

А.Д. Қайырбек¹, Н.К. Утелиева^{1,2}

¹Energo University, Алматы, Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.kaiyrbek@aes.kz

ИОНОСФЕРАЛЫҚ БҰЗЫЛУЛАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІККЕ ЖӘНЕ ТЕКТНИКАЛЫҚ ПЛИТАЛАРДЫҢ ЫҒЫСУЫНА ӘСЕРІ: БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл ғылыми мақала ионосфералық бұзылулардың сейсмикалық белсенділік пен тектоникалық ығысуларға әсерін зерттеуге, сондай-ақ оларды бақылау және талдау әдістерін әзірлеуге арналған. Кіріспе мәселенің өзектілігіне және ионосфера мен сейсмикалық белсенділік арасындағы байланысты зерттеу қажеттілігіне шолу жасайды. Бақылау әдістері заманауи технологиялар мен жабдықтарды қолдану арқылы сипатталады. Деректер мен нәтижелер бөлімінде ионосфералық бұзылуларды талдауды және олардың сейсмикалық белсенділікпен байланысын қоса алғанда, зерттеу нәтижелері берілген. Талқылау нәтижелерді талдауды және оларды қолданыстағы теориялар аясында талқылауды қамтиды. Қорытынды зерттеу осы саладағы болашақ тәжірибелер үшін мүмкін бағыттарды ұсынады. Зерттеу атмосфералық және сейсмикалық әрекеттер арасындағы өзара әрекеттесуді түсінуге маңызды үлес қосады және сейсмикалық құбылыстарды бақылау мен талдаудың тиімді әдістерін әзірлеуге негіз береді.

Түйінді сөздер: ионосфералық бұзылулар, сейсмикалық белсенділік, тектоникалық плиталар, сейсмология, бақылау және талдау, атмосфералық-геофизикалық құбылыстар.

Кіріспе.

Ионосфера - шамамен 50 км биіктіктен басталып, 1000 км-ден астам биіктікке жететін жер атмосферасының жоғарғы қабаты. Бұл қабат иондалған бөлшектерден, негізінен атмосферадағы атомдар мен молекулаларға күн сәулесінің әсерінен пайда болған иондар мен бос электрондардан тұрады. Ионосфера радио толқындарының берілуінде маңызды рөл атқарады және олардың атмосферада таралуына әсер етеді. Ол сондай-ақ күн сәулесі немесе геомагниттік дауылдар сияқты әртүрлі өзгерістер мен бұзылуларға ұшырауы мүмкін. Әлемдегі ең ірі жер сілкіністерінің үштен екісі Тынық мұхиты белдеуінде орын алады, яғни бұл сейсмикалық аймақтардың ішіндегі ең белсендісі. Сондай-ақ бірнеше плиталардың шекаралары бойымен созылады, ал мұнда тұратын адамдар үшін жер сілкінісі өте қалыпты құбылыстарға жатады десек те болады. Апатты жер сілкіністері осы белдеуде орналасқан Перу, Калифорния, Никарагуа, Филиппин және т.б. аудандарда орын алуда. Екінші үлкен сейсмикалық белдеу Малай архипелагынан, Гималайдан және одан әрі Жерорта теңізінен плиталардың шекаралары бойымен байқалады. Гималай жеріндегі ең биік таулар Үндістан Азиямен байланысқан кезде континенттердің жылжуынан пайда болды. Ионосфераның сейсмикалық белсенділікпен және тектоникалық ығысулармен өзара әрекеттесу саласындағы зерттеулер осы байланысты түсінуге және сейсмикалық құбылыстарды дәлірек болжау үшін бақылау әдістерін дамытуға бағытталған ғылыми зерттеулердің тақырыбы болып табылады [1,4].

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері:

Зерттеудің негізгі мақсаты – ионосфералық бұзылулардың сейсмикалық белсенділік пен тектоникалық ығысуларға әсерін терең түсінуді дамыту және осы процестерді бақылау мен талдаудың тиімді әдістерін әзірлеу болып табылады.

1. Әдебиетке шолу: ионосфераның сейсмикалық белсенділікке әсері туралы алдыңғы зерттеулердің негізгі теориялары мен нәтижелерін анықтай отырып, әдебиеттерге шолу жасау.

