila yoki portlash) chuqurligini H** aniqlash uchun ishlatiladi. Asosan **P** va **Ps** to'lqinlar kelish vaqtlari farqi asosida hisoblanadi.

$$H = \frac{\Delta t_{PS-P} \bar{V}}{(\bar{K} - 1) \sqrt{1 + \frac{1}{2\bar{K}} \left(\frac{\bar{V}}{\bar{V}^*} \right)^2}}$$

H- P va Ps to'lqinlarning xosil bo'lish nuqtasi

Δt_{PS-P} - Ps va P to'lqinlarni kelish vaqtlaridagi farq

$\Delta t_{PS-P} = t_{PS} - t_P$

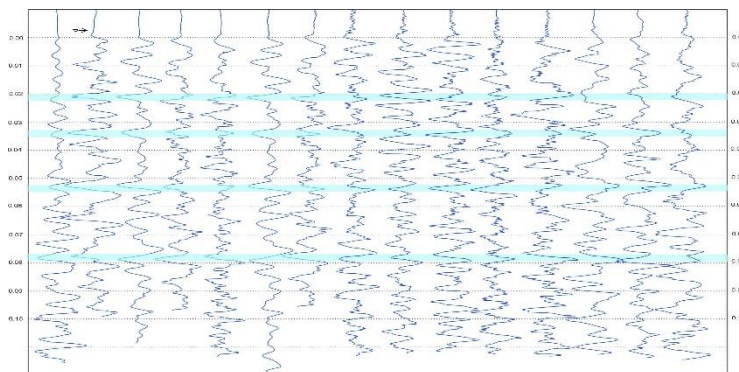
V - O'rtacha **P-to'lqin tezligi**, odatda seysmik kesim yoki hudud bo'yicha olinadi.

$K = V_S / V_P$

K - Qattiq jinslar: $K \approx 1.7-1.8$, Yumshoq gruntlar: $K \approx 2.0-2.5$

V* - Manbadan qabul qiluvchiga tarqalishning tuyuluvchi tezligi.

Yuqoridagi tezliklar, tezliklar nisbatlari bo'yicha ma'lumotlar "Farg'ona-Chotqol bloki yer qobig'ining o'rtacha tezlik kesimi" olindi.



4-rasm. Yozib olingan 16 ta seysmogrammalar korrelyatsiyasi

Bir manbadan bir stansiyada qayd etilgan bir nechta seysmik hodisalarning qisqa oynalari o'zaro korrelyatsiya qilinib, P-to'lqindan keyingi barqaror vaqt kechikishlariga ega fazalar aniqlandi. Ushbu kechikishlar qobiq tuzilmasining xar xilligini va Moho chuqurligini aniqlash imkonini berdi.

Xulosa va takliflar Kuzatuvlar natijasida seysmik manbadan xosil bo'lgan bir qancha yer silkinishlarini, yani bir o'choqda xosil bo'lgan 16 ta magnitudasi $M > 4.5$ bo'lgan zilzilalarning seysmogrammalari taxlil qilindi. Unga ko'ra seysmogrammalar korrelyatsiyasida 4 ta seysmik tezliklar o'zgaruvchi almashinish chegaralari aniqlandi. Seysmik tezliklar o'zgargan chegaralar, to'lqinlar fazalarining o'zgarishi korrelyatsiyasi bilan aniqlandi (4-rasm).

Xazigava formulasi bo'yicha seysmogrammalardan aniqlangan tezlik o'zgaruvchi chegaralarning chuqurliklari xisoblandi. Chegaralarni qurishda Farg'ona-Chotqol bloki profili tezlik modeli ma'lumotlaridan foydalanildi. Yer qobig'ining quyi qismidan boshlab birinchi chegara 51,2 km chuqurlikda ekanligi aniqlanib taxminan bu chegara yer posti va mantiya o'rtasidagi chegara, yani Moxo chegrasi deb belgilandi. Ikkinchi chegara 34,8 km ekanligi aniqlanib taxminan granit va bazalt qatlam chegarasi deb belgilandi. Uchinchi chegara 21,7 km to'rtinchi chegara 13,8 km ekanligi aniqlandi. Bunda to'rtinchi chegara granit qatlamining ustki chegarasi. 21,7 km chuqurlikda hosil bo'lgan almashinish chegarasi esa tezliklarning pasayishi bilan bog'liq bo'lib ("volnovod"), Chotqol-Qurama hududida uning mavjudligini (E.M.Butovskaya va b. 1982) kuzatishgan.

O'zbekiston Respublikasi xududida hozirgi kunda 45 ta seysmik stantsiya va 200 dan ortiq akselerometrlar (Etna-2) mavjud. Barcha stantsiyalarda manashu usulni qo'llagan holda Respublikaning yer qobig'i tuzilishini o'rganish mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Е.М.Бутовская, Х.А.Атабаев, В.П.Суров и др. Площадные сейсмологические наблюдения. В кн. Литосфера Памира и Тянь-Шаня. Ташкент, Изд-во «Фан», УзССР, 1982., стр.144-157.
2. Shearer P. Introduction to Seismology. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 412 p.
3. Aki K., Richards P. Quantitative Seismology. – 2nd ed. – Sausalito: University Science Books, 2002. – 700 p.
4. Lay T., Wallace T. Modern Global Seismology. – San Diego: Academic Press, 1995. – 521 p.
5. Zhu L., Kanamori H. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions. – Journal of Geophysical Research, 2000.
6. Kind R., Yuan X., Kumar P. Seismic receiver functions and the lithosphere–asthenosphere boundary. – Tectonophysics, 2012.