УДК 528.31

А.У. ЧЫМЫРОВ
E.mail. ksucta@elcat.kg

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ШАРТТАРЫНДА АР КАНДАЙ КООРДИНАТА СИСТЕМАЛАРЫНЫН БИРИНЕН БАШКАСЫНА ӨТҮҮСҮН ИЗИЛДӨӨ

Кыргыз Республикасында ар кандай геодезиялык иш аракеттерди аткарууда бир нече координата системалары колдонуулууда. Бул изилдөөдө азыркы колдонулуп жаткан СК-42, СК-63, WGS 84 жана Kyrg-06 системалары жана координаталардын алардын биринен башкасына өтүүсү каралган.

В Кыргызской Республике используются несколько систем координат при реализации различных геодезических задач. В данном исследовании были рассмотрены системы СК-42, СК-63, WGS 84 и Kyrg-06, а также трансформации координат между ними.

Several reference systems have been used in realizing various geodetic activities in the Kyrgyz Republic. This research has studied the reference systems SK-42, SK-63, WGS 84 and Kyrg-06 as well as the coordinate transformation between them.

Геодезия тармагында бир нече түрдүү координата системалары колдонулат. Бүгүнкү күндө техниканын жана технологиялардын тез өнүгүшү, бардык өндүрүштүк тармактарда жана эл аралык карым катнаштарда глобалдашуу багытынын күчөшү дана башка ушул сыяктуу шарттар геодезиялык координата системаларына да таасирин тийгизе баштады. Азыркы учурда Кыргыз Республикасында бир нече координата системалары бир убакта колдонулуп жатат жана бул жагдай терең изилдөөлөрдү жана такталган туура иш-аракеттерди кабыл алууну талап кылат.

Жалпысынан караганда координата системалары экиге бөлүнөт. Геоборбордук (Geocentric, Жалпы Жердик референц) системаларда координатанын башталышы Жердин оордук борбору менен дал келет, Z огу Түндүк уюлдун бекитилген ордуна багытталган, ал эми X жана Y октору болсо баштапкы меридиан (Гринвич меридианы) жана баштапкы параллелге (экватор) туура келишет /1/.

Квазигеоборбордук (мамлекеттик референц, улуттук референц) координата системалары геоборбордук системалар сыяктуу эле жайгашкан, бирок алардын айырмасы катары өзгөчө жолдор менен аныкталган ар кандай баштапкы же референц-эллипсоиддерди колдонуу эсептелет. Ар кайсы мамлекеттерде ар кандай референц эллипсоиддер колдонулат. Мурдагы Советтик Социалисттик Республикалар Союзунда (СССР) 1940 жылы аныкталган Ф.Н. Красовскийдин эллипсоиди колдонулуп келген. Ал эми башка мамлекеттерде Кларктын, Бессельдин, Гельмерттин референц-эллипсоиддери жана башка референц-эллипсоиддер колдонулган (1 таблица) /2/.

Бүгүнкү күндө Жердин жасалма спутниктеринин геодезия, геоинформатика, картография жана башка тармактарда кенири колдонула башташы, информациялык технологиялардын тез өнүгүшү жана глобалдашуунун кеңири жайылышы колдонулуп жаткан координата системаларын ирээтке келтирип колдонууну талап кылып жатат. Жердин жасалма спутниктерин геодезиялык иш-чараларды аткарууда колдонуу эмгек жана материалдык ресурстарды эффективдүү пайдаланууга жана аткарылган ченеп-өлчөө иштеринин сапатын жакшыртууга жана аткаруу мөөнөтүн кыскартууга мүмкүнчүлүк берет. Азыркы убакта космостук технологиялардын геодезиялык иштерди аткарууда пайдалануусу кеңейип бара жатат, кээ бир трассалоо жана жерге жайгаштыруу сыяктуу тармактардагы геодезиялык жумуштарда алардын үлүшү дээрлик 70-80% га чейин жетет.