2. Бақылау әдістерін әзірлеу: заманауи жабдықтар мен технологияларды пайдалана отырып, ионосфералық бұзылулар мен сейсмикалық белсенділікті бақылаудың заманауи әдістерін әзірлеу.

3. Деректерді жинау және талдау: таңдалған географиялық аймақта ионосфералық бұзылулар мен сейсмикалық белсенділік туралы бақылаулар жүргізіп, мәліметтер жинау.

4. Болжамдық модельдерді әзірлеу: ионосфера мен сейсмикалық белсенділік арасындағы байланысқа негізделген болжамды модельдерді әзірлеу әдістерін ұсыну.

5. Қорытындылар мен ұсыныстарды тұжырымдау: зерттеу нәтижелері бойынша негізгі тұжырымдар мен ұсыныстарды талқылау, олардың ғылым мен практика үшін маңыздылығын талдау.

Материалдар мен тәсілдер.

Жер сілкінісінің біздің планетамызға таралуы тектоникалық плиталардың шекарасымен тығыз байланысты болып келеді. Ионосфераның қасиеттері тұрақты емес өзгерістерге ұшырайтындығына байланысты сейсмогендік ионосфералық әсерлерді іздеу ұзақ уақыт бойы жеткілікті назар аудармады және зерттеу бағыты болмады. Соңғы жылдардағы зерттеулер ионосфераның Жер бетінде болып жатқан көптеген процестерге сезімтал екенін көрсетті. Күн радиациясы және жанартау белсенділігі, цунами және жер сілкінісі, найзағай мен циклондар, спутниктер мен зымырандарды ұшыру, ұшу аппараттарының дыбыстық тосқауылдан өтуі және күшті жарылыстар ионосферада резонанс тудырады. Литосфералық процестермен байланысты ионосфералық бұзылулар ғарыштық радиофизикалық әдістерді анықтау және тіркеу үшін әлдеқайда қол жетімді болып табылады. Орташа және жоғары қарқынды жер сілкіністеріне дейін тіркелген ионосфералық ауытқуларды талдау ($M > 6$) қабаттың максимумындағы электронды концентрацияның да, толық электронды мазмұнның да ауытқулары 50% - дан асуы мүмкін екенін көрсетті, бұл күшті геомагниттік дауылдардың әсерімен вариация қарқындылығымен салыстыруға болады.

Жер сілкінісі алдында пайда болатын ионосфералық ауытқулардың тағы бір маңызды параметрі-олардың өмір сүру ұзақтығы. Тәулік ішінде Ионосфера параметрлерінің айтарлықтай өзгеруіне қарамастан, айырмашылық карталарын құру технологиясы арқылы анықталған сейсмо-ионосфералық ауытқулар күн ішінде ионосферадағы елеулі өзгерістерге қарамастан, жер сілкінісін дайындау аймағында 12 сағат бойы үздіксіз болуы мүмкін, бұл сейсмо-ионосфералық ауытқуларды генерациялаудың электромагниттік механизмі үшін маңызды дәлел.

