

**Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы М.М. Адышев
атындагы эмгек кызыл туу ордендүү геология институту**

**Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы сейсмология
институту**

Д 25.23.677 Диссертациялык кеңеши

Кол жазмалар укугунда
УДК 550.380.83 / 621.317.328 / 550.8.08 / 004.42 / 004.021

Бобровский Владимир Владимирович

**Түндүк Тянь-Шандын литосферасындагы заманбап геодинамикалык
процесстерди электромагниттик изилдөө үчүн чуу сымал сигналдар менен
кең тилкелүү өлчөө комплекси**

25.00.10 – геофизика, пайдалуу кендерди издөөнүн геофизикалык ыкмалары

Физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуу даражасын изденип алуу
үчүн жазылган диссертациянын
Авторефераты

Бишкек – 2024

Диссертациялык иш Бишкек шаарындагы Россиянын Илимдер академиясынын Илимий станциясынын Федералдык мамлекеттик бюджеттик илим мекемесинин өркүндөтүлгөн аппараттык иштеп чыгуулар лабораториясында жүргүзүлдү.

Илимий жетекчиси: **Александров Павел Николаевич**, физика-математика илимдеринин доктору, Россия илимдер академиясынын О.Ю. Шмидт атындагы Жердин физикасы институтунун Федералдык мамлекеттик бюджеттик мекемесинин Геоэлектромагниттик изилдөөлөр борборунун электромагниттик талааларынын жана геологиялык чөйрөнүн өз ара аракеттенүүсү лабораториясынын башкы илимий кызматкери.

Расмий оппоненттери:

Жетектөөчү мекеме:

Диссертациянын коргоосу 2024-жылдын «__» _____ саат 14⁰⁰дө Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын М.М. Адышев атындагы Геология жана Сейсмология институттарындагы Д 25.23.677 диссертациялык кеңешинин отурумунда корголот, дареги: 720040, Бишкек шаары, Эркиндик бульвары, 30, жыйындар залы. Диссертациянын видеоконференциясына кирүү үчүн шилтеме: <https://vc.vak.kg/b/252-whl-gq7-1dj>

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын М.М. Адышев атындагы Геология институтунун (дареги: 720040, Бишкек ш., Эркиндик бульвары, 30) жана Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Сейсмология институтунун (дареги: 720060, Бишкек шаары, Асанбай кичи району, 52/1) китепканаларынан жана Кыргыз Республикасынын Президентине караштуу Улуттук аттестациялык комиссиянын сайтында: https://vak.kg/d_25_23_677/bobrovskij-vladimir-vladimirovich/

Автореферат 2024-ж. «__» _____ таратылды

Диссертациялык кеңештин

окумуштуу катчысы

Г. И. К., доцент

Токторалиев Э.Т.

ИШТИН ЖАЛПЫ СЫПАТТАМАСЫ

Изилдөө темасынын актуалдуулугу. Сейсмикалык активдүү зоналарда заманбап геодинамикалык процесстерди изилдөө жогорку тактыктагы өлчөөчү атайын аппаратурасыз мүмкүн эмес. Геодинамиканы изилдөөдөгү негизги каражаттардын бири болуп изилденүүчү чөйрөнүн (жер кыртышынын) башкарылуучу электрдик параметрлерин өлчөөдө жогорку тактыкты камсыз кылуучу, башкарылуучу булагы бар активдүү электр чалгындоо методдору саналат.

Жер кыртышынын электрдик параметрлерин өлчөөнүн тактыгын жогорулатуу үчүн (көрүнгөн каршылык) уникалдуу статистикалык касиеттерге ээ болгон жана биринчи кезекте чоң "маалыматтык ашыкчалык" деп аталган жер кыртышын электромагниттик зонддоо үчүн ызы-чуу сымал сигналдарды колдонуу идеясы пайда болду. Жер кыртышынын геофизикалык изилдөөлөрүндө чуу сымал сигналдарды (ЧСС) колдонуу идеясы бир топ убакыт мурун пайда болгон (Duncan P. M., Bailey R. C., Edwards R. N. et al.) жана бүгүнкү күндө да актуалдуу (Светов Б.С., Алексеев Д.А., Агеев В.В. ж. б.). ЧССтин жардамы менен талааны өнүктүрүү ийри сызыгын алуу жазылган жана үн берүүчү сигналдарынын ортосундагы кайчылаш-корреляция функциясын (ККФ) эсептөөнү камтыйт.

Электрдик чалгындоо өлчөө тутумунун кабыл алуу жагында катталган сигналдарды корреляциялык иштетүү чуу сымал ток импульстары менен зонддоодо олуттуу чуулардын жана ар кандай келип чыккан тоскоолдуктардын фонунда сигналчуунун катышы бир нече жолу (100-10000 эсе) жогорулашын камсыздайт алат. Бул өлчөө тутумунун сезгичтигинин чуу босогосун кескин төмөндөтөт жана акыр аягында жер кыртышынын тереңдигинин диапазонун кеңейтүүнү камсыздайт, ал эми зонддоочу генераторлордун энергия керектөөсүн олуттуу азайтат. Мындай жабдууларды иштеп чыгууга жана андан ары чыгарууга кеткен экономикалык чыгымдар да кубаттуу генератордук комплекттердин базасында жабдууларды түзүүгө кеткен чыгымдардан бир кыйла төмөн.

Чуу сымал сигналдарды колдонуу менен электр чалгындоо жабдуулары илимдин жана техниканын башка тармактарындагы маселелерди чечүүдө, мисалы, пайдалуу кендерди издөөдө жана чалгындоодо кеңири колдонулушу мүмкүн, бул издөө иштеринин сапатын жана натыйжалуулугун олуттуу жогорулатууну камсыз кылат.

Диссертациянын темасынын артыкчылыктуу илимий багыттар, негизги илимий программалар (долбоорлор), окуу жана илимий мекемелер тарабынан жүргүзүлүп жаткан негизги изилдөө иштери менен байланышы. Диссертациялык иштин негизги бөлүгү 2014-2021 – жж «Сейсмоактивдүү аймактардагы геодинамикалык процесстердин электромагниттик мониторингинин аппараттык-программалык каражаттарын жана негиздерин иштеп чыгуу жана алардын коркунучтарын баалоо» аттуу темадагы мамлекеттик тапшырманы аткаруунун алкагында аткарылды. Диссертациялык иштин жыйынтыктоочу бөлүгү 2022-2023-жылдарга «Сейсмогендик чөйрөлөрдөгү ийкемсиз процесстерге мониторинг жана моделдөөнүн негизинде жер титирөөнү болжолдоонун негизи катары геофизикалык талааларды жана процесстерди изилдөө» деген темадагы мамлекеттик тапшырманын алкагында аткарылган.

Изилдөө объектиси. Изилдөөнүн объектиси болуп сейсмикалык активдүү зоналарда жер кыртышындагы чыңалуу-деформациялык процесстердин өнүгүшүнө геофизикалык мониторинг жүргүзүү системасы саналат. Мындай мониторингди жүргүзүүнүн негизги жолдорунун бири – атайын генератордук агрегаттар тарабынан дүүлүктүрүлгөн электромагниттик импульстардын жардамы менен жер кыртышын

активдүү изилдөө. Изилденип жаткан райондо өлчөөчү пункттардын тармагы түзүлүп жатат, анда кабыл алуучу станциялардын жардамы менен электромагниттик таасирге жер кыртышынын реакциясынын сигналдары жазылат. Жазылган маалыматтар атайын программалык камсыздоонун жардамы менен иштетилет. Мындай кайра иштетүүнүн натыйжасында жер кыртышында болуп жаткан чыңалуу-деформациялык процесстердин өнүгүшүн чагылдырган изилденип жаткан чөйрөнүн башкарылуучу параметринин (ар кандай тереңдиктеги тоо тектеринин көрүнгөн электр каршылыгы) өзгөрүшүнүн убакыт катарлары түзүлөт.

Изилдөөнүн максаты. Жаңы, заманбап элементардык базада аткарылган, 100 мден 10 кмге чейинки тереңдиктердин диапазонунда талаанын калыптануу методу менен жер кыртышынын электрдик параметрлерин өлчөөнүн жогорку сапатын жана натыйжалуулугун камсыз кылуучу жабдууларды түзүү.

Изилдөө максаттары:

1. Чууга сымал зонд сигналдары менен электр чалгындоо системасынын математикалык моделин иштеп чыгуу. Иштелип чыккан моделди колдонуу менен, зонддоо үчүн импульстун туруктуу узактыгы менен биполярдык импульс ырааттуулугун колдонгон салттуу системага салыштырганда чуу сымал зонд сигналдарын колдонуу мүмкүнчүлүгүн жана артыкчылыктарын теориялык жактан негиздөө.

2. Электр чалгындоо жабдууларында чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрүн изилдөө. Талаанын пайда болгон ийри сызыгынын сапатына алардын таасирин баалоо максатында чуу сымал зонддоочу сигналдары бар электр чалгындоочу жабдууда ЧССнын түзүмдүк тоскоолдуктарынын болжолдуу булактарын аныктоо жана аларды жоюу ыкмасын иштеп чыгуу.

3. Жер кыртышынын электрдик параметрлерин өлчөө үчүн чуу сымал сигналдары бар аппараттык-программалык кең тилкелүү ченөө комплексинин эксперименталдык үлгүсүн иштеп чыгуу, даярдоо жана талаада жакынкы талааларды түзүү ыкмасын колдонуу менен сыноо.

4. Төмөнкүлөрдү камтыган чуу сымал сигналдар менен кең тилкелүү өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсүн колдонуу менен жер кыртышын изилдөө технологиясын сыноо:

- реалдуу талаа шарттарында өлчөөлөрдү жүргүзүү методологиясын иштеп чыгуу;
- кеңди иштетүү ийри сызыгынын өлчөө катасын алдын ала баалоо;
- айлана-чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу методологиясын иштеп чыгуу.

Алынган натыйжалардын илимий жаңылыгы:

1. Чуу сымал зонд сигналдары бар электр чалгындоо тутумунун математикалык моделдеринде, импульстун туруктуу узактыгы менен биполярдык импульстук ырааттуулуктарды зонддоо үчүн колдонгон кадимки системага салыштырмалуу чууну натыйжалуу басуу мүмкүнчүлүгү жана аларды колдонуунун теориялык артыкчылыгы далилденген.

2. Электр чалгындоо жабдууларында чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрү изилденген. Чуу сымал зонд сигналдары менен электр чалгындоо жабдууларында ЧССтин структуралык кийлигишүүсүнүн сунушталган булактары аныкталган.

3. Туура аныктоонун жогорку ыктымалдыгы жана жалган сигнализациянын төмөн ыктымалдыгы менен талаанын пайда болушунун ийри сызыгында ЧССтин структуралык кийлигишүүсүн аныктоону жана андан ары жоюуну камсыз кылган алгоритм иштелип

чыккан. ЧССтин түзүмдүк кийлигишүүсүн аныктоо босогосун автоматтык түрдө тандоо критерийи сунушталды, бул маалыматтарды иштеп чыгуу процессин мүмкүн болушунча автоматташтырууга жана анын ылдамдыгын жогорулатууга мүмкүндүк берет, бул талаа шартында иштерди аткарууда абдан маанилүү.

4. Жазылган сигналдардын кеңири жыштык диапазонунан жана чоң динамикалык диапазонунан улам талааны иштетүү ийри сызыгын башкарууну камсыз кылуучу чуу сымал зонд сигналдары бар аппараттык-программалык өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсү иштелип чыкты жана даярдалды.

5. Талаа пайда болушунун ар кандай мезгилдеринде пайда болгон зондоо ийри сызыктарынын сапатынын биринчи баалоолору алынды. Талаа эксперименттеринин жыйынтыгы боюнча, биринчи жакындодо, талааны түзүүнүн бүткүл убакыт аралыгынын аягында (2 с) ишенимдүү башкарылуучу вариациялардын минималдуу деңгээли 3%, 1,5 секундада - 1,0% жана буга чейин 0,5 секундада - 0,2%.

6. Чуу сымал сигналдар менен эксперименталдык электр чалгындоо комплексинде чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу үчүн техника иштелип чыккан. Бул ыкманы колдонуу менен Бишкектин геодинамикалык аймагынын бир катар байкоо пункттары үчүн көрүнүүчү каршылыктын ийри сызыктары - $\rho t(t)$, көрүнүүчү узунунан өткөргүчтүк - $S t(t)$ жана өткөргүч S тегиздигинин өтүү тереңдиги - $h t(t)$ алынган. Чөйрөнүн көрүнгөн каршылыгы боюнча вариациялардын убакыт катарлары курулган.