Бүткүл дүйнө жүзүндө Америка кошмо штаттарынын (АКШ) Коргоо министирлигинин NAVSTAR/GPS деп аталган, ошондой эле мурдагы СССРдин жана азыркы Россия Федерациясынын ГЛОНАСС деп аталган орунду аныктоочу глобалдык спутник системаларынын чектөөсү жок колдонууга берилиши координата системалары боюнча дүйнөлүк жана мамлекеттик саясаттарды абдан өзгөрттү. Мурунку убакта ар бир мамлекет өз системаларында ченеп-өлчөөлөрдү аткара алса, азыр алар жаңы технологияларда колдонулуучу координата системаларын түздөн түз же которуп пайдаланууга мажбур болушууда /3/.

1980 жылдардан баштап толук кандуу иштеп келе жаткан GPS системасында WGS 84 (World Geodetic System, 1984 жыл) деп аталган Дүйнөлүк геодезиялык система колдонулат. Бул система ошол кездеги эң так система болгон жана АКШнын Улуттук геомейкиндик-чалгындоо агентствосу (NGA) тарабынан аныкталган жана колдонууга киргизилген. Бул системанын башталышы Жердин оордук борборунда жайгашкан. Анын баштапкы меридианы Гринвич меридианынан 5,31 секунда же Гринвич обсерваториясынын тушунда андан 102,5 метр чыгышыраак өтөт. Бул система референц-эллипосид катары WGS 84 эллипсоидин пайдаланат (1 таблица).

1990 жылдардан баштап Эл аралык Жердин референцтик системасы (International Terrestrial Refernce Frame, ITRF) колдонууга алына баштады, анткени бул системада Жердин оордук борбору, жана ошондой эле Жердин уюлдарынын жана материктердин жылышуусу бүткүл Жер бетинде жайгашкан 200 дөн ашуун GPS станцияларынын жардамы менен тагыраак аныкталган. Бүгүнкү күндө геоборбордук WGS 84 жана ITRF системалары бардык мамлекеттер тарабынан пайдаланууга киргизиле баштады. Ал эми тик бурчтуу жалпак координата системасы катары UTM деп аталган координата системасы колдонулууда /2/.

1 таблица. Негизги референц-эллипсоиддердин өлчөмдөрү

Эллипсоиддин аталышы	**Жылы**	**Чоң (уюлдук) радиусу – a, м**	**Кичине радиусу – b, м**	**Колдонгон мамлекеттер**
Эйри	1830	6377563,396	6356256,91	Улуу Британия
Эверест	1830	6377276,3452	6356075,4133	Индия, Бирма, Малайзия
Бессель	1841	6377397,155	6356078,963	Борбордук Европа
Кларк	1866	6378206,4	6356583,8	Тундук Америка, Филиппин
Кларк	1880	6378249,145	6356514,86955	Франция жана Африка
Гельмерт	1907	6378200	6356818,17	Египет
Красовский	1940	6378245	6356863,0188	СНГ жана Чыгыш Европа
WGS 84	1984	6378137	63565752,3142	Дүйнө жүзү боюнча
ITRF 2005	2005	6378137	63565752,3141	Дүйнө жүзү боюнча

Кыргыз Республикасы мурдагы СССРдын курамына кирген мамлекет катары бир нече координаталык системаларды пайдаланып келген. Алардын негизгилери катары СК-42 жана СК-63 эсептелет, бул системалардын негизинде Ф.Н. Красовскийдин эллипсоиди пайдаланылган. Бул Гаусс-Крюгердин картографиялык проекциясында аныкталган эки системанын геодезиялык датумдары Пулково обсерваториясынын тегерек залынын ортосу деп аныкталгандыктан көп учурда аларды Пулково-42 же Пулково-63 деп аташат. Бул системалар Жердин эски өлчөмдөрүн колдонгон референц эллипсоидге негизделген жана азыркы колдонулуп жаткан заманбап геоборбордук координата системаларына салыштырмалуу бир топ кемчиликтерге ээ. Россия Федерациясы тарабынан мамлекеттик деп кабыл алынган жана башка мамлекеттерге сунушталган жаңы СК–95 координаталык системасы жана ал негизделген геоборбордук ПЗ–90 системасы азыр Кыргыз Республикасында дээрлик колдонулбайт жана аларды колдонуу максатка ылайыксыз.