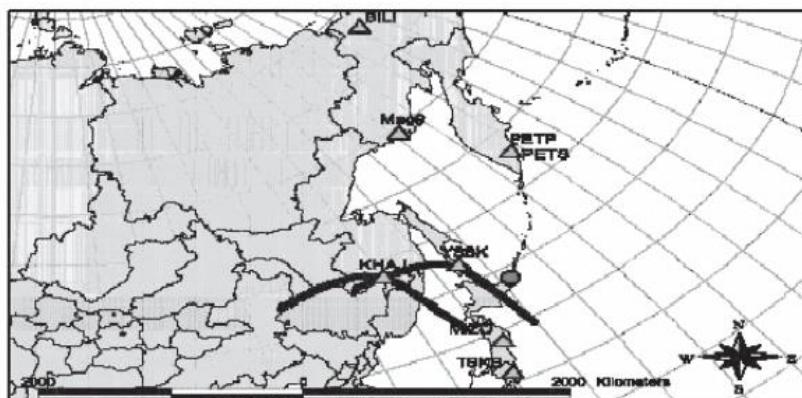
Жер сілкінісі жойқын, өлімге әкелетін құбылыстар болуы мүмкін және қазіргі уақытта олардың қашан болатынын, қандай аумаққа әсер ететінін немесе олардың магнитудасын болжау қиынға соғатыны анық. Дегенмен, соңғы бірнеше жылдар аясында ионосфералық бұзылулар және олардың сейсмикалық белсенділік пен тектоникалық плиталарға әсері белсенді түрде қарастырылып жатыр, сондай-ақ осы мақсаттар үшін ионосфералық процестерді жаһандық масштабта басқаруға мүмкіндік беретін навигациялық спутниктер кеңінен қолданылып, әртүрлі әдіс-тәсілдермен зерттелуде. Мысалы, транс-ионосфералық GPS-зондтау, корреляциялық талдаулар және т.б. әдістерді атап өтсек болады. Ионосфераны қашықтықтан бақылаудың жаңа тиімді құралы GPS және GNSS әлемдік навигациялық спутниктік жүйелері болды. Оларға негізделі отырып кеңінен таралған қабылдағыш желілері құрылды. Әр кезде қабылдағыштың радио көріну кеңістігінде кемінде 10-15 GPS/GNSS навигациялық спутниктері болады. Осылайша, мыңдаған «қабылдағыш-спутник» сәулелері бір уақытта ионосфералық өзгерістерді

көрсетеді. Бұл навигациялық спутниктік жүйелердің конфигурациялары ионосфера күйіне үздіксіз және ұзақ мерзімді бақылаулар жүргізуге жақсы бейімделген [6].

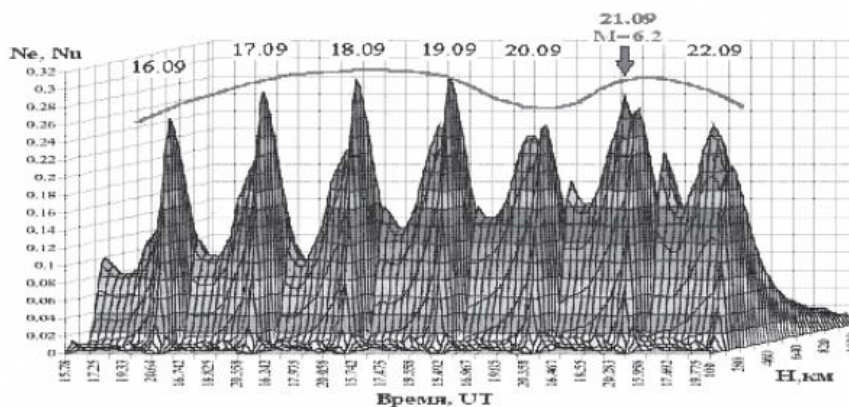
1999 жылы 17 тамызда Измит (Түркия) қаласының маңында Рихтер шкаласы бойынша $M=7,6$ баллдық апатты жер сілкінісі орын алды. Соққының жалпы ұзақтығы 37 секундты құраған болатын. Жер сілкінісі жер қыртысының ұзындығы 5 метрден асатын Солтүстік Анadolы үзілуі бойымен орын ауыстыруы байқалды. Түркия аумағы сейсмикалық белсенді аймақ, сонымен қатар араб және еуразиялық екі тақтаның соқтығысу аймағына жатады. Ионосфералық бұзылуды бақылау радиожарқылдау тәсілімен жүзеге асырылған болатын. Оны жүргізу үшін эпицентральды аймақта орналасқан және одан алыс орналасқан қабылдағыштың деректері пайдаланылды [7].

Quakercast деп аталатын зертханалық жоба жер сілкінісінің алдында болуы мүмкін электрондық белсенділік үшін жер ионосферасын бақылауға арналған машиналық оқытуды пайдаланады, кей зерттеу жұмыстарының нәтижесінде ионосфера күн мен найзағай сияқты жердегі және ғарыштық оқиғаларға жауап беретіні көрсетілген. Ионосферадағы жер сілкіністерінде сейсмикалық белсенділікке дейінгі өзгерістер байқалып, ионосферадағы электрондардың тығыздығы мен ағыны өзгеруінен, жердің тектоникалық плиталарының ығысуы орын алған.