Алынган натыйжалардын практикалык мааниси. Чуу сымал сигналдар менен электр чалгындоо системаларын математикалык моделдештирүү үчүн иштелип чыккан аспаптар жер кыртышынын активдүү электр чалгындоо системаларында чуу сымал үн сигналдарын колдонуунун өзгөчөлүктөрүн изилдөөгө жана математикалык моделдөөнүн натыйжалары менен лабораториялык жана талаа эксперименттерин салыштырмалуу баалоону жүргүзүүгө мүмкүндүк берди. Иштелип чыккан программалык камсыздоо талааны түзүү ыкмасын колдонуу менен активдүү электр чалгындоо үчүн жабдууларды жана программалык камсыздоону иштеп чыгууда колдонулуучу аппараттык элементтерди жана маалыматтарды иштетүү ыкмаларын алдын ала изилдөө жана моделдөө үчүн кызмат кылат. Бул программалык камсыздоо РИАнын Бишкектеги илимий станциясынын алдыңкы аппараттык иштеп чыгуулар лабораториясында жаңы аппараттык жана программалык камсыздоону иштеп чыгууда ишке киргизилген жана жигердүү колдонулууда (В.В. Бобровскийдин илимий-изилдөө (диссертациялык) иштеринин натыйжаларын 21.12.2021 РАИ ИСнын алдыңкы аппараттык иштеп чыгууларынын жаңы аппараттык жана программалык камсыздоо лабораториясында иштеп чыгуу процессине киргизүү актысы).

Электр геологиялык чалгындоо жабдууларында чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрүн изилдөө чуу сымал сигналдар менен аппараттык-программалык өлчөөчү комплекстин эксперименталдык үлгүсүн иштеп чыгууда жана практикада ишке ашырууда пайдаланылды. ЧССдагы структуралык чууну аныктоо жана андан ары жок кылуу үчүн иштелип чыккан техника чуу сымал сигналдарды колдонуу менен жабдууларды долбоорлоодо сызыктуу эмес касиеттери бар элементтерди колдонуу менен коюлган чектөөлөрдү жеңүүгө мүмкүндүк берет.

Чуу сымал сигналдары менен иштелип чыккан аппараттык-программалык өлчөө комплексин сыноонун алдын ала жыйынтыктары аны Бишкек геодинамикалык полигонунун аймагында иштеген жер кыртышынын активдүү электромагниттик мониторинг системасынын бөлүгү катары колдонуу үчүн негиз түзөт.

Коргоо үчүн берилген диссертациянын негизги жоболору:

1. Өлчөөчү аппаратуранын элементтеринин берилген өтүү мүнөздөмөлөрүнө жана биринчи тартиптеги геочөйрөнүн зонддук таасирге реакциясын интеграциялоочу инерциялык звено түрүндө көрсөтүүгө негизделген чуу сымал зонд сигналдары менен электр чалгындоо системасынын математикалык модели. Чуу сымал сигналдарды колдонуунун артыкчылыгы теориялык жактан далилденген, ал талаанын пайда болушун зонддоо үчүн туруктуу узактыгы бар биполярдык импульстарды колдонууга салыштырмалуу зонд сигналдарынын бирдей энергиялары менен чууну натыйжалуу басууда турат.

2. Чуу сымал сигналдарды колдонуу менен электр чалгындоо жабдууларына ЧССдын структуралык кийлигишүүсүнүн булактары аныкталган. Аларды автоматтык түрдө аныктоо жана жок кылуу ыкмасы сунушталган, ал оптималдуу аныктоо босогосун издөө критерийине негизделген, калган интерференциянын жана чуунун ыктымалдык тыгыздыгынын бөлүштүрүлүшүн нормалдуу мыйзамга жакындаштырууну максималдаштыруу жолу менен.

3. Талаа түзүү ыкмасын колдонуу менен активдүү электр чалгындоодо чуу сымал сигналдарды колдонуунун эффективдүүлүгү боюнча теориялык изилдөөлөрдүн натыйжаларын ырастаган чуу сымал зонддоо сигналдары бар аппараттык-программалык электр чалгындоо комплексинин эксперименталдык үлгүсү.

Изденүүчүнүн жеке салымы. Чуу сымал сигналдар менен электр чалгындоо системасынын математикалык моделин иштеп чыгуу РАИ ИСнын алдыңкы аппараттык иштеп чыгуулар лабораториясынын башчысы Ильичев П.В. менен биргеликте ишке ашырылган, бул жерде автор жооптуу болгон алгоритмдерди иштеп чыгуу жана тестирлөө жана аларды ишке ашыруу үчүн программалык камсыздоону жазуу үчүн, ошондой эле эксперименттин натыйжаларын иштеп чыгууга жана сыпаттоого түздөн-түз катышкан. Электр чалгындоо жабдууларында чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрүн изилдөө жана, атап айтканда, структуралык тоскоолдуктардын булактарын аныктоо боюнча иш автор тарабынан РИА ИСнын алдыңкы аппараттык жабдууларды иштеп чыгуулар лабораториясынын жетекчиси Ильичев П.В. менен биргеликте жүргүзүлгөн. Талаанын ийри сызыгындагы структуралык тоскоолдуктарды аныктоо жана жоюу үчүн алгоритмди жана программалык камсыздоону иштеп чыгуу автор тарабынан жеке жасалган. Чуу сымал иликтөөчү сигналдары бар аппаратуралык-программалык өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсүн иштеп чыгуу келечектүү аппаратуралык иштеп чыгуулар лабораториясынын көмөгү менен аткарылган. Автор ошондой эле өлчөө комплексинин жабдыктарынын санариптик бөлүгүн иштеп чыгууга түздөн-түз катышкан. Автор алынган зонддоо ийри сызыктарынын сапатын баалоо боюнча комплекстүү талаа эксперименттин даярдоого жана өткөрүүгө жеке катышкан. Чуу сымал сигналдар менен эксперименталдык электр чалгындоо комплексинде айлана-чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу методологиясын иштеп чыгуу автордун жетекчилиги астында жана жеке катышуусу менен ишке ашырылган.

Изилдөө натыйжаларын апробациялоо. Диссертациялык иште берилген изилдөөлөрдүн натыйжалары төмөнкү конференцияларда жана симпозиумдарда баяндалган жана талкууланган: VI эл аралык симпозиум. «Интраконтиненталдык орогендердин геодинамикасынын жана геоэкологиясынын көйгөйлөрү» (июнь 2014-ж.), Бишкек; VII эл аралык симпозиум. “Интраконтиненталдык орогендердин геодинамикасынын жана геоэкологиясынын көйгөйлөрү” (июнь 2017-ж.), Бишкек; VIII эл аралык симпозиум. «Интраконтиненталдык орогендердин геодинамикасынын жана геоэкологиясынын көйгөйлөрү» (июнь 2021-ж.), Бишкек; Ю.П. Булашевичти эскерүүгө

арналган он биринчи илимий окуулар. «Жердин терең структурасы, геодинамикасы, жылуулук талаасы, геофизикалык талаалардын интерпретациясы» (Ю.П. Булашевич атындагы геофизика институту, Россия Илимдер академиясынын Урал филиалы, 20-24-сентябрь, 2021-жыл), Екатеринбург; О.Ю. Шмидт атындагы Жер физикасы институту менен бирдикте Москва мамлекеттик университети өткөргөн «Геофизиканын заманбап көйгөйлөрү» семинары; О.Ю. Шмидт атындагы Жер физикасы институту менен биргеликте Бишкектеги Россия илимдер академиясынын Илимий станциясы өткөргөн «Тянь-Шань литосферасынын геологиялык-геофизикалык мониторинги» семинары; «Инженердик сейсмикалык издөө жана сейсмология-2023» V Эл аралык илимий-практикалык конференция (2023-ж. октябрь), Москва;

Диссертациянын басылмаларда толук чагылдырылышы. Диссертациянын темасы боюнча 9 илимий макала жазылып, жарыкка чыкты. Алардын ичинде WOS, SCOPUS, RSCI жана РИНЦ системаларына кирген макалалар бар. Ошондой эле Россия Федерациясынын Мамлекеттик патент кызматынан компьютердик программаны каттоо боюнча 5 күбөлүк алган.

Диссертациянын структурасы жана көлөмү. Диссертация кириш сөздөн, Алты бөлүмдөн, корутундудан, 79 аталыштагы адабияттардын тизмесинен жана эки тиркемеден турат. Негизги мазмуну 199 беттен турат, анда 86 сүрөт, 9 таблица жана 2 тиркеме бар.

ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Киришүү. Теманын актуалдуулугу көрсөтүлгөн, изилдөөнүн максаты жана милдеттери баядалган, корголуучу негизги жоболор аныкталган, изилдөө методдору келтирилген, иштин илимий жаңылыгы, практикалык жана экономикалык баалуулугу аныкталган, ошондой эле изденүүчүнүн жеке салымы белгиленген, басылмалар, жыйынтыктардын апробациясы жана диссертациянын структурасы кыскача баяндалган.

1-бөлүм. Бишкек геодинамикалык полигонунун аймагы үчүн жер кыртышынын түзүлүшүн жана динамикасын изилдөөнүн геофизикалык методдорунун жыйындысы (адабий сереп)

Бишкек геодинамикалык полигонунун (БГП) айырмалоочу өзгөчөлүгү - анын аймагында бири-бирин толуктап турган ар кандай ыкмалар менен жүргүзүлүүчү үзгүлтүксүз режимдик изилдөөлөрдүн комплексинин болушу. Өзгөчө кызыгууну күчөткөн токтому менен активдүү башкарылуучу булагы электр чалгындоо ыкмалары болуп саналат. Бул ыкмалардын бири өткөн кылымда 90-жылдардын башынан бери (Трапезников Ю.А., Брагин В.Д., Ильичев П.В. ж.б.) БГПнын аймагында жер кыртышынын активдүү электромагниттик мониторинг системасында колдонулуп келе жаткан АТЗ ыкмасы болуп саналат.

РИА ИСнын аймагында электр чалгындоо иштеринин активдүү ыкмаларын өркүндөтүү багыттарынын бири болуп, анын мүмкүнчүлүктөрүн АТЗдан тышкары активдүү электр чалгындоонун башка ыкмаларын, атап айтканда, жакын зонада (ЖТЗ) талаанын пайда болушун иликтөө. ЖТЗ методунун АТЗ менен салыштырганда артыкчылыгы булак (индукциялык зонд рамкасы) менен байкоочу чекиттин (сигналдын датчиги) ортосундагы бөлүнүү изилденип жаткан тереңдиктен кыйла аз болушу мүмкүн (Сидоров В.А.). ЖТЗ методунун резолюциясынын жогорулашына байланыштуу бул метод жер кыртышынын түзүлүшүн деталдуу изилдөө үчүн колдонулат. Бул изилдөөнүн негизги максаты Түндүк Тянь-Шандын литосферасындагы заманбап геодинамикалык процесстерди электромагниттик изилдөө үчүн аппараттык-программалык өлчөө комплексин түзүү, аны БГП аймагынын жер кыртышынын активдүү электромагниттик

мониторингинин колдонулуп жаткан системасында колдонуу мүмкүнчүлүгүн түзүү болуп саналат.

2-бөлүм. Методология жана изилдөө ыкмалары

Изилдөөнүн объектиси: сейсмикалык активдүү зоналарда жер кыртышындагы чыңалуу-деформациялык процесстердин өнүгүшүнө геофизикалык мониторинг жүргүзүү системасы.

Изилдөөнүн предмети: башкарылуучу булак менен активдүү электр чалгындоо ыкмаларын колдонуу менен геофизикалык мониторинг системаларын түзүүдө чуу сымал сигналдарды колдонуунун теориялык мүмкүнчүлүктөрүн жана артыкчылыктарын негиздөө. Маселени чечүү процессинде электр чалгындоо жабдууларында чуу сымал сигналдарды колдонуу идеясын практикалык ишке ашырууда алынган натыйжалардын тактыгына, туруктуулугуна жана сапатына таасир этиши мүмкүн болгон чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрүнө көп көңүл бурулду. Моделдөөнүн натыйжаларын практикалык текшерүү үчүн ЖТЗ методу боюнча иштеген чуу сымал сигналдары бар аппараттык-программалык электр чалгындоо комплексинин (ЧСС ЭЧК) эксперименталдык үлгүсү иштелип чыкты.

БГПнын аймагында жер кыртышынын электр түзүлүшүнүн орточо статистикалык кесилиши. Терең геоэлектрдик секциянын өзгөчөлүктөрү жөнүндө ишенимдүү маалымат алуу үчүн табигый жана жасалма тоскоолдуктардын фонунда пайдалуу сигналдарды өлчөөнүн жогорку тактыгы талап кылынат. Бул жагдай энергия булактарын энергия менен камсыздоого жана терең изилдөөлөрдү жүргүзүүдө колдонулуучу өлчөө жабдууларынын сезгичтигине белгилүү талаптарды коёт. Ар бир катмар чексиздикке чейин созулган жана өзүнүн электрдик каршылыгына жана кубаттуулугуна (калыңдыгына) ээ болгон горизонталдуу катмарлуу структура түрүндөгү зонддук чөйрөнүн (жер кыртышынын) модели өлчөө жабдуусунун зарыл болгон сезгичтигин болжолдуу баалоо үчүн модели катары тандалган. Баалоо параметри катары БГП аймагындагы жер кыртышынын электр түзүлүшүнүн орточо статистикалык кесилишине туура келген эквиваленттүү бир тектүү катмардын электрдик каршылыгынын мааниси аныкталган. 2.1-таблицада БГПнын аймагындагы 22 чекитте жер кыртышын мурда жүргүзүлгөн зонддоолордун (ЧЗ жана ЖТЗ методдору боюнча) маалыматтарынан алынган жер кыртышынын электр түзүлүшүнүн орточо статистикалык кесиминин параметрлери көрсөтүлгөн.