1942 жылы киргизилген СК-42 координаталык системасы жашыруун болуп эсептелет жана аны колдонуп даярдалган ири масштабдуу карталарды ачык пайдаланууга тыюу салынган. Бул тыюу СССРдин убагынан бери жарактуу жана мамлекеттик коопсуздук, Көз карандысыз мамлекеттердин Уюму (СНГ), Коллективдүү коопсуздук келишим уюму (ОДКБ) жана башка ушул сыяктуу регионалдык макулдашууларга ылайык Кыргыз Республикасы бул чектөөнү жоюуга азырынча даяр эмес. Ошол себептен азыркы глобалдашуу учурунда, космостук чалгындоо жана Кыргыз Республикасында бардык тармактарда эл аралык ишканалар жана уюмдар иштеп жатканда бул системаны колдонуу ыңгайсыздыктарды жаратууда.

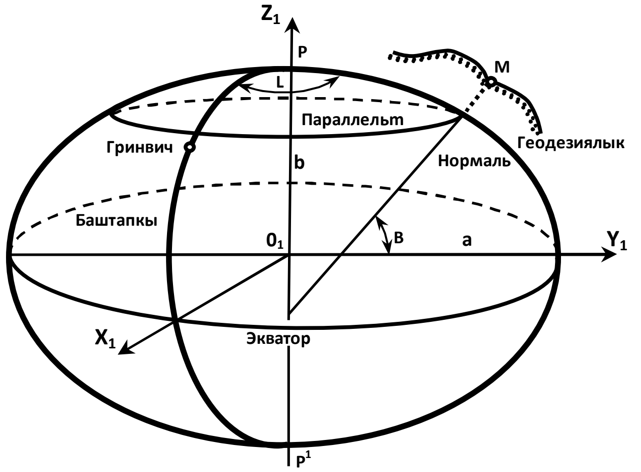
СК-63 деп аталган ачык координаталык системасы СК-42 координаталык системасынын өзгөртүлгөн түрү болуп саналат. Бул системада СССРдин бардык аянты өзгөчө зоналарга бөлүнгөн жана ал аянттардын карталарынын ар бири өзгөчө аталышка жана өзгөчө координата системаларына ээ. Атайын эсептер менен аныкталган ар бир зонанын СК-42 координата системасы атайылап жана өзгөчө ачкыч коддордун жардамы менен жылдырылып жана айландырылып өзгөртүлгөн. Бул системалуу картадагы нерселердин СК-42 системасындагы туура координаталарын ачкыч коддордун жардамысыз аныктоого мүмкүн эмес. 1987 жылы официалдуу колдонуудан чыгарылган СК-63 системасы ири масштабдуу карталарды жана пландарды колдонуп жерге жайгаштырууда жана жергиликтүү координата системаларын (шаардык, тармактык ж.б.) пайдаланган ченеп-өлчөө иштеринде көбүрөөк колдонулган /4/.

Азыркы учурда дээрлик бардык мурда басылган кагаз түрүндөгү топографиялык карталар СК-42 жана СК-63 системаларында даярдалган. Ошол себептен Кыргыз Республикасы дагы башка мамлекеттердин катарында өзүнүн Kyrg-06 деп аталган Улуттук координата системасын 2010 жылы кабыл алды. Бул ачык система 2006-09-13 **эпохасында такталган** ITRF 2005 системасына негизделген жана UTM картографиялык проекциясындагы 3°тук зоналарга бөлүнгөн /5/. Бүгүнкү күндө жаңы система колдонууга киргизилип жатат жана геодезиялык ченеп-өлчөөлөрдө кеңири пайдаланыла элек. Ушул себептен кийинки эсептөөлөр GPS системасы негизинен колдонгон WGS 84 эллипсоидин пайдаланып көрсөтүлөт, анткени ITRF 2005 эллипсоиди ага абдан жакын (1 таблица).

GPS жана GNSS кабылдамаларын колдонгон ченеп-өлчөөлөрдү аткаруучу жана эски кагаз карталарды пайдалануучу геодезисттер эки башка эллипсоиддерге – WGS 84 жана Красовский, негизделген эсептөөлөрдү аткарып эки системаны тең колдоно алышат. Бул координата системаларынын биринен башкасына өтүүсүн эсептөө ыкмаларынын негизгилери болуп Молоденскийдин жана Гельмерттин ыкмалары колдонулат /6/. Азыркы учурда бул сыяктуу эсептөөлөрдүн бир канча ыкмалары бар жана мындай

эсептөөлөр компьютердик программалардын жардамы менен жеңил аткарылат, бирок аларды колдонуунун алдында мындай эсептөөлөрдүн негиздерин аныктап алуу керек.