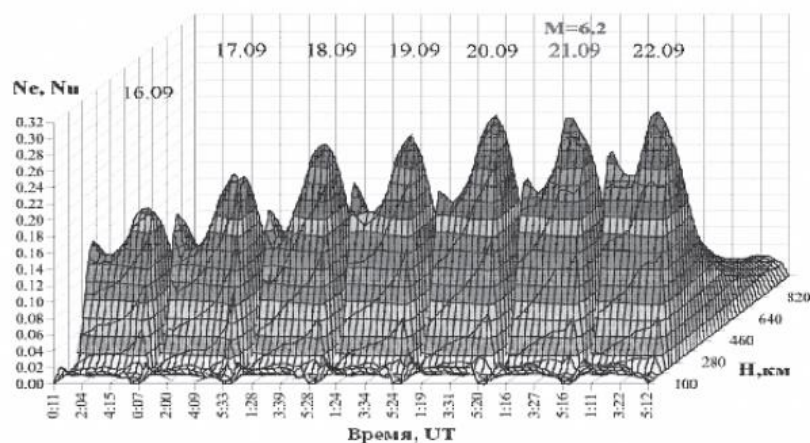
2005 жылғы 16-22 қыркүйек аралығында КНАЖ және YSSK қабылдағыштарының GPS бақылаулары арқылы деңгейі жоғары сейсмикалық белсенділік аумағына жататын Курил аралдарындағы ионосфераның бұзылуларына мониторинг жүргізген болатын. Қабылдағыштардың орналасу картасы, жерсеріктік нүктелердің траекториялары және мониторинг нәтижесі 1-суретте көрсетілген [3].



1 сурет – Ионосфералық төменгі нүктелердің траекториялары



2 сурет – Қалыптан тыс электронды концентрация (YSSK қабылдау станциясы, №2 спутник)



3 сурет – Фондық электронды концентрация (КНАЖ қабылдау станциясы, №2 спутник)

Токио маңындағы Ионосфера мониторингінің мәліметтері бойынша (Кокубунджи ионозонды) жер сілкінісінен бір күн бұрын мөлдірлік коэффициентінің тұрақты төмендеуі және станция жер сілкінісі дайындық аймағында болған жағдайда оның күрт өсуі байқалды. Осыған сәйкес әсерлер Жапониядағы Тохоку жер сілкінісі алдында 2011 жылдың 11 наурызында және Фукусима-1 атом электр станциясындағы апат кезінде байқалды, мөлдірлік коэффициентінің жоғарылауы 8-14 МКМ диапазонында инфрақызыл сәулелену ағынының жоғарылауымен сәйкес келген болатын. Осы фактілердің барлығы ионосфералық әсерлер радиацияның атмосфераға иондану әсерімен байланысты екенін сипаттайды.

Ионосфералық бұзылулар мен сейсмикалық белсенділікті бақылау үшін әртүрлі әдістер мен технологиялар қолданылады. Негізгі бақылау әдістерінің толық сипаттамасын атап өтетін болсақ:

Сейсмологиялық бақылау: жер сілкіністерін тіркеу үшін сейсмометрлермен жабдықталған сейсмикалық станциялар орнатылады. Бұл станциялар кеңінен қамтылуы үшін әртүрлі географиялық нүктелерде орналасқан.

1) Сейсмикалық толқындарды өлшеу: сейсмометрлер Р-толқындары (бойлық) және S-толқындары (көлденең) сияқты сейсмикалық толқындарды тіркейді және магнитуда мен эпицентр сияқты жер сілкінісінің параметрлерін өлшейді.

2) Ғаламдық сейсмикалық желі: сейсмикалық белсенділікті бақылауға арналған бүкіл әлем бойынша станцияларды қамтитын ғаламдық сейсмикалық желі (Global Seismographic Network, GSN) бар.

3) Ионосфералық бақылау: ионозондтар-радиотолқындарды ионосфераға шығаратын және шағылысқан сигналдарды тіркейтін құрылғылар, өлшеу электронды концентрация профилін талдау үшін әр түрлі бұрыштарда жүргізіледі.

4) GPS өлшемдері: GPS қабылдағыштарының деректері ионосфералық бұзылуларды бақылау үшін қолданылады. GPS сигналдарының таралуының кешігуі ионосферадағы электронды концентрациямен байланысты.