2.1 Таблица - БГПнын аймагында жер кыртышынын электр түзүлүшүнүн орточо статистикалык бөлүмү

Катмардын №, i	Тереңдик, м	Катмардын кубаттуулугу (h_i), м	Катмардын электр каршылыгынын өзгөрүү диапазону, Ом·м	Катмардын орточо электр каршылыгы (ρ_i), Ом·м
1	0–300	300	10–300	145
2	300–3000	2700	1000–3000	2000
3	3000–12000	9000	40–120	80
4	12000–25000	13000	1000–3000	2000

Эквиваленттүүлүк эрежеси боюнча, көп катмарлуу горизонталдуу катмарлуу чөйрөнүн параметрлерин эквиваленттүү бир тектүү катмардын параметрлери менен байланыштырган туюнтманы жазсак болот:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{h_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \rho_i} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (2.2)$$

2.1-таблицада келтирилген маалыматтарды формулага (2.2) алмаштыруу менен жер кыртышынын эквиваленттүү бир тектүү катмарынын электр каршылыгынын орточо статистикалык маанисин БГП үчүн эсептейбиз:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{25000}{\frac{300}{145} + \frac{2700}{2000} + \frac{9000}{80} + \frac{13000}{2000}} = 204 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

БГПнын жалпыланган геоэлектрдик участогу үчүн GSB ыкмасына карата талаа пайда болуу сигналдарынын деңгээлин баалоо. ЖТЗ ыкмасына карата талаа түзүү сигналдарынын деңгээлдерин баалоо үчүн коаксиалдык циклдер менен орнотуу алынган. Алгачкы талаанын булагы катары аянты $Q = 2500 \text{ м}^2$ барабар болгон чарчы рамка алынган. Индукция булагынын жакын зонасында электрдик каршылыгы ρ бир тектүү жарым мейкиндиктин бетинде жайгашкан кабыл алуучу кадрдагы ЭДСтин чоңдугу төмөнкү туюнтма менен аныкталат:

$$|\Delta U_{Bz}| = \frac{\mu_0 q Q I \left(\frac{\mu_0}{\rho}\right)^{\frac{3}{2}}}{10\pi^2 t^{\frac{5}{2}}}, \quad (2.3)$$

мында $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – вакуумдун магниттик туруктуулугу (өткөрүү жөндөмдүүлүгү); q – кабыл алуучу рамканын аянты (датчиктин өлчөө катушкасынын эквиваленттүү аянты); Q – зонд рамкасынын аянты; I – зонд рамкасындагы ток импульстарынын амплитудасы; ρ – чөйрөнүн (жер кыртышынын) электрдик каршылыгы; t – зондук рамкага ток күчөгөн учурдан тартып эсептелген учурдагы убакыт.

Башкарылуучу тереңдиктер үчүн өлчөнгөн (кабыл алынган) талаанын пайда болуу сигналынын диапозону минималдуу жана максималдуу зонд тереңдиктерине туура келген талаа пайда болуу убакыттары үчүн сенсордун кабыл алуучу катушкасындагы максималдуу жана минималдуу ЭДС маанилеринин катышы катары аныкталат.

(2.3) формула боюнча ЭДСди аныктоо үчүн чөйрөнүн салыштырма электр каршылыгынын маанисин ρ жана t талаасынын пайда болушун жазуу убактысын билүү керек. Берилген эффективдүү зонд тереңдигине - $z_{\Sigma\phi}$ ке туура келген талаанын пайда болушун эсепке алуу убактысын төмөнкүчө жазууга болот:

$$t \approx \left(\frac{z_{\Sigma\phi}}{0.71\sqrt{\rho}} \right). \quad (2.6)$$

(2.3) жана (2.6) формулаларды колдонуу менен жүргүзүлгөн эсептик эсептөөлөр көрсөткөндөй, 100 мден 10 кмге чейинки тереңдиктин диапозону үчүн маалыматтардан алынган эквиваленттүү бир тектүү катмардын орточо электр каршылыгын (204 Ом.м) эсепке алуу менен Бишкек геодинамикалык полигонунун аймагындагы жер кыртышынын электр түзүлүшүнүн орточо участогун, жазылган сигналдардын динамикалык диапозону 200 дБ кем эмес болушу керек.

3-бөлүм. Талаа пайда болушунун электромагниттик зонддоодо чуу сымал сигналдарды колдонуунун теориялык негиздемеси

Импульстук электр чалгындоодо чуу сымал сигналдарды колдонуунун зарыл шарттары. Активдүү электромагниттик сезгич системаларда ЧССды колдонуу сызыктуу системалар үчүн жарактуу туюнтмаларга негизделиши мүмкүн:

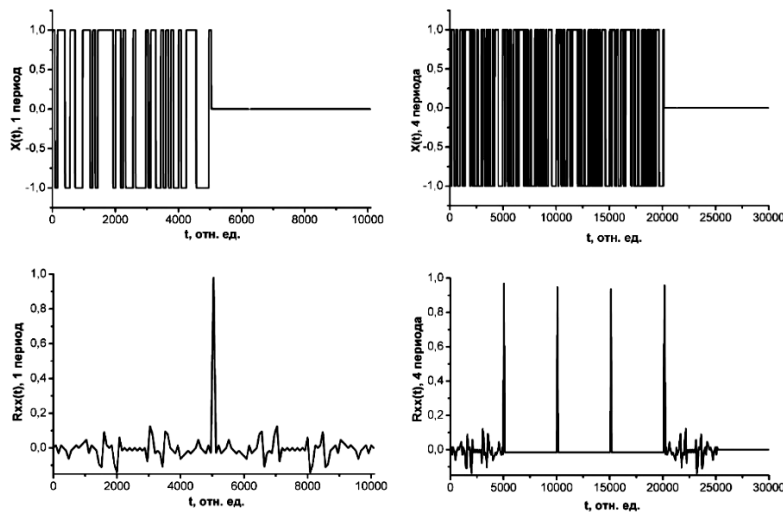
$$Y(t) = X(t) \otimes g(t) \quad (3.1)$$

$$R_{XY}(t) = R_{XX}(t) \otimes g(t), \quad (3.2)$$

мында, \otimes белгиси айланууну билдирет; $R_{XX}(t)$ – кириш чуу сымал сигналынын $X(t)$ автокорреляциялык функциясы (АКФ); $g(t)$ – системанын (жер кыртышынын) импульстук убактылуу мүнөздөмөсү (ИУМ); $R_{XY}(t)$ – кириш (зонддоо) $X(t)$ жана кабыл алынган $Y(t)$ сигналдарынын ортосундагы кайчылаш-корреляция функциясы (ККФ).

Геоэлектрикада чуу сымал сигналдарды колдонуунун алгылыктуу шарттары сызыктуу система (Жер) аркылуу өткөн генерацияланган дискреттүү ЧСС ырааттуулугунун ар бир импульсу жер кыртышынын импульстук өтмө реакциясы менен физикалык жактан айкалышкандыгына негизделген. Натыйжада байкоо пунктунда өлчөнгөн импульстардын ырааттуулугу түзүлөт. Биздин милдет – өлчөнгөн ырааттуулуктун импульстарында бөлүштүрүлгөн системанын импульстук өтмө жообун табуу.

ЧССти туура тандоо менен анын АКФ Дирактын δ -функциясына жакындашына жетишүүгө болот (3.3- сүрөт, төмөндө). Бул учурда корреляциялык кабылдагычтын чыгышындагы ККФ геочөйрөнүн каалаган ИУМуна жакындайт. ЧСС катары биполярдык тик бурчтуу импульстардын ырааттуулугу болуп саналган бинардык М-ырааттуулугу (максималдуу узундуктагы псевдо-кокус ырааттуулуктар - МП) тандалды.



3.3 Сүрөт. Чуу сымал сигналдардын АКФ формасынын алардын мезгил-мезгили менен кайталанышы учурунда өзгөрүшү (автор тарабынан аткарылган)

Бир МПнын АКФ негизги (башкы) желекчелеринен тышкары, кошумча каптал эмиссияларына ээ (3.3-сүрөт солдо). Бул четөөлөр импульстук электр чалгындоодо бирдиктүү МПнын корреляциялык иштетүүсүн колдонууну чектейт.

Бирок мезгил-мезгили менен кайталанып турган МП АКФ жана ККФ боюнча каптал эмиссияларга ээ эмес (3.3-сүрөт, ондо). Алардын АКФ формасы боюнча Дирак δ -функциясына жакын. Мындан тышкары, корреляциялык процесстен кийин мезгилдүү ККФ сигналдарынын андан ары топтолушу мүмкүн, биринчи жана акыркы М-ырааттуулугунан алынган сигналдарды кошпогондо, бул кабыл алуучу тарапта сигналчуу катышынын кошумча өсүшүн камсыз кылат. Чындыгында, детерминисттик сигналдардын кадимки топтолушу менен жетишилген артыкчылыктардан тышкары, ЧССтин корреляциялык процессин колдонуунун натыйжасында алынган олуттуу артыкчылыктар да бар.

Чуу сымал зонд сигналдары менен электр чалгындоо системасынын математикалык модели. Изилдөөнүн алкагында ЧССти жана салттуу электр чалгындоо

системасын колдонуу менен электр чалгындоо системасын математикалык моделдөө жүргүзүлдү, мында талаанын пайда болушун изилдөө үчүн импульстун туруктуу узактыгы бар биполярдык импульстук ырааттуулуктар колдонулат. Моделдөөнүн негизги милдеттери:

- 1) ЧССТИ колдонууда ККФнын айлана-чөйрөнүн ИУМга жакындыгын изилдөө.
- 2) Жер кыртышынын активдүү электромагниттик сезгич системаларында сигналдарды генерациялоонун жана иштетүүнүн салттуу ыкмаларына салыштырмалуу чуу сымал сигналдарды дүүлүктүрүү жана корреляциялык иштетүүдө чуунун азайышын баалоо.

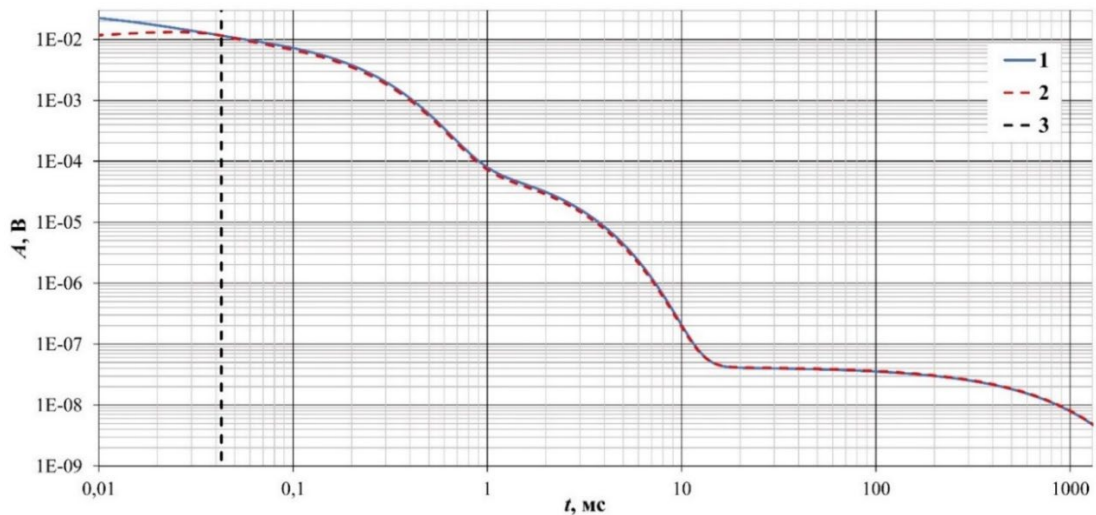
Чөйрөнүн модели өткөрүү коэффициенти жана убакыт туруктуулугу сыяктуу туруктуу (коюлган) параметрлери бар биринчи тартиптеги интегралдык инерциялык звено түрүндө берилген. Сигналдын сызыктуу эмес трансформациясы менен аныкталган сандык методдорго мүнөздүү болгон эсептөө катасын азайтуу үчүн орто жооп модели үчүн аналитикалык туюнтманы алуу зарыл. М-ырааттуулуктун импульстары ар кандай узактыкка ээ болгондуктан, чөйрөнүн жооп сигналын мурунку импульстун аягына эсептелген сигналдын маанилери менен аныкталуучу баштапкы шарттарда М-ырааттуулуктун ар бир кийинки импульсун берүүгө интегративдүү инерциялык звенонун жоопторунун ырааттуулугу түрүндө көрсөтүүгө болот. Кадимки электрдик чалгындоо системаларынын мүнөздөмөлөрүн ЧССТИ пайдалануу системасынын мүнөздөмөлөрү менен салыштыруу үчүн математикалык моделдин түзүмүнө Түндүк Тянь-Шань районунда жүргүзүлгөн изилдөөлөр үчүн мүнөздүү болгон ар кандай тоскоолдуктардын жана ызы-чуулардын моделдери киргизилген.