Жердин эллипсоиди анын кебетесин аныктоочу үч негизги параметрлерге ээ: анан чоң (уюлдук) радиусу – a, кичине радиусу – b жана бул эки чоңдук аныктоочу геометриялык же уюлдук кысылуусу - $f = \frac{a-b}{a}$. Бул параметрлердин каалаган экөөсү Жердин келбетин аныктап бере алат (1 сүрөт).



1 сүрөт. Жердин референц эллипсоидинин негизги элементтери

Координаталарды аныктоо үчүн биринчи жана экинчи эксцентриситеттерди да аныктоо зарыл: биринчи эксцентриситет – $e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}$; экинчиси – $e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}}$.

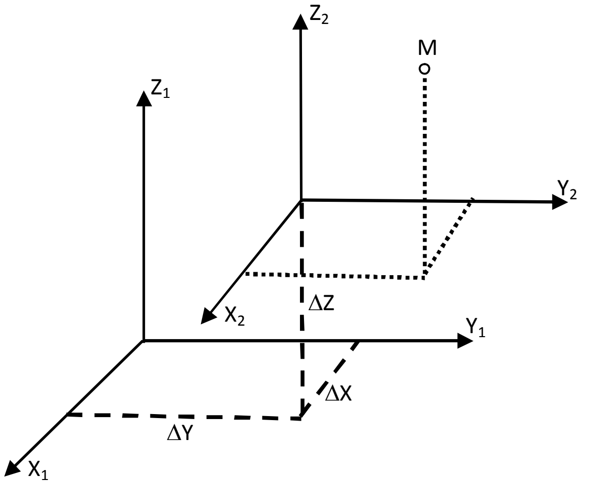
Эллипсоиддин бетиндеги M чекитинин Гаусстун проекциясындагы октук меридиандан эсептелүүчү тик бурчтуу тегиздик координаталары - X жана Y, ал чекиттин геодезиялык кеңдиги B жана узундугу L аркылуу аныкталат:

$$X = S + N\frac{L''^2}{2\rho''^2}sinB\,cosB + N\frac{L''^4}{24\rho''^4}sinB\,cos^3B(5 - tg^2B + 9\eta^2 + 4\eta^4) + N\frac{L''^6}{720\rho''^6}sinB\,cos^5B(61 - 58tg^2B + tg^4B) + \cdots;$$

$$Y = N\frac{L''}{\rho''}cosB + N\frac{L''^3}{6\rho''^3}cos^3B(1 - tg^2B + \eta^2) + N\frac{L''^5}{120\rho''^5}cos^5B(5 - 18tg^2B + tg^4B) + 14\eta^2 - 58\eta^2tg^2B) + \cdots,$$

бул жерде S – геодезиялык меридиандын жаасынын экватордон B кеңдигиндеги парареллелге чейинки узундугу; N - B кеңдигиндеги нормаль сызыктын эллипсоиддин бетине чейинки узундугу; ρ''=206 264,8062''- радиандын градустук өлчөө бирдигиндеги секундалык чоңдугу; $\eta^2 = e'^2cos^2B = 0,006738525cos^2B$ (Красовскийдин эллипсоиди үчүн).

Чекиттердин координаталары ар кайсы координата системаларында ар кандай болот, анткени аларда ар башка референц эллипсоиддер, картографиялык проекциялар, датумдар жана баштапкы меридиандар колдонулат /6,7/.



2 сүрөт. Эки башка координата системаларынын өз ара жайгашышы

Мисал катары Молоденскийдин жеңилдетилген ыкмасын колдонуп эки башка координата систамаларын эсептөө жолун карап көрөлү. Биринчи система WGS 84 же ITRF 2005 эллипосидине, ал эми экинчиси болсо Красовскийдин эллипсоидине негизделген.

Чоң (уюлдук) радиустарды a_1 жана a_2, кичине радиустарды b_1 жана b_2, геометриялык кысылууларды f_1 жана f_2, ал эми эксцентриситеттерди e_1 жана e_2 деп белгилейли. Биринчи эллипсоидде X_1, Y_1, Z_1 октору болгон мейкиндүү тик бурчтуу координата системасы жайгашкан. Бул

системанын башталышы Жердин оордук борборуна, ал эми Z огу болсо уюлдук айлануу огуна дал келет (1 сүрөт).