5) Магнитометрлер: магнит өрісіндегі өзгерістерді тіркей алады, олар ионосфералық бұзылулармен және сейсмикалық белсенділікпен байланысты болуы мүмкін.

6) Геодезиялық өлшемдер: жер қыртысының қозғалысын өлшеу үшін GNSS, GPS технологиялары қолданылады. Станциялардың орналасуындағы өзгерістер тектоникалық сдисуларға байланысты болуы мүмкін.

7) Машиналық оқыту: деректердегі үлгілерді анықтау және ықтимал сейсмикалық оқиғаларды талдау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану [5,8].

Нәтижелер.

Нәтижелер ионосфералық бұзылулардың сейсмикалық белсенділікке және тектоникалық плиталардың қозғалыстарымен байланысына әсерін растайды. Түркиядағы жер сілкінісі кезіндегі ионосфераның жай-күйін талдау алдағы жер сілкінісінен бір күн бұрын электронды концентрацияның төмендеу тенденциясы айқын байқалғанын көрсетті, бұл әдебиеттен белгілі мәліметтермен жақсы расталған. Сонымен қатар, жер сілкінісінің эпицентріне жақын подионосфералық нүкте трассасынан өту кезінде электронды концентрацияның қосымша төмендеуі байқалды. Бұл жағдайда эпицентрге жақын подионосфералық нүктеде минималды мән байқалды.

Сейсмикалық оқиғаларды талдаудың маңызды болып табылатын ықтимал көрсеткіштері анықталды:

1) Ионосферадағы өзгерістер мен сейсмикалық белсенділік арасындағы байланысты растайтын деректер ұсынылған. Ионосфералық параметрлер мен тіркелген жер сілкіністері арасындағы уақыт пен кеңістіктік корреляциялары талданады.

2) Ионосфералық бұзылулардың тектоникалық плиталардың қозғалысына әсерін көрсететін мәліметтер келтірілген. Ионосферадағы өзгерістер орын ауыстыру және сейсмикалық оқиғалар контекстінде бағаланады.

3) Анықталған индикаторларды талдау: зерттеу барысында анықталған нақты индикаторлар ұсынылған. Олардың алдағы сейсмикалық оқиғалармен корреляция дәрежесі талданды.

4) Болжаудағы ионосфералық параметрлердің рөлі: әрбір анықталған параметрдің рөлін талқылау сейсмикалық оқиғаларды болжау. Әр параметрдің маңыздылығын көрсететін статистикалық мәліметтер мен графиктерді ұсыну [2,9].

Талқылау.

Ионосфералық бұзылулардың сейсмикалық белсенділікке және тектоникалық плиталардың ығысуына әсері туралы гипотеза бірнеше әдіс-тәсілдермен қарастырылды. Бұл ионосфера мен жер сілкінісі арасындағы өзара әрекеттесудің негізінде жатқан физикалық механизмдер туралы түсінігімізді кеңейтетін маңызды жаңалық. Сейсмикалық оқиғаларды талдаудың анықталған ықтимал көрсеткіштері алдын ала ескерту жүйелерін әзірлеу үшін құнды ақпарат береді. Бұл қауіпсіздікті жақсартудың және жер сілкінісінің әсерін азайтудың негізгі қадамы болуы мүмкін.

Алдағы уақыттағы зерттеулердің шектеулері мен мүмкін бағыттары:

1) Әдістеменің шектеулері: зерттеудегі кез-келген шектеулерді талқылау маңызды, мысалы, әдістерді таңдау немесе белгілі бір деректерді пайдалану, қолданылу аясын жеткілікті түрде бағалай алады.

2) Қосымша тексерулер мен эксперименттер: терең зерттеу үшін мүмкін болатын қосымша тексерулер мен эксперименттерді ұсыну. Бұл зерттеу аймағын кеңейтуді немесе параметрлерді нақтылауды қамтуы мүмкін.

3) Модельдерді дамыту: нәтижелерге негізделген неғұрлым күрделі және дәл геофизикалық модельдерді жасау зерттеудің келесі қадамы болуы мүмкін.