Симуляция натыйжалары. Бир тектүү жарым мейкиндикти (бир интегралдоочу инерциялык шилтеме) жана горизонталдуу катмарлуу чөйрөнү (төрт параллелдүү туташтырылган инерциялык интегралдык шилтемелер) болжол менен окшоштурган чөйрөнүн моделдери үчүн ККФтин чөйрөнүн ИУМга жакындыгын баалоо жүргүзүлгөн. биринчи иретте, сигналдар жалпы кошулуучуга берилет). Жогорудагы моделдер үчүн ККФден чөйрөнүн ИУМун реконструкциялоонун натыйжасы дискреттүү эсептелген ККФ МП минималдуу импульстун узактыгынан көп эседен баштап ИУМга жакын экендигин көрсөттү. Калыбына келтирүү мисалы 3.10-сүрөттө көрсөтүлгөн.

Сигналдарды топтоонун стандарттык методдору менен салыштырганда ЧССТИ колдонууда чууну басуунун эффективдүүлүгүн баалоо үчүн чуунун модели катары нормалдуу бөлүштүрүү мыйзамы менен чуу каралды, анын жыштык спектри өлчөө каналынын өткөрүү жөндөмдүүлүгү менен чектелген. Үлгү каналдарындагы зонд сигналдарынын туруктуу энергиясын камсыз кылуу үчүн МПнын узундугуна карабастан, МП жана МП импульстарынын узактыгынын болжолдуу туруктуулугу камсыз кылынды. нормалдуу жана ак чуу үчүн корреляциялык каналдагы чууну басандатуу коэффициентинин ($K_{ПК}$) стандарттык иштетүү каналындагы ($K_{ПТ}$) тиешелүү коэффициентине катышы аркылуу эсептелген пайда (PG), төмөнкү туюнтма менен теориялык жактан аныкталат:

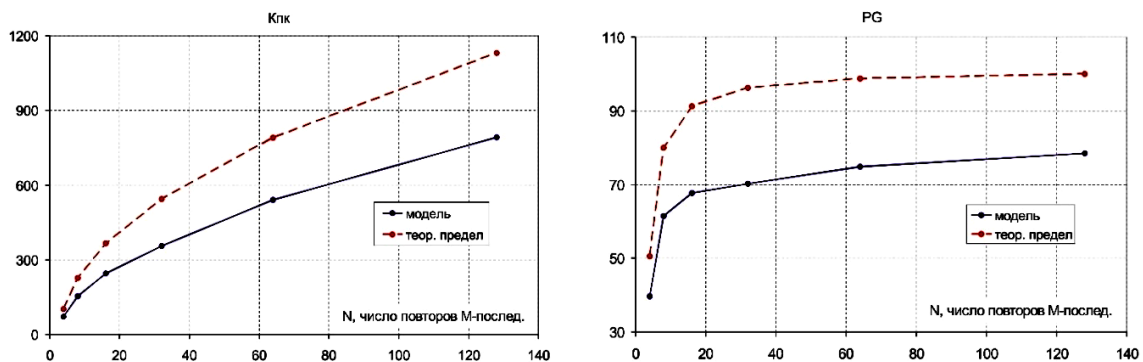
$$PG = \frac{K_{ПК}}{K_{ПТ}} = \sqrt{\frac{L_M(N-2)}{N}}, \quad (3.12)$$

мында $L_M = (2^n - 1) \cdot T_{min}$ – МП узактыгы, n – МП бит тереңдиги, T_{min} – салыштырмалуу бирдиктердеги МП циклинин узактыгы (минималдуу импульстун узактыгы), N – МП топтолуштарынын саны.



3.10 Сүрөт. ИУМ үчүн логарифмдик шкалада түзүлгөн ИУМ жана ККФ графиктери, ар түрдүү убакыт турактуулуктары менен биринчи тартиптеги төрт интегралдык байланыштын суммасы катары берилген (автор тарабынан аткарылган)
 1 – ИУМ графиги; 2 – ККФ графиги; 3 – M ырааттуулугунун минималдуу импульсунун узактыгын белгилөөчү сызык.

3.12-сүрөттө КПК иштетүүнүн корреляциялык каналындагы чууну басаңдатуу коэффициентинин көз карандылыгы жана стандартка карата бул каналдагы чууну басаңдатуу PG жогорулашы көрсөтүлгөн. Корреляцияны иштетүү каналында чууну басаңдатуудагы пайда стандарттууга салыштырмалуу теориялыкка караганда бир аз (болжол менен 20%) аз. Бул симуляциянын жүрүшүндө чуу катары өлчөө каналынын өткөрүү жөндөмдүүлүгү менен аныкталган чектелген жыштык спектри менен реалдуу шарттарга жакын чуу модели колдонулгандыгы менен түшүндүрүлөт.

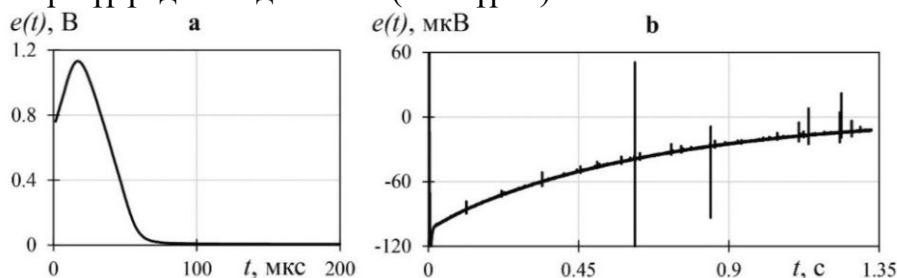


3.12 Сүрөт. КПК корреляциялык каналындагы чууну басаңдатуу коэффициентинин жана 10 тактык узактыгы менен 1023 узундуктагы M-ырааттуулугунун кайталануу санына стандарттык PG менен салыштырганда корреляциялык каналдагы чуунун басынтуу коэффициентинин көз карандылыгы. Кызыл чекит сызык – теориялык көз карандылык

3.12-сүрөттүн негизинде, бардык башка нерселер бирдей болгондо (зонд сигналдарынын энергияларынын теңдиги) чыгууда алынган чууну басууда олуттуу пайдага (ондогон же андан көп эсе) жетүүгө болот деп айтууга болот. ЧСС менен системанын стандарттык системаларга салыштырганда, ал тургай M-ырааттуулугунун анча чоң эмес узундугу менен.

4-бөлүм. Импульстук электр чалгындоодо чуу сымал сигналдарды колдонуунун өзгөчөлүктөрү

ЧСС ЭЧКнин менен эксперименталдык иштерди жүргүзүү процессинде талааларды иштетүү ийри сызыктарын алууда узак мөөнөттүү аймакта ЧССтин структуралык чуусу кыска импульстар түрүндө пайда болот (4.1-сүрөт).



4.1 Сүрөт. "Чункурчак" эксперименталдык чекитинде алынган талаанын калыптануу ийри сызыгы: а) кичине калыптануу мезгилинде, б) чоң калыптануу мезгилинде

Алардын формасы жана калыптандыруу ийри сызыгындагы убактылуу абалы зонддун жана кабыл алынган чуу сымал сигналдардын параметрлери жана структурасы менен байланышкан, ошондуктан алар ушундай аталышты алышкан. Талаа пайда болушунун узак мезгилдеринде ЧССтин структуралык интерференция импульстарынын амплитудасы талаанын пайда болуу сигналынын деңгээлине шайкеш келет жана ал тургай андан бир кыйла ашып кетиши мүмкүн (4.1b-сүрөт). Белгилүү стандарттуу санариптик сигналды иштетүү процедураларын колдонуу (мисалы, жыштык чыпкалоо аркылуу) пайдалуу талаа пайда сигналынын формасын бурмалоосуз бул интерференцияны басуу мүмкүн эмес.

Атайын иштелип чыккан математикалык моделдерди колдонуу менен ЧССте түзүмдүк чуунун төмөндөгү болжолдонгон физикалык булактары изилденген:

АЦПнын структуралык чуусу пайда болуу булагы катары ЧСС сигналдарын тандоо процесси: ЧССдын структуралык кийлигишүүсүнүн деңгээли туруктуу жана колдонулган АЦПнын биттик кубаттуулугуна гана көз каранды. Сандык жактан алганда, сигналды тандап алуу менен шартталган ЧССтеги структуралык чуунун деңгээли болжол менен ЧССтин эң аз маанилүү цифрасынын (үлгүлөрүнүн) салмагынан кичине чоңдук тартибин түзөт. Демек, бул интерференциянын деңгээлин төмөндөтүү ЧСС ЭЧКтин өлчөө каналында колдонулган АЦПнын разряддык кубаттуулугун жогорулатуу аркылуу ишке ашат.

ЧССдын структуралык кийлигишүүсүнүн пайда болушунун булагы катары кирүүчү санариптик сигналдар: симуляциянын натыйжалары өлчөө жолуна кирген санариптик сигналдар структуралык тоскоолдуктардын пайда болушунун себептеринин бири экенин көрсөттү. Бул учурда, структуралык кийлигишүү деңгээл алдыда узактыгы жана санариптик сигналдардын төмөндөшү ортосунда көбүрөөк айырма бар жана мителик РС-чынжыры туруктуу убакыт өсүшү менен көбөйөт.

Өлчөө тутумунда сигнал берүүнүн жана конвертациялоонун мүнөздөмөлөрүнүн сызыктуу эместиги ЧССдын структуралык кийлигишүүсүнүн булагы катары: Изилдөөлөр өлчөө жолундагы ар кандай статикалык сызыктуу эместиктер кең тилкелүү системада структуралык чуунун пайда болушунун себеби болуп саналаарын көрсөттү. Структуралык чуунун амплитудасы менен өлчөнгөн сигналдын амплитудасынын ортосунда функционалдык (сызыктууга жакын) байланыш аныкталган. Мына ушундан кийин, жердин импульстук өткөөл реакциясынын графигинин каалаган чекитинин

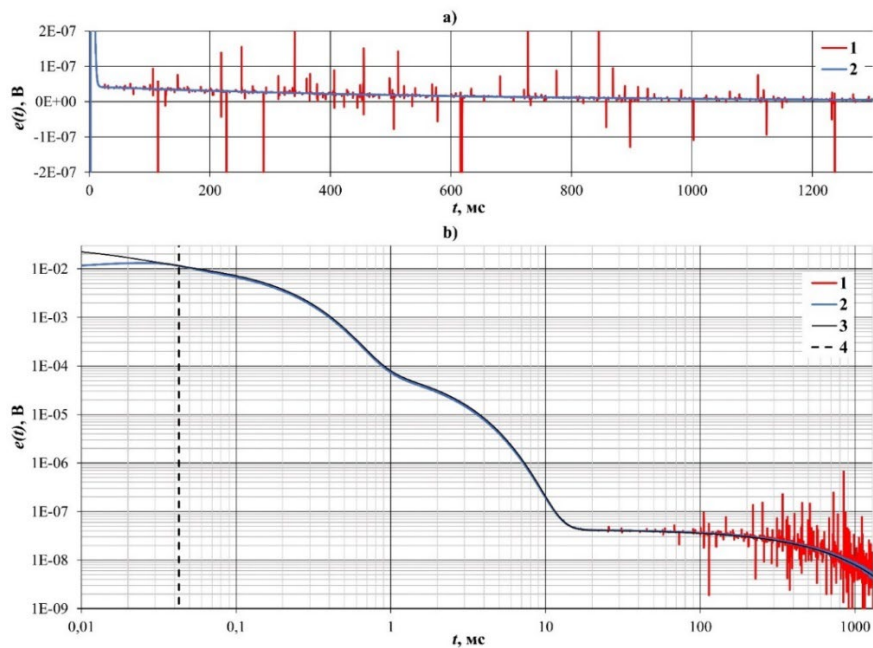
өзгөрүшү өлчөөчү аппаратуранын туруктуу параметрлери менен изилденип жаткан булактын (жердин) параметрлеринин өзгөрүшүнө гана көз каранды болот.