Экинчи эллипсоиддин координаталары болсо биринчиден өз ара багытташуунун узундук элементтери деп аталган ΔX, ΔY, ΔZ чоңдуктары менен айырмаланат (2 сүрөт). Бул ыкма эки координата системалары өз ара буралган болсо анча так болбойт жана ал кичинерээк аянттар үчүн гана жарактуу.

Мисал катары биринчи эллипсоидде геодезиялык координаталары B_1, L_1, H_1 болгон M чекити берилген. Ушул чекиттин экинчи эллипсоиддеги B_2, L_2, H_2 координаталарын аныктап көрөлү. Молоденскийдин жеңилдетилген ыкмасы ΔB, ΔL, ΔH кошумчаларын гана пайдаланып эсептөөгө негизделген. Аларды B_1, L_1, H_1 кординаталарына кошкондо изделген координаталар аныкталат: $B_2=B_1+\Delta B$; $L_2= L_1+\Delta L$; $H_2= H_1+\Delta H$.

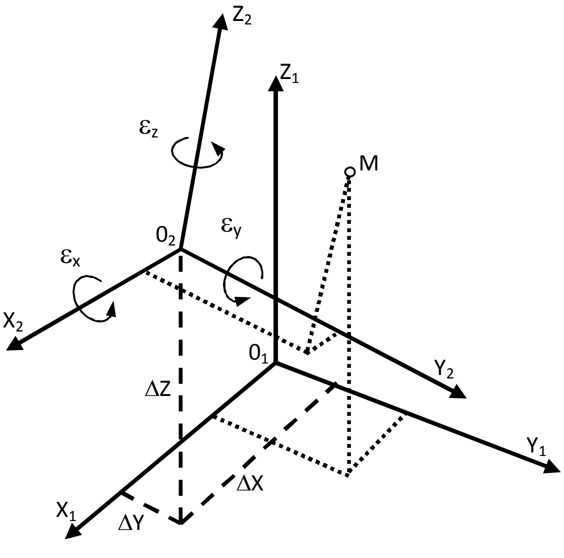
Молоденскийдин жеңилдетилген ыкмасы менен координата системаларын өзгөртүү төмөндөгүдөй математикалык жол менен аткарылат:

$$\Delta B = \frac{1}{M_1 + H_1}\left[-\Delta X\, sinB_1\, cosL_1 - \Delta Y\, sinB_1\, sinL_1 + \Delta Z\, cosB_1 + \frac{a_2 - a_1}{2a} N_1 e^2 sinB_1\, cosB_1 + (f_2 - f_1)\left(M_1\frac{a_1}{b_1} + N_1\frac{b}{a_1}\right) sinB_1\, cosB_1\right],$$

$$\Delta L = \frac{1}{M_1 + H_1}(\Delta X\, sinL_1 + \Delta Y\, cosL_1) secB_1,$$

$$\Delta H = \Delta X \cos B_1\, cosL_1 + \Delta Y\, \cos B_1\, sinL_1 + Z \sin B_1 - \frac{a_1(a_2 - a_1)}{N_1} + (f_2 - f_1)\frac{b_1}{a_1} N_1 sin^2 B_1,$$

бул жерде $M_1 = \frac{a_1(1-e_1^2)}{\sqrt{(1-e_1^2 sin^2 B_1)^3}}$, $N_1 = \frac{a_1}{\sqrt{(1-e_1^2 sin^2 B_1}}$.



3 сүрөт. Өз ара буралган эки башка координата системалары

Эки башка координата системаларынын биринен башкасына өтүүсүн эсептөөнүн так жолу болуп Гельмерттин ыкмасы саналат. Бул ыкмада жети өз ара багыттоо параметрлери колдонулат: өз ара сызыктуу багыттоонун үч параметри (ΔX, ΔY, ΔZ), өз ара бурчтук багыттоонун үч параметри (ε_x, ε_y, ε_z) жана эллипсоиддердин бетиндеги аралыктардын айырмаларын эсепке алуучу масштабдык көбөйтүүчү сан (3 сүрөт). Бул параметрлер эсептелип жаткан ар бир карта үчүн белгилүү болуш керек. Эгерде алар белгисиз болсо, анда ушул эле ыкма менен тескерисинен эсептеп бул белгисиз параметрлерди таап алса болот. Ал үчүн координаталары эки системада тең белгилүү, эң кеминде, үч чекит керек болот.