4) Басқа аймақтармен салыстыру: жалпы заңдылықтарды немесе айырмашылықтарды анықтау үшін нәтижелеріңізді басқа аймақтардағы деректермен салыстыруды қарастыру.

5) Технологиялық жетілдірулер: ионосфералық деректерге негізделген сейсмикалық белсенділікті бақылау мен талдаудың дәлдігін жақсартатын ықтимал технологиялық жақсартулар [1,6].

Осы аспектілерді талқылау біздің нәтижелерімізді нығайтады және осы қызықты салада қосымша зерттеулер жүргізуге ынталандырады.

Қорытынды.

Зерттеу барысында біз ионосфералық бұзылулар, сейсмикалық белсенділік және тектоникалық плиталардың қозғалысы арасындағы байланысты терең зерттедік. Біздің зерттеу нәтижелеріміз геофизикалық процестерді түсінуге маңызды үлес қосады және сейсмикалық оқиғаларды болжауға жаңа перспективалар ашады. Біздің қорытындыларымыз осы саладағы қосымша зерттеулерге негіз жасайды. Анықталған бағыттар, әдістеме шектеулері және ықтимал жақсартулар болашақ зерттеу жұмыстарына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері геофизикадағы іргелі білімді кеңейтіп қана қоймай, сейсмикалық белсенділік жағдайында қоғамның қауіпсіздігін жақсартудың практикалық құралдарын ұсынады және ионосфералық бұзылулар туралы мәліметтер негізінде сейсмикалық белсенділікті бақылау және болжау әдістерін жасауға негіз береді.

Навигациялық спутниктік жүйелердің бақылауларын өңдеу нәтижелеріне негізделген радиожарықтандыру әдісін қолдану сейсмикалық қауіпті кезеңде ионосфераға ұзақ мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді. Бақылау деректерін өңдеу нәтижелері сейсмикалық қауіпті аймақтардағы Ионосфера күйінің өзгеруін навигациялық спутниктік жүйелер арқылы басқаруға болатынын көрсетті. Ионосфералық тік зондтау станцияларынан айырмашылығы, ұсынылған тәсіл болжамды жер сілкінісінің ықтимал аймақтарын оқшаулауға және осы құбылыстың пайда болу уақытын анықтауға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [10] Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. - М.: Наука, 1992. - 304 с
- [11] Гохберг М.Б., Пилипенко В.А., Похотелов О.А. О сейсмических предвестниках в ионосфере // Физика Земли, 1983. Т.10. С.17-21.
- [12] Сорокин, В.М., Чмырев, В.М. Электродинамическая модель ионосферных предвестников землетрясений и некоторых видов катастроф. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2002. - Т.42, № 6. - С.821-830.
- [13] Bogdanov, V. V., et al., 2017. Anomalous behavior of ionospheric parameters above the Kamchatka peninsula before and during seismic activity. *Physics and Chemistry of the Earth*. 98, 154-160.
- [14] Vijaya Lekshmi D., Balan N., Tulasi Ram S., Liu J. Y. Statistics of geomagnetic storms and ionospheric storms at low and mid latitudes in two solar cycles // *J. Geophys. Res.* 2011. – 116, A11328. DOI: 10.1029/2011JA01704
- [15] Shearer, P.M. Introduction to Seismology. Second Edition/P.M. Shearer. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. - 396 p.
- [16] Лю Х., Чжан К., Шах М. и Хонг З. Атмосферно-ионосферные возмущения после вулкана Кальбуко в апреле 2015 г. по наблюдениям GPS и OMI. *Adv. Space Res.* 60, 2836–2846. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.07.007> (2017).
- [17] Смирнов В.М. Вариации ионосферы в период землетрясений по данным навигационных систем//Электронный журнал «Исследовано в России», 2001. № 153. С.1759-1767.
- [18] Hayakawa M. VLF/LF radio sounding of ionospheric perturbations associated with earthquakes // *Sensours*. – 2007, – V. 7. – P. 1141-1158.

REFERENCES*

- [1] Liperovsky V. A., Lochotelov O. A., Shalimov S. L. ionospheric predecessors of the Earth. - М.: Nauka, 1992. - 304 P

[2] Gohberg M. B., Pilipenko V. A., Lochotelov O. A. seismic precursors in the ionosphere // physics of the Earth, 1983. Vol. 10. pp. 17-21.