Талаанын пайда болуу ийри сызыгына ЧССтин структуралык кийлигишүүсүнүн деңгээлин төмөндөтүү ыкмасы. ЧССтеги структуралык чуунун деңгээлин төмөндөтүү үчүн талаанын пайда болуу ийри сызыгында аларды аныктоо жана андан ары жок кылуу ыкмасы иштелип чыккан. Ыкмасы белгиленген мөөнөттөгү жылма терезеде эсептелген сигнал энергиясынын белгиленген чектен ашуусун издөө болуп саналат. Бул бирдикке жакын сигналдын чуу катышы төмөн болсо да, кең тилкелүү чуунун фонунда импульстук сигналдарды туура аныктоонун жогорку ыктымалдуулугун (0,9дан ашык) камсыз кылат. ЧССтин структуралык кийлигишүүсүн аныктоо анын жай өзгөрүүчү (төмөн жыштыктагы) компонентин талаа түзүүчү ийри сызыгынан алып салуу менен алынган айырма ийри сызыгында жүргүзүлөт. ЧССтин структуралык чуусу ошол эле жерлерде кала берет жана талаанын пайда болуу ийри сызыгы үчүн туруктуу босогодо аныкталышы мүмкүн. Босогоду аныктоонун сандык критерийи катары Пирсон корреляция коэффициенти (r_{fHf}) эсептелген ыктымалдык тыгыздыгынын бөлүштүрүлүшү менен ЧССтин түзүмдүк чуусу алынып салынган талаа түзүү сигналы үчүн нормалдуу бөлүштүрүү функциясынын ортосунда эсептелген:

$$r_{fHf} = \frac{\sum_{i=1}^n (f_{H_i} - \overline{f_{H_i}})(f_i - \overline{f_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (f_{H_i} - \overline{f_{H_i}})^2 \sum_{i=1}^n (f_i - \overline{f_i})^2}}$$

мында f_H жана f - тиешелүүлүгүнө жараша нормалдуу бөлүштүрүү жана сигнал үчүн ыктымалдык тыгыздык үлгүлөрү; $\overline{f_H}$ жана \overline{f} – үлгү каражаттары; n – үлгүдөгү маанилердин саны. Издөө босогосун издөө издөөнүн тактыгын аныктоочу берилген кадам менен ашыкча баалангандан азыраак бааланганга чейин аныктоо босогосунун маанилери аркылуу издөө жолу менен эсептелген корреляция коэффициентинин максималдуу маанисин издөөгө туура келет. Бул критерийди колдонуу мындай тоскоолдуктарды жок кылуу процессин толугу менен автоматташтырууга жана ошону менен талаа шарттарында маалыматтарды иштеп чыгуунун ылдамдыгын жогорулатууга мүмкүндүк берет. Талаанын пайда болуу ири сызыгынан табылган структуралык интерференционный импульс дарын жок кылуу процедурасы структуралык интерференция менен сигнал участогунун сызыктуу жакындашуусуна алып келет. Импульстары бар сигналдын өчүрүлгөн бөлүмдөрүнүн узактыгы алардын ортосундагы убакыт интервалдарынын узактыгынан кыйла аз болгондуктан, аларды түз сызык менен алмаштыруу талаанын пайда болуу ийри сызыгынын формасына иш жүзүндө эч кандай таасир этпейт. 4.10-сүрөттө структуралык чуудан тазаланган түпнуска ККФ көрсөтүлгөн.

ККФнын структуралык тоскоолдуктарды жоюунун натыйжасында, талааны иштетүү ийри сызыгындагы интерференциянын деңгээли калган интерференциянын чокудан чокусуна чейинки диапазонду катары эсептелген, аларды жоюу үчүн өнүгүү ийри сызыгына структуралык кийлигишүү (чокудан чокуга чейин) деңгээлине салыштырганда болжол менен 930 эсеге (59 дБ) азайган.



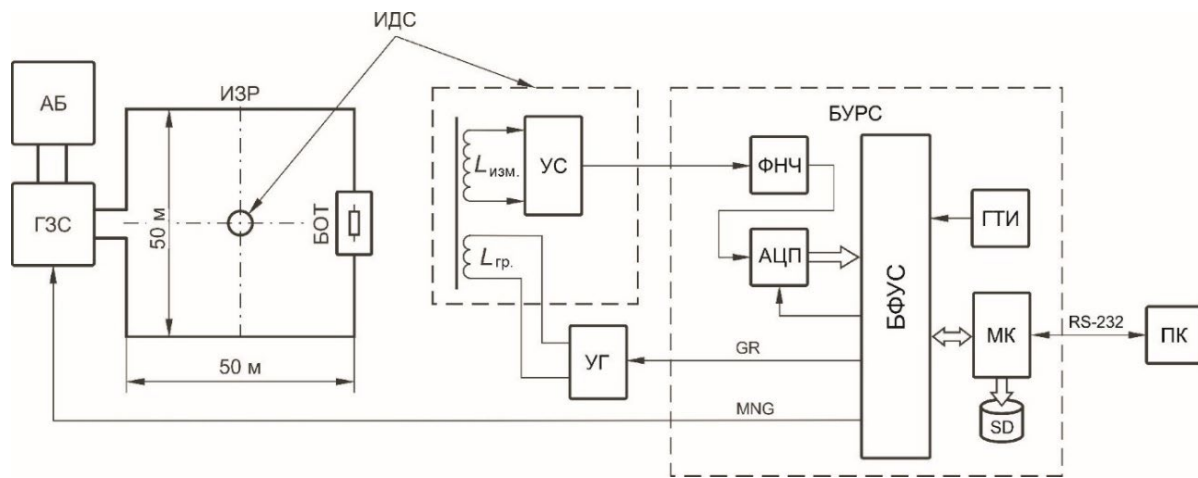
4.10 Сүрөт. Горизонталдуу катмарлуу чөйрөнү симуляциялоочу жөнөкөйлөштүрүлгөн модел үчүн алынган ККФ: а- огу боюнча сызыктуу масштабда; б- огу боюнча логарифмдик шкала боюнча ККФ жана ИУМ (автор тарабынан аткарылган)
 1 – ЧССнын структуралык кийлигишүүсү менен татаалданган ККФ графиги; 2 – ЧССтин түзүмдүк чуусу алынгандан кийинки ККФ графиги; 3 - ИУМ графиги; 4 – М ырааттуулугунун минималдуу импульсунун узактыгын белгилөөчү сызык.

5-бөлүм. Чуу сымал сигналдардын негизинде эксперименталдык аппараттык-программалык өлчөө комплексин түзүү

Теориялык изилдөөлөрдүн натыйжалары боюнча чуу сымал сигналдары бар кең тилкелүү өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсү, ЭЧК ЧСС иштелип чыккан. 5.1-сүрөттө ЭЧК ЧСС өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсүнүн көрүнүшү көрсөтүлгөн. 5.2-сүрөттө өлчөө комплексинин структуралык-функционалдык схемасы көрсөтүлгөн. Өлчөө комплексинин техникалык параметрлери 5.1-таблицада келтирилген.



5.1 Сүрөт. ЭЧК ЧСС өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсү, сырткы көрүнүшү:
 1 – индукциялык зонд рамкасы (ИЗД); 2 – индуктивдүү сигналдын датчиги (ИСД); 3 – зонд сигналынын генератору (ЗСГ); 4 – градуировкалоочу түзүлүш (ГТ); 5 – башкаруу-сигнал жазуу блогу (БСЖБ); 6 – ноутбук компьютер (НК); 7 - токту чектөө блогу (ТЧБ) (автор тарабынан аткарылган)



5.2 Сүрөт. Чуу сымал сигналдары бар электр чалгындоочу ченөө комплекси, структуралык жана функционалдык схема: ИЗР – индукциялык зонддук рамка; БОТ – токту чектөө бирдиги; ГЗС – зонд сигналынын генератору; АБ – кубаттуу аккумулятордук батарея; ИДС – индуктивдүү сигнал датчиги; УС – сигнал күчөткүч; УГ – грауидирлөөчү түзүлүш; БУРС – башкаруу жана сигналдарды жазуу блогу; АЦП – аналогдук-санариптик өзгөрткүч, ГТИ – тактык импульс генератору; ФНЧ – төмөнкү жыштык чыпкасы; БФУС – башкаруу сигналдарын түзүү үчүн блок; МК – микроконтроллер; SD – эстутум картасы; ПК – ноутбук компьютер; $L_{изм.}$ – ИДС өлчөө катушкасы, $L_{гр.}$ – ИДС грауидирлөө катушкасы; GR – УГ ишин контролдоочу сигналдар; MNG – ГЗС ишин контролдоочу сигналдар; RS-232 – сериялык интерфейс.

5.1 Таблица - ЭЧК ЧССтин техникалык параметрлери

Параметр	Өлчөө Бирдиги	Мааниси	Эскертүү
Кабыл алуу жана өлчөө каналы			
Өткөрүү тилкеси	Гц	0.42÷32000	
ИДС өзгөрткүч коэффициенти	мВ/нТ	75±5	
ИДС убакыт константасы	с	0.65	
Жазылган сигналдардын динамикалык диапозону, кем эмес	дБ	180	
АЦП разряддуулугу	бит	18–24	
Сигналдарды дискретизациялоо жыштыгы	кГц	10.0–1638.4	
Жалгыз чуу сымал м-ырааттуулуктун узактыгы	с	0.01–5.12	
М-ырааттуулуктун разряддуулугу	бит	11–24	
Зондирующая установка			
ИЗР эни	м	50×50...200×200	
ИЗР Индуктивдүүлүгү	мГн	0.4–1.6	
ИЗР активдүү каршылыгы	Ом	2–8	
Кубаттуу аккумулятордук батареянын чыңалуусу, $U_{АБ}$	В	12–250	
БОТ, $R_{БОТ}$ активдүү каршылыгы	Ом	25–200	
ИЗРдеги токтун импульстарынын амплитудасы	А	1.0–10.0	$R_{БОТ}$ жана $U_{АБ}$ көз каранды
ток импульстарынын минималдуу узактыгы	мкс	20	
Зонддоо алкагындагы ток импульстарынын фронтунун жана кесиминин узактыгы	мкс	12	$R_{БОТ}=100$ Омдо

Сунушталган сезүү методунун стандарттуу ыкмасынан айырмалоочу өзгөчөлүгү чуу сымал зонддоо сигналдарын кеңири спектрди колдонууда жана кабыл алуучу кадрда ЭДС - $e(t)$ өлчөөдө, салттуу ыкмадагыдай эле, корреляциялык кайра иштетүүдөн кийин жазылган сигналдар ЭДСтин өзгөрүү ылдамдыгына пропорционалдуу сигналды же магнит агымынын $\Phi'(t) = e'(t)$ экинчи туундусун алабыз, анткени кең спектрдеги чуу сымал сигналдарды корреляциялык иштетүү дифференциацияга сигнал берүү. Демек, жазылган сигналдардын сенсору интегралдык типте болушу жана анын чыгышында $\Phi(t)$ магнит агымына пропорционалдуу сигнал берүүсү максатка ылайык:

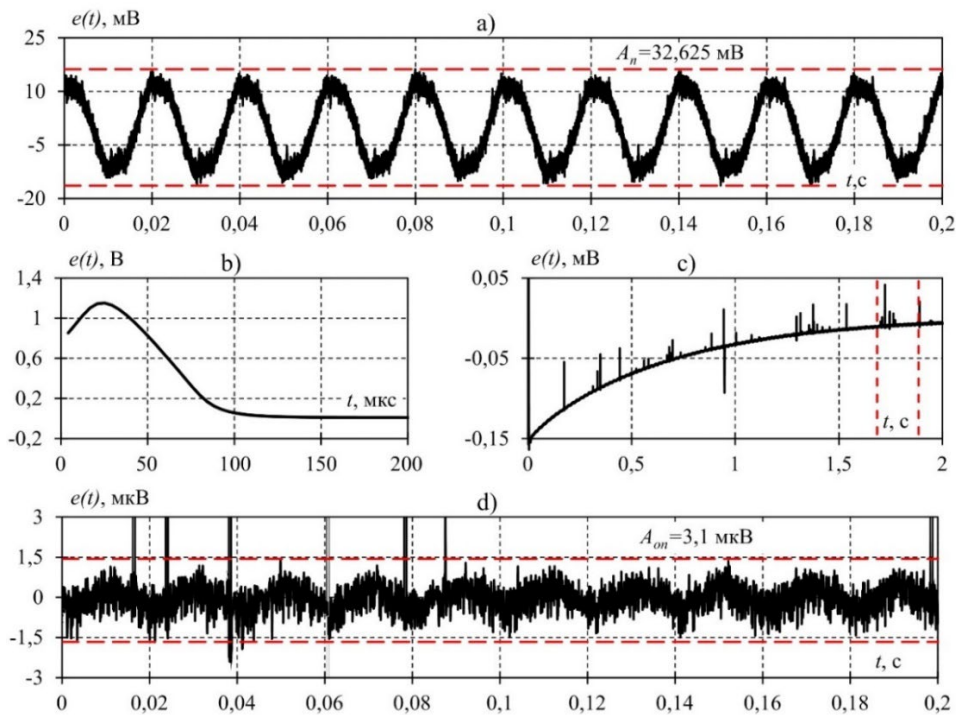
$$\Phi(t) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot Q \cdot q}{30} \cdot \left(\frac{\mu_0}{\rho \cdot \pi} \right)^{3/2} \cdot t^{-3/2}. \quad (5.1)$$

Кабыл алуучу тарапта жазылган сигналды андан ары корреляциялык иштетүү зонддоо М ырааттуулугунун минималдуу импульсунун узактыгына барабар убакыттан баштап ЭДС жакындай турган ийри сызыкты алууга мүмкүндүк берет. Бул максатта атайын иштелип чыккан интеграциялык типтеги индукциялык датчик ЭЧК ЧССке киргизилген.

ЭЧК ЧСС программалык камсыздоосу үч программаны камтыйт: *BBS_Registrator_ADD* - БУРС иштөө режимдерин башкаруу үчүн иштелип чыккан, ЭЧК ЧСС өлчөө каналынын ADC чыгышынан келген маалыматтарды каттоону жана сактоону камсыз кылат. *BBS_Terminal_ADD* - сигналдарды каттоонун режимдерин жана параметрлерин башкаруу процессин автоматташтыруу үчүн арналган. *BBS_ViewerM_NR* - тышкы компьютерде моделдин, лабораториянын жана талаа эксперименттеринин маалыматтарын иштетүү үчүн арналган. Иштелип чыккан маалыматтар каттоо процессинде ЭРК ЧССтин өлчөө каналынын чыгышынан алынган маалыматтар да, программалык камсыздоо менен түзүлгөн маалыматтар да болушу мүмкүн.