Гельмерттин ыкмасы менен Бурш-Вольфтун формулаларын колдонуп координата системаларын өзгөртүүнүн математикалык жолу:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{1,2} + (1+m)\begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_x & -\varepsilon_{yz} \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1.$$

Ар кандай координата системаларынын биринен башкасына өтүүсүн дагы башка ыкмалар менен аныктаса болот. Аларды тандап алууга негиз болуп аткарылуучу иштин максаты, колдо болгон ар кандай керектуу параметрлер, жакындатып алуулар жана координаталардын тактыгы эсептелет. Ал эми компьютердик технологиялардын жана

Геоинформациялык системалардын (ГИС) өнүгүшү бул багытта бир кыйла жеңилдиктерди жаратты.

Геодезиялык заманбап компьютердик программалардын бардыгы дүйнөдөгү негизги референц-эллипсоиддерди, координата системаларын, картографиялык проекцияларды жана датумдарды камтыйт. Trimble Geomatic Office, Leica Geo Office жана Credo компьютердик программалары азыркы тапта геодезиялык ченеп-өлчөөлөрдү аткаруунун негизги куралдарынын тутумуна кирет. Аларда эсептөөлөрдүн негиздери катары Молоденскийдин жана Гельмерттин ыкмаларын колдонуп координата системаларын өзгөртүүнүн так стандарттык ыкмалары бар. Бирок бардык өзгөртүүлөрдү абдан так жана туура аткаруу зарыл, анткени жаңы координаталардын жана параметрлердин тактыктары пайдаланылуучу чоңдуктар, геодезиялык торчолордун тактыгы, карталардын зоналарынын чектери, эсептелүүчү аянттын чоңдугу сыяктуу көп нерселерден көз каранды.

Дүйнөдөгү алдыңкы жана эң кеңири колдонулуучу геоинформациялык программаларга ArcGIS® комплекси кирет. Бул геоинформациялык системанын жардамы менен чекиттердин координата системаларын өзгөртүү жеңил. Мисал катары карасак чекиттердин координаталарын жана өзгөртүү параметрлерин СК-42 жана WGS 84 системаларында жетиштүү тактыкта тез эсептеп алса болот. А бирок СК-63 координата системасы ArcGIS программасында жок жана ал системаны колдонуу үчүн картадагы ошол аянттын ачкыч коддорун билип алуу зарыл.

Kyrg-06 Улуттук координата системасынын башка негизги геодезиялык координата системалары менен өз-ара өтүшүү параметрлери азыркы убакта иштелип жатат жана жакынкы жылдарда негизги геодезиялык жана геоинформациялык системаларда стандарттык системалардын бири катары киргизилүүсү күтүлүүдө.

Адабияттын тизмеси

1. Огородова Л.В. Высшая геодезия. Часть III – Теоретическая геодезия. -М.: Геодезкартиздат, 2006.
2. Paul A. Longley, Michael F. Goochild, David J. Maguire, David W. Rhind. Geographic Information Systems and Science. John Willey & Sons Ltd, England, 2001.
3. Абдиев А. Geodetic Reference System and Introduction of GPS Technology in Kyrgyzstan. Эл аралык «ГИС Борбордук Азиянын келечеги үчүн» конференциясынын иштеринин жыйнагы, Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университетинин жарчысы, № 4 (22), 2009, 77-81 беттер.
4. Постановление Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР № 378-85 от 25 марта 1987 года.
5. Абдиев А., Чымыров А.У. The Kyrgyz National Reference System “Kyrg-06” and GNSS Control Centre “KyrPOS”. Эл аралык «Суу: жашоо, кооптуулук, энергия жана жерди колдонуу» Борбордук Азия ГИС конференциясынын иштеринин жыйнагы, 2-3 май 2013 ж. Алматы ш., Казакстан, 85-90 беттер.
6. Яковлев Н.В. Высшая геодезия, М.: Недра, 1989.
7. Бугаевский Л.М. Математическая картография. -М.: Златоуст, 1998.