[3] Sorokin, V. M., Chmyrev, V. M. Electrodynamical model of ionospheric precursors of Earthlings and certain types of catastrophes. // Geomagnetism and aeronomy. - 2002. - VOL. 42, NO. 6. - PP. 821-830.

[4] Bogdanov, V. V., et al., 2017. Anomalous behavior of ionospheric parameters above the Kamchatka peninsula before and during seismic activity. Physics and Chemistry of the Earth. 98, 154-160.

[5] Vijaya Lekshmi D., Balan N., Tulasi Ram S., Liu J. Y. Statistics of geomagnetic storms and ionospheric storms at low and mid latitudes in two solar cycles // J. Geophys. Res. 2011. – 116, A11328. DOI: 10.1029/2011JA01704

[6] Shearer, P.M. Introduction to Seismology. Second Edition//P.M. Shearer. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. - 396 p.

[7] Liu H., Zhang K., Shah M. and Hong Z. Atmospheric and ionospheric phenomena after the volcano Calbuco in April 2015. Adv. Space Res. 60, 2836–2846. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.07.007> (2017).

[8] Smirnov V. M. variations of the ionosphere in the period of terrestrial navigation systems // electronic journal «studied in Russia», 2001. № 153. P. 1759-1767.

[9] Hayakawa M. VLF/LF radio sounding of ionospheric perturbations associated with earthquakes // Sensours. – 2007, – V. 7. – P. 1141-1158.

Alua Kaiyrbek, student, Energo University, Almaty, Kazakhstan, a.kaiyrbek@aes.kz

Nurshat Utelieva, master's degree, senior lecturer, Energo University, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, n.utelieva@aes.kz

EFFECT OF IONOSPHERIC DISTURBANCES ON SEISMIC ACTIVITY AND SHIFTS OF TECTONIC PLATES: DEVELOPMENT OF MONITORING AND ANALYSIS METHODS

Abstract. This scientific article is devoted to the study of the influence of ionospheric disturbances on seismic activity and tectonic shifts, as well as the development of methods for their monitoring and analysis. The introduction provides an overview of the relevance of the problem and the need to study the relationship between the ionosphere and seismic activity. The control methods are characterized by the use of modern technologies and equipment. The section «Data and results» presents the results of research, including the analysis of ionospheric disturbances and their relationship to seismic activity. The discussion includes an analysis of the results and their discussion within the framework of existing theories. The conclusion summarizes the study and suggests possible directions for future research in this area. The study makes an important contribution to understanding the interactions between atmospheric and seismic activity and provides a basis for the development of effective methods for observing and analyzing seismic phenomena.

Keywords. Ionospheric disturbances, seismic activity, tectonic plates, seismology, observation and analysis, atmospheric and geophysical phenomena.

Алуа Кайырбек, студент, Energo University, Алматы, Казахстан, a.kaiyrbek@aes.kz

Нуршат Утелиева, магистр, старший преподаватель, Energo University, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, n.utelieva@aes.kz

ВЛИЯНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И СДВИГИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПЛИТ: РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА

Аннотация. Эта научная статья посвящена изучению влияния ионосферных возмущений на сейсмическую активность и тектонические сдвиги, а также разработке методов их мониторинга и анализа. Введение дает обзор актуальности проблемы и необходимости изучения взаимосвязи между ионосферой и сейсмической активностью. Методы контроля характеризуются применением современных технологий и оборудования. В разделе «Данные и результаты» представлены результаты исследований, включая анализ ионосферных возмущений и их связь с сейсмической активностью. Обсуждение включает в себя анализ результатов и их обсуждение в рамках существующих теорий. Заключение резюмирует исследование и предлагает возможные направления для будущих исследований в этой области. Исследование вносит важный вклад в понимание взаимодействий между атмосферной и сейсмической деятельностью и обеспечивает основу для разработки эффективных методов наблюдения и анализа сейсмических явлений.

Ключевые слова. Ионосферные возмущения, сейсмическая активность, тектонические плиты, сейсмология, наблюдение и анализ, атмосферно-геофизические явления.