Талаа сыноолорунун жыйынтыгы. Чууну жана структуралык кийлигишүүнү басууда теориялык жетишкендиктерди ырастоо үчүн бир катар лабораториялык жана талаа эксперименттери өткөрүлдү. 5.9-b, c-сүрөттө корреляциялык процесстин жана жазылган сигналдын кийинки синхрондук топтолушу (200 топтолуу) натыйжасында алынган кичинекей жана чоң убакыттын аймагындагы талаа түзүүчү сигналдын бөлүмдөрү көрсөтүлгөн. Талаа эволюциясынын ийри сызыгы түзүмдүк интерференцияны гана эмес (5.9c-сүрөт), ошондой эле өндүрүштүк өзгөрмө токтун электр тармагынан калган тоналдык интерференцияны, ошондой эле спектралдык компоненттери өлчөө каналынын өткөрүү тилкесинде турган табигый жана жасалма келип чыккан башка чууларды жана интерференцияларды көрсөтөт (5.9d-сүрөт).

Корреляциялык процесстен жана андан кийинки синхрондук топтолгондон кийин калдык чуунун жана интерференциянын деңгээли (структуралык тоскоолдуктарды кошпогондо) болжол менен 10 524 эсеге (80 дБ) азайган. Талаа маалыматтарын иштетүүдө структуралык тоскоолдуктарды алып салуунун натыйжасында, чокудан чокуга чейин калган интерференциянын диапозону катары эсептелген талаа ийри сызыгындагы интерференциянын деңгээли, алар алынып салынганга чейин, структуралык интерференциянын деңгээлине (чокудан чокуга чейин) салыштырмалуу 450 эсе (53 дБ) төмөндөдү. Ошентип, бүтүндөй математикалык моделдерден алынган натыйжалар ырасталды.



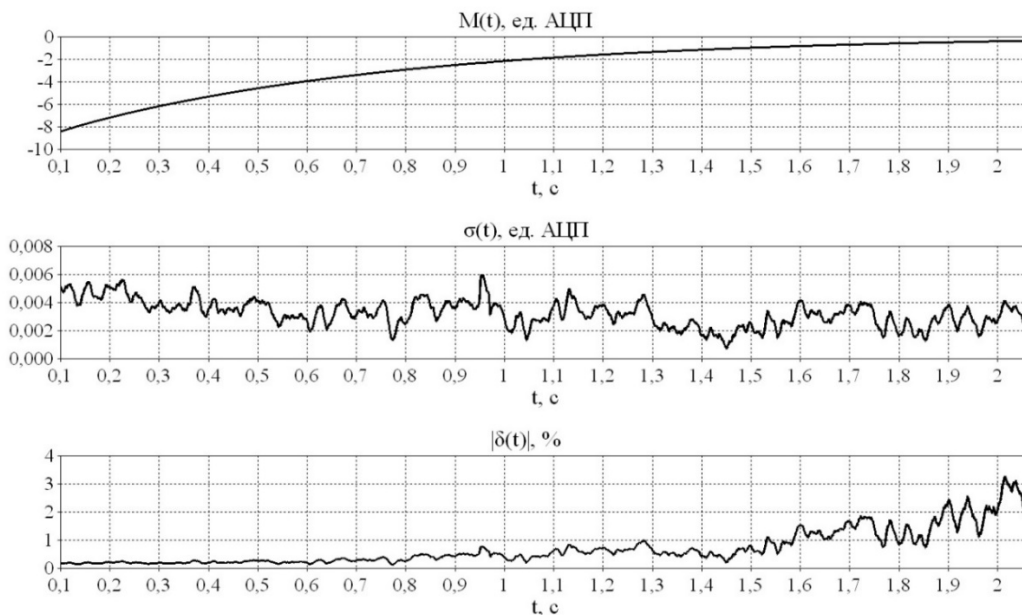
5.9 Сүрөт. “МГД” чекитинде жазылган сигналдардын мисалы: чууну жазуу – а); кичинекей - б) жана чоң - с) убакыттын аймагында талаа пайда болуу сигналы; төмөнкү жыштык компоненти алынып салынган узак убакыттын аймагындагы талаа түзүү сигналынын бөлүмү - d) (автор тарабынан аткарылган)

6-бөлүм. Түндүк Тянь-Шандын аймагындагы бир катар обсервация пункттары үчүн ЭЧК ЧССтин түзүлгөн үлгүсүн практикалык сыноонун натыйжалары

Зонддоо ийри сызыктарын эсептөөдөгү салыштырмалуу катаны баалоо үчүн РИА ИСнын аймагына жакын жайгашкан “МГД” чекитинде жер кыртышын үндөө боюнча атайын комплекстүү талаа эксперименти өткөрүлдү. Эксперимент 12 саатка созулду. 6.3-сүрөттө алынган зонддоо ийри сызыктарынын тактыгын сандык жактан баалоо үчүн күтүлгөн $M(t)$ чоңдуктун (орточо зонддоо ийри сызыгынын), стандарттык четтөө $\sigma(t)$ жана $\delta(t)$ зонддоо ийри сызыгынын салыштырмалуу катасынын көз карандылыктарынын графиктери түзүлдү.

Алынган натыйжаларга таянып, биринчи жакындoo боюнча, биз 0,9 ишеним ыктымалдыгы менен ЭЧК ЧСС өлчөө комплексин колдонуу менен талаанын сигналдарынын вариацияларын контролдоо жана өлчөө δ өлчөө катасы менен аныкталган чоңдукка айланат деп айта алабыз. Ошентип, талааны түзүүнүн бүткүл убакыт аралыгынын аягында (2 с) ишенимдүү түрдө башкарылуучу вариациялардын минималдуу деңгээли 3%, 1,5 секундада - 1,0% жана 0,5 секундада - 0,2% болоору белгилүү болду.

Бишкек геодинамикалык полигонунун аймагынын жер кыртышынын орто статистикалык электр резинине эквиваленттүү бир тектүү катмардын $\rho = 204$ Ом-м салыштырма электр каршылыгынын мурда алынган чоңдуктун эске алганда, бул каршылыктын 9000 м тереңдиктеги вариацияларын контролдоонун жакшы мүмкүнчүлүгү жөнүндө айтууга болот. Албетте, бул жер кыртышынын вертикалдуу электрдик кесилишине жараша, жер бетинин ар кандай чекиттери үчүн бир кыйла болжолдуу баа, башка ката баалуулуктары жана үндүн тереңдиктерин алууга болот.



6.3 Сүрөт. Талаа экспериментинин маалыматтарынан алынган математикалык күтүүнүн графиктери (орточо зонддоо ийри сызыгы) $M(t)$, стандарттык четтөө $\sigma(t)$, чоң талаа пайда болуу убакыттары үчүн салыштырмалуу өлчөө катасы $\delta(t)$ (автор П.В. Ильичев менен биргеликте аткарылган)

ЭЧК ЧСС өлчөө комплексинде чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу методикасы. ЭЧК ЧСС үчүн чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу методологиясы анын аппараттык жана программалык камсыздоону ишке ашыруунун өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен иштелип чыккан.

Чыныгы сенсор идеалдуу интегратор эмес, бул талааны иштетүү ийри сызыгын алууда каталардын көбөйүшүнө алып келет, айрыкча узак убакытта. Демек, алгачкы иштетүүнүн маанилүү шарты болуп ИДСтин өтмө реакциясынын жеткилеңсиздигинин ордун толтуруу саналат. Интеграциялоо катасын азайтуу үчүн, өзгөчө талааларды түзүүнүн чоң убакыттарында, жазылган сигналдарды санариптик иштетүүдө, эксперименталдык өлчөнгөн τ убакыт константасын эске алуу менен аларды өлчөө каналынын киришине алып келүү процедурасын колдонуу сунушталат. ИДС схемасы ЭЧК ЧССтин өлчөө каналын атайын калибрлөөдөн жана катталган маалыматтарды иштетүүдөн алынган. өлчөө каналынын чыгыш сигналы магниттик индукциянын агымына пропорционалдуу болушу үчүн $1/\tau_{ИДС}$ масштабдык коэффициенти менен анын интегралы менен жазылган сигналдын суммасын эсептөө керек.

Талаа пайда болуу сигналын андан ары иштетүү В.А. Сидоровдун техникасын колдонуу менен өткөргүч эмес чөйрөдө өткөрүүчү горизонталдык тегиздиктин (жука пленка) моделинин алкагында жүргүзүлөт. В.А. Сидоровдун техникасынын алкагында тескери ЗСБ маселесин чечүү теңдеменин сандык чечимине келтирилет:

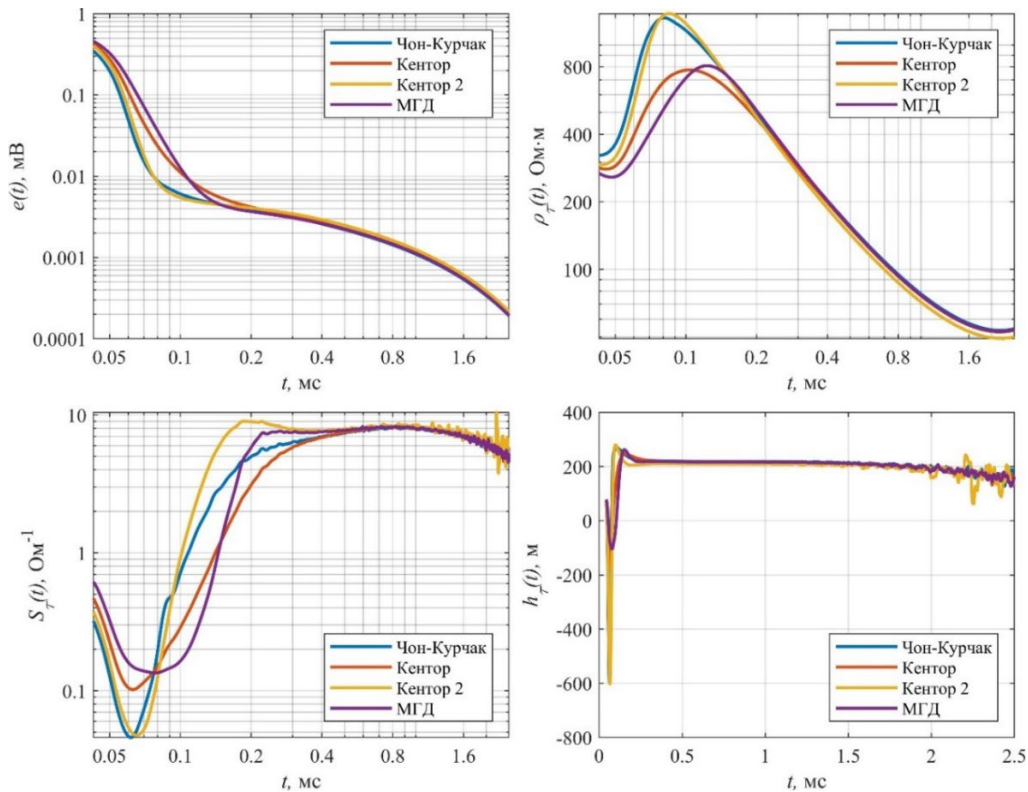
$$\left(\frac{1}{m^2} - 16\right) (1 + 4m^2)^{\frac{3}{2}} - K\mu_0 r \cdot \frac{dU(t)}{U^2(t)} = 0,$$

параметрге салыштырмалуу m мында $K = \frac{6M}{r^2}$, $U(t)$ талаанын пайда болуу ийри сызыгы, M магниттик момент, r кабыл алуучу циклдин радиусу. Бул теңдемени чечүүнүн натыйжасында t убакыттын ар бир моменти үчүн $m(t)$ маанисин алабыз. $m(t)$ билип, табабыз:

$$\begin{cases} S\tau(t) = \frac{KF(m(t))}{U(t)} \\ h\tau(t) = m(t)r - \frac{t}{\mu_0 S(t)} \end{cases},$$

мында $S\tau$ жана $h\tau$, тиешелүүлүгүнө жараша, көрүнөө узунунан өткөргүчтүк жана Прайс-Шейнман пленкасынын көрүнөө тереңдиги жана $F(m(t)) = \frac{m(t)}{(1+4m(t)^2)^{\frac{5}{2}}}$

Методологияны талаа сыноосу ЭЧК ЧССнын даярдалган эксперименталдык үлгүсүнүн талаа сыноолорунун маалыматтарын колдонуу менен өткөрүлдү. ЭЧК ЧССтин негизги максаты аны $S\tau$ жана $h\tau$ параметрлеринен тышкары жер кыртышындагы чыңалуу-деформациялык процесстердин активдүү электромагниттик мониторинг системасында колдонуу экенин эске алып, $\rho\tau$ параметри эсептелинет - чөйрөнүн көрүнүүчү каршылыгы. Сыноолор бири-биринен 9 кмден 20 кмге чейинки аралыкта («МГД», «Кентор», «Кентор 2» жана «Чуңкурчак») жайгашкан Бишкек геодиникалык полигонунун (БГП) аймагындагы төрт пунктта өткөрүлдү. 6.9-сүрөттө 4 өлчөө чекитинин параметрлерин эсептөөнүн натыйжалары көрсөтүлгөн.

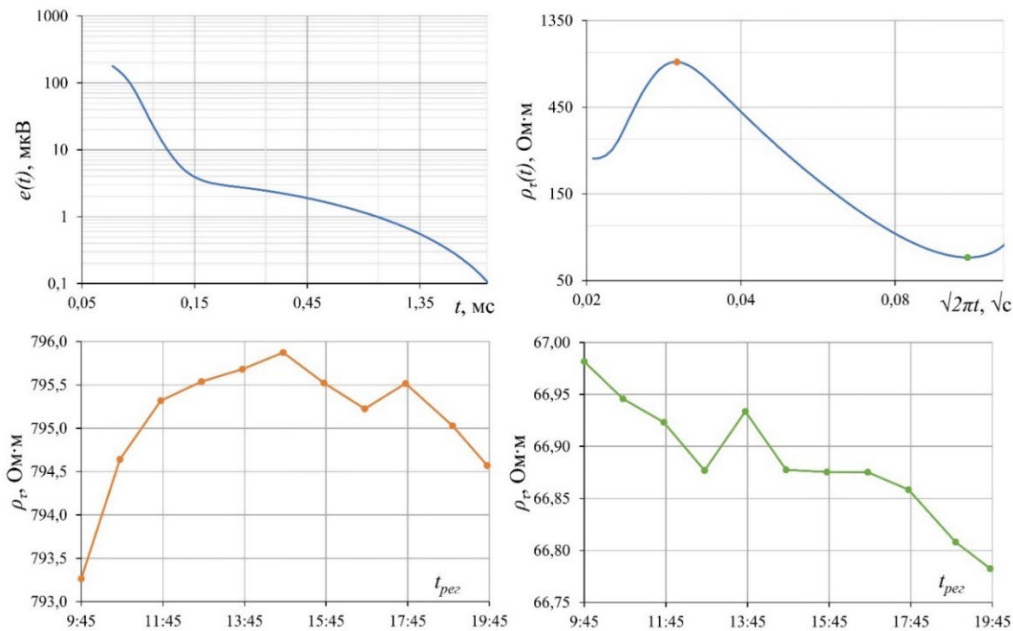


6.9 Сүрөт. Талаанын өнүгүү ийри сызыгынын графиктери - $e(t)$, көрүнүүчү электрдик каршылык $\rho\tau(t)$, көрүнүүчү узунунан өткөргүчтүк - $S\tau(t)$ жана пленканын кирүү тереңдиги $h\tau(t)$ төрт БГП өлчөө чекити үчүн (автор тарабынан аткарылган)

Кайра иштетүүнүн натыйжасында алынган литосферадагы азыркы геодиникалык процесстерди изилдөөдө негизги башкарылуучу параметр болуп көрүнүүчү электрдик каршылыктын $\rho\tau(t)$ убакыттын өтүшү менен өзгөрүү графиги саналат. 6.10-сүрөттө жогоруда сүрөттөлгөн жер кыртышын изилдөө боюнча татаал талаа экспериментинин маалыматтарын иштетүүнүн натыйжасы көрсөтүлгөн. 1 сааттык дискреттүүлүк менен аткарылган 11 зондоо сеансын иштетүүнүн натыйжасында талаа пайда болуу ийри сызыктары $e(t)$ алынган, алардан көрүнгөн электрдик каршылыктын

ийри сызыктары $\rho\tau(t)$ эсептелген. Натыйжада, 0,03 жана 0,11 секунд убакыттары менен эки мүнөздүү чекиттер үчүн көрүнгөн электрдик каршылыктын вариацияларынын убакыт катарлары түзүлдү. Тандалган убакыттардын ар бири үн ийри сызыгынын үзүлүү чекитине мүнөздүү.

Графикте көрүнгөн электрдик каршылыктын кичинекей вариациялары эксперименттин кыска мөөнөтүнө байланыштуу. Түзүү ийри сызыгында калдык чуу менен шартталган термелүүлөрдү азайтуу үчүн динамикалык чыпкалоо жолу менен үлгү талаалары $\rho\tau$ алынган. Эң жөнөкөй учурда, мындай процесс терезеде алынган маанилердин орточо маанисине келет, анын туурасы $\sqrt{2}$ га жакын кадам менен өтүү процессинин убактысынын өсүшү менен көбөйөт.



6.10 Сүрөт. "МГД" өлчөө чекити үчүн талаанын пайда болуу ийри сызыгынын - $e(t)$ жана көрүнүүчү электрдик өздүк каршылыгы - $\rho\tau(t)$ графиктери, ошондой эле 0,03 чекиттеги көрүнгөн электрдик өздүк каршылыктын $\rho\tau$ ийри сызыгынын окууларынан түзүлгөн убакыттык катарлар. секунд (кызгылт сары график) жана 0,11 сек (жашыл график) (автор тарабынан аткарылган)

КОРУТУНДУ

Чуу сымал зонддоо сигналдары бар электр чалгындоо системасынын математикалык модели иштелип чыккан. Бул моделдин жардамы менен чуу сымал сигналдарды колдонуунун теориялык артыкчылыгын ырастоого мүмкүн болду, ал зонддоо үчүн импульстун туруктуу узактыгы менен биполярдык импульс ырааттуулугун колдонгон кадимки системага салыштырмалуу зонд сигналдарынын бирдей энергиясы менен чуунун денгээлин төмөндөтүүдөн турат. Сигнал/чуу катышы боюнча теориялык утуш болжол менен 100 эсе болду.

Чуу сымал зонд сигналдары менен өлчөө комплексин прототиптөө процессинде корреляциялык процесстен кийин талаанын пайда болуу ийри сызыгында пайда болгон ЧССтин структуралык чуусу табылган. Математикалык моделдөө куралдарын колдонуу менен биз алардын пайда болушунун негизги себептерин аныктай алдык. Изилдөөлөр көрсөткөндөй, ЧССте структуралык чуунун пайда болушуна алып келген негизги себеп комплекстин өлчөө жолунда, анын ичинде изилденип жаткан объектиде – жер

кыртышында пайда болгон сызыктуу эмес сигналдык трансформациялар болуп саналат. ЧССтин структуралык чуунун амплитудасы менен өлчөө жолунда сигналдын сызыктуу эмес бурмаланышынын чоңдугунун ортосунда функциялык (сызыктуу) байланыш аныкталган. ЧССтин структуралык чуунун амплитудасы менен ченелген сигналдын амплитудасынын ортосунда функционалдык (сызыктууга жакын) байланыш аныкталган. Мына ушундан, жердин импульстук өткөөл реакциясынын графигинин каалаган чекитинин өзгөрүшү өлчөөчү аппаратуранын туруктуу параметрлери менен изилденип жаткан булактын (жердин) параметрлеринин өзгөрүшүнө гана көз карандылыгы келип чыгат.

Жазылган сигналдардын кеңири жыштыгынын жана чоң динамикалык диапазонунан улам талааны иштетүү ийри сызыгын башкарууну камсыз кылуучу чуу сымал зонд сигналдары бар аппараттык-программалык өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсү иштелип чыкты жана даярдалды. Комплекстин талаа сыноолору кадимки синхрондук топтоо алгоритмдерине салыштырмалуу чуу сымал сигналдарды корреляциялык иштетүү алгоритмдерин колдонууда сигналдын чуу катышынын көп эсе жогорулашын тастыктады.

Жазылган чуу сымал сигналдарды корреляциялык иштетүүдө талаанын пайда болуу ийри сызыктарында пайда болгон ЧССтин структуралык чуунун деңгээлин төмөндөтүү методу иштелип чыккан. Алгоритм үзгүлтүксүз чуунун жана алардын энергиясынын негизинде интерференциянын фонунда импульстук сигналдарды аныктоонун белгилүү методуна негизделген. ЧССтеги структуралык ызы-чууну аныктоо үчүн босогону автоматтык түрдө тандоо критерийи сунушталат. Алгоритм Чункурчак тажрыйба пунктунда ызы-чуу сымал сигналдар менен электр чалгындоо өлчөө комплекси менен талаа иштерин жүргүзүүдө алынган талаа түзүүчү сигналдар боюнча сыналган. Алгоритмди колдонуу узак мөөнөттүү аймакта талааны иштетүү ийри сызыгында сигнал-ызы-чуу катышын олуттуу (болжол менен 450 эсеге) жакшыртууга мүмкүндүк берди.

Талаанын чыныгы шарттарында өлчөөлөрдү жүргүзүү техникасын камтыган чуу сымал сигналдардын жардамы менен жер кыртышын зонддоо технологиясын иштеп чыгуу иштери башталды. Биринчи жыйынтыктар талааны түзүүнүн бүткүл убакыт аралыгынын аягында (2 с) ишенимдүү башкарылуучу вариациялардын минималдуу деңгээли 3%, 1,5 секундада - 1,0% жана 0,5 секундада - 0,2% түзөөрүн көрсөттү. Бишкек геодинамикалык полигонунун аймагындагы жер кыртышынын орточо электрдик кесилишине барабар болгон бир тектүү катмар үчүн $\rho = 204 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ электр каршылыгын эске алуу менен, бул каршылыктын вариацияларын көзөмөлдөөнүн 9000 мге чейинки тереңдикте жакшы мүмкүнчүлүгү жөнүндө айтууга болот.

Талаа экспериментинин шартында анын аппараттык жана программалык камсыздоону ишке ашыруунун өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен чуу сымал сигналдары бар эксперименталдык электр чалгындоо комплекси үчүн чөйрөнүн геоэлектрдик мүнөздөмөлөрүн алуу методу иштелип чыккан жана сыналган. Жүргүзүүчү S тегиздиги бар моделдин алкагында тескери ЗСБ маселесин чечүү ыкмасын өркүндөтүү сунушталды, бул алынган натыйжалардын ишенимдүүлүгүн жогорулатууга мүмкүндүк берет. Техниканын электр чалгындоо комплексинин программалык камсыздоосуна киргизилиши көрсөтүлгөн. Түндүк Тянь-Шандын литосферасындагы геодинамикалык процесстерди изилдөөдө негизги параметр катары чөйрөнүн көрүнгөн электрдик каршылыгынын вариацияларынын убакыт катарлары келтирилген.

ПРАКТИКАЛЫК СУНУШТАР

Иштелип чыккан математикалык моделдөө куралдары талааны түзүү ыкмасын колдонуу менен активдүү электр чалгындоо үчүн жабдууларды жана программалык камсыздоону иштеп чыгууда колдонулуучу аппараттык элементтерди жана маалыматтарды иштетүү ыкмаларын алдын ала изилдөө жана моделдөө үчүн колдонулушу мүмкүн. Түзүлгөн электр чалгындоо аппаратурасы жана программалык камсыздоо жер кыртышындагы азыркы геодинамикалык процесстерди изилдөөдө пайдалуу.

ЖАРЫЯЛАНГАН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. **Ильичев, П.В.** Применение шумоподобных сигналов в системах активной геоэлектроразведки (результаты математического моделирования и полевого эксперимента) [Текст] / П.В. Ильичев, В.В. Бобровский // Сейсмические приборы. – 2014. – Т. 50, № 2. – С. 5–19; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21673071> [In English] **Ilyichev, P.V.** Application of pseudonoise signals in systems of active geoelectric exploration (Results of mathematical simulation and field experiments) [Text] / P.V. Ilyichev, V.V. Bobrovsky // Springer, Seismic Instruments. – 2015. Vol. 50, N. 2 – P. 5-19; Кируу режими: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0747923915010089>
2. **Бобровский, В.В.** Широкополосный измерительный комплекс с шумоподобными сигналами для электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах [Текст] / В. В. Бобровский, П. В. Ильичев, О. А. Лашин // Сейсмические приборы. – 2021. – Т. 57, № 1. – С.29–48; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46134167> [In English] **Bobrovsky, V.V.** Broadband Measuring Complex with Pseudonoise Signals for Electromagnetic Monitoring of Modern Geodynamic Processes in Seismically Active Zones [Text] / V.V. Bobrovsky, P.V. Ilyichev, O.A. Lashin // Springer, Seismic Instruments. – 2021. Vol. 57, N. 4 – P. 384-396; Кируу режими: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0747923921040034>
3. **Bobrovsky, V.** Peculiarity of the use of pseudonoise signals in electrical prospecting equipment [Electronic resource] / V. Bobrovsky, P. Ilyichev // Geodynamics and Geocology 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science929 (2021) 012020IOP Publishing. – 2021; Кируу режими: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/929/1/012020>
4. **Бобровский, В.В.** Особенности корреляционной обработки шумоподобных сигналов в электроразведочной аппаратуре [Текст] / В.В. Бобровский // Геофизические исслед. – 2022. – Т. 23, №2. – С. 39–54; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48770576>
5. **Бобровский, В.В.** Методика получения геоэлектрических характеристик среды в экспериментальном электроразведочном комплексе с шумоподобными сигналами [Текст] / В.В. Бобровский, П.В. Ильичёв, П.Н. Александров // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023. – Т. 78, № 3. – С. 93–100; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54889998>
6. **Бобровский, В.В.** Результаты комплексного полевого эксперимента по отработке технологии зондирования земной коры с широкополосным измерительным комплексом с шумоподобными сигналами [Текст] / В.В. Бобровский, П.Н. Александров, П.В. Ильичёв // Наука новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2023. – № 5. – С. 18–22; Кируу режими: <http://www.science-journal.kg/ru/journal/1/about>
7. **Бобровский, В. В.** Математическое моделирование предполагаемых источников (причин) «структурных помех» в геоэлектроразведочной аппаратуре с шумоподобными

зондирующими сигналами [Текст] / В. В. Бобровский, П. В. Ильичев // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Материалы докл. VII Междунар. симп., г. Бишкек, 19-24 июня 2017 г. – Бишкек, **2018**. – С. 360–370; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36672351>

8. **Ильичев, П. В.** Вариации уровня нелинейных искажений электрических сигналов в земной коре как контролируемый параметр геофизического мониторинга [Текст] / П. В. Ильичев, В. В. Бобровский // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – **2018**. – Т. 18, № 12. – С. 108–112; Кируу режими: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/24/751>

9. **Бобровский, В. В.** Программа обработки данных регистрации и моделирования электроразведочного комплекса с шумоподобными сигналами [Текст] / В. В. Бобровский, П. В. Ильичев // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – **2019**. – Т. 19, № 12. – С. 77–83; Кируу режими: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/70/2859>

10. А. с. № 2013612291 Российская Федерация. Программа для математического моделирования системы активного электромагнитного зондирования земной коры с применением шумоподобных сигналов [Текст] / **П. В. Ильичев (KG)**, В. В. Бобровский (KG); Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Науч. станция Рос. АН в г. Бишкеке (НС РАН) (KG). Заявка № 2012661584; заявл. 25.12.2012; зарегистрир. 20.02.2013; опубл. 20.03.2013, (Ч. 1.). 75,1 Кб; Кируу режими: <https://www.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister®Name=EVM>

11. А. с. № 2018614566 Российская Федерация. Программа обработки данных регистрации и моделирования электроразведочного комплекса с шумоподобными сигналами [Текст] / **В. В. Бобровский (RU)**, П. В. Ильичев (RU); Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Науч. ст. Рос. АН в г. Бишкеке (НС РАН) (KG). Заявка № 2018611996; заявл. 20.02.2018; зарегистрир. 10.04.2018; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 4, (Ч. 1.). 3,27 Мб; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42347937>

12. А. с. № 2018614565 Российская Федерация. Программа регистрации сигналов электроразведочного комплекса с шумоподобными сигналами [Текст] / **В. В. Бобровский (RU)**; Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Науч. ст. Рос. АН в г. Бишкеке (НС РАН) (KG). Заявка № 2018611997; заявл. 20.02.2018; зарегистрир. 10.04.2018; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 4, (Ч. 1.). 33 Кб; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39293968>

13. А. с. № 2020613370 Российская Федерация. Программа регистрации сигналов измерительного комплекса ЭРК ШПС с синхронным накоплением в режиме реального времени [Текст] / **В. В. Бобровский (RU)**; Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Науч. ст. Рос. АН в г. Бишкеке (НС РАН) (KG). Заявка № 2020612256; заявл. 03.03.2020; зарегистрир. 13.03.2020; опубл. 13.03.2020, Бюл. № 3, (Ч. 1.). 29,2 Кб; Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42586894>

14. А. с. № 2021665488 Российская Федерация. Программа устранения структурных помех на кривой становления поля в электроразведочной аппаратуре с шумоподобными сигналами [Текст] / **В. В. Бобровский (RU)**; Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Науч. ст. Рос. АН в г. Бишкеке (НС РАН) (KG). Заявка № 2021664722; заявл. 21.09.2021; зарегистрир. 27.09.2021; опубл. 27.09.2021, Бюл. № 10, (Ч. 1.). 117 Кб. Кируу режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47117474>

РЕЗЮМЕ

диссертации Бобровского Владимира Владимировича на тему: «Широкополосный измерительный комплекс с шумоподобными сигналами для электромагнитных

исследований современных геодинамических процессов в литосфере Северного Тянь-Шаня» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Ключевые слова: шумоподобные сигналы, корреляционная обработка сигналов, синхронное накопление сигналов, электроразведка, электромагнитный мониторинг земной коры, структурные помехи, метод становления поля, измерительный комплекс, кажущееся электрическое сопротивление.

Объект исследования: система геофизического мониторинга развития напряженно-деформационных процессов в земной коре сейсмоактивных зон.

Предмет исследования: теоретическое обоснование и практическое подтверждение возможности и преимуществ применения шумоподобных сигналов при создании систем геофизического мониторинга с применением активных методов электроразведки с контролируемым источником.

Цель работы: Создание новой, выполненной на современной элементной базе аппаратуры, обеспечивающей повышенное качество и эффективность измерения электрических параметров земной коры методом становления поля в диапазоне глубин от 100 м до 10 км.

Методы исследования и аппаратура: математическое моделирование электроразведочных систем с шумоподобными зондирующими сигналами; математическое и физическое моделирование источников структурных помех ШПС; подтверждение результатов теоретических исследований, и отработка технологии активного электромагнитного мониторинга земной коры на аппаратурно-программном комплексе ЭРК ШПС собственной разработки.

Полученные результаты и их новизна. На математических моделях электроразведочной системы с шумоподобными зондирующими сигналами доказана возможность и подтверждено теоретическое преимущество их применения, заключающееся в более эффективном подавлении шумов по сравнению с обычной системой, использующей для зондирования биполярные импульсные последовательности с постоянной длительностью импульсов. Установлены источники структурных помех ШПС в электроразведочной аппаратуре с применением шумоподобных сигналов. Предложен способ их автоматического обнаружения и устранения, основанный на критерии поиска оптимального порога обнаружения по максимальному приближению распределения плотности вероятности остаточных помех и шумов к нормальному закону. Разработан и изготовлен экспериментальный образец аппаратурно-программного электроразведочного измерительного комплекса с шумоподобными зондирующими сигналами, подтвердивший результаты теоретических исследований об эффективности применения шумоподобных сигналов в активной электроразведке методом становления поля. Получены первые оценки качества получаемых кривых зондирования на разных временах становления поля. Для ряда пунктов наблюдения на территории БГП, получены кривые кажущегося удельного сопротивления - $\rho_{\tau}(t)$, кажущейся продольной проводимости - $S_{\tau}(t)$ и глубины проникновения, проводящей S плоскости - $h_{\tau}(t)$. Построены временные ряды вариаций кажущегося удельного сопротивления среды.

Рекомендации по использованию. Инструменты математического моделирования могут быть использованы для предварительного изучения и моделирования элементов аппаратуры и методов обработки данных, применяемых при разработке аппаратуры и программного обеспечения активной электроразведки методом становления поля.

Область применения. Созданная электроразведочная аппаратура и программное обеспечение полезны при изучении современных геодинамических процессов в земной коре.

Бобровский Владимир Владимировичтин «Түндүк Тянь – Шандын литосферасындагы Заманбап геодинамикалык процесстерди электромагниттик изилдөө үчүн чуу сымал сигналдары бар кең тилкелүү өлчөө комплекси» аттуу темада 25.00.10-геофизика, пайдалуу кендерди издөөнүн геофизикалык методдору адистиги физика-математика илимдеринин кандидаты даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: чуу сымал сигналдар, сигналдарды корреляциялык кайра иштетүү, синхрондуу сигналдарды топтоо, электр чалгындоо, жер кыртышынын электромагниттик мониторинги, структуралык тоскоолдуктар, талаа болуу ыкмасы, өлчөө комплекси, көрүнгөн электрдик каршылык.

Изилдөө объектиси: сейсмоактивдүү зоналардын жер кыртышындагы стресс-деформациялык процесстердин өнүгүшүн геофизикалык мониторингдөө системасы.

Изилдөөнүн предмети: теориялык негиздеме жана булагы контролдоонуучу электр чалгындоонун активдүү методдорун колдонуу менен геофизикалык мониторинг системасын түзүүдө чуу сымал сигналдарды колдонуунун мүмкүнчүлүктөрү жана артыкчылыктары жөнүндө практикалык ырастоо.

Иштин максаты: Жаңы, заманбап элементардык базада аткарылган, 100 мден 10 кмге чейинки тереңдиктердин диапазонунда талаанын калыптануу методу менен жер кыртышынын электрдик параметрлерин өлчөөнүн жогорку сапатын жана натыйжалуулугун камсыз кылуучу аппаратураны түзүү.

Изилдөөнүн методдору жана жабдуулар: Чуу сымал иликтөөчү сигналдары бар электр чалгындоо системаларын математикалык моделдөө; ЧССтин структуралык тоскоолдуктарынын булактарын математикалык жана физикалык моделдөө; теориялык изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын ырастоо жана өз алдынча иштелип чыккан ЭЧК ЧСС аппараттык-программалык комплексинде жер кыртышына активдүү электр магниттик мониторинг жүргүзүү технологиясын иштеп чыгуу.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыктары Чуу сымал зонддоо сигналдары бар электр чалгындоо тутумунун математикалык моделдеринде, импульстун туруктуу узактыгы менен биполярдык импульстук ырааттуулуктарды зонддоо үчүн колдонгон кадимки системага салыштырмалуу чууну натыйжалуу басуу мүмкүнчүлүгү жана аларды колдонуунун теориялык артыкчылыгы далилденген. Чуу сымал сигналдарды колдонуу менен электр чалгындоо аппаратурасында ЧССтин түзүмдүк тоскоолдуктарынын булактары белгиленген. Аларды автоматтык түрдө аныктоо жана жок кылуу ыкмасы сунушталган оптималдуу аныктоо босогосун табуу критерийлери нормалдуу мыйзамга калдык кийлигишүүлөрдүн жана чуунун ыктымалдык тыгыздыгын бөлүштүрүүнүн максималдуу жакындашуусу боюнча. Талаа болуу ыкмасы менен активдүү электр чалгындоодо чуу сымал сигналдарды колдонуунун натыйжалуулугу жөнүндө теориялык изилдөөлөрдүн натыйжаларын тастыктаган чуу сымал сигналдары бар аппараттык-программалык электр чалгындоо өлчөө комплексинин эксперименталдык үлгүсү иштелип чыккан жана даярдалган. Ар кандай талаа калыптануу мезгилинде алынган сезүү ийри сызыктарынын сапатына биринчи баа берилди. БГПнын аймагындагы бир катар байкоо пункттары үчүн көрүнүүчү каршылыктын ийри сызыктары - $\rho(t)$,

көрүнүүчү узунунан өткөргүчтүк - $S\tau(t)$ жана өткөрүүчү S тегиздигинин өтүү тереңдиги - $h\tau(t)$ алынган. Чөйрөнүн көрүнгөн каршылыгы боюнча вариациялардын убакыт катарлары курулган.

Колдонуу сунуштары. Математикалык моделдөө куралдары талаа түзүү ыкмасы менен активдүү электр чалгындоо аппаратурасын жана программалык камсыздоону иштеп чыгууда колдонулуучу аппаратуранын элементтерин жана маалыматтарды иштеп чыгуу ыкмаларын алдын ала изилдөө жана моделдөө үчүн колдонулушу мүмкүн.

Колдонуу чөйрөсү. Түзүлгөн электр чалгындоо аппараттары жана программалык камсыздоо жер кыртышындагы заманбап геодинамикалык процесстерди изилдөөдө пайдалуу.

RESUME

of the dissertation of Bobrovsky Vladimir on the theme « Broadband measuring complex with noise-like signals for electromagnetic studies of modern geodynamic processes in the lithosphere of the Northern Tien Shan» presented for the candidate of Physical and mathematical Sciences degree on speciality 25.00.10 – geophysics, geophysical methods of mineral prospecting

Keywords: pseudonoise signals, correlation signal processing, synchronous signal accumulation, electrical exploration, electromagnetic monitoring of the Earth's crust, structural interference, field formation method, measuring complex, apparent electrical resistance.

The object of the research: a system of geophysical monitoring of the development of stress-strain processes in the Earth's crust of seismically active zones.

The subject of the research: theoretical justification and practical confirmation of the possibility and advantages of using pseudonoise signals in the creation of geophysical monitoring systems using active methods of electrical exploration with a controlled source.

Objectives of the study: Creation of a new, state-of-the-art element-based equipment that provides improved quality and efficiency of measuring the electrical parameters of the Earth's crust by the field formation method in the depth range from 100 m to 10 km.

Research methods and equipment: mathematical modeling of electrical exploration systems with pseudonoise probing signals; mathematical and physical modeling of sources of structural interference of PNS; confirmation of the results of theoretical research and development of technology for active electromagnetic monitoring of the Earth's crust on the hardware and software complex EEC PNS of its own design.

The results and their novelty. Mathematical models of an electrical exploration system with pseudonoise probing signals have proved the possibility and confirmed the theoretical advantage of their use, which consists in more effective noise suppression compared to a conventional system using bipolar pulse sequences with constant pulse duration for probing. Sources of structural interference of SHPS in electrical exploration equipment using pseudonoise signals have been established. A method for their automatic detection and elimination is proposed, based on the criteria for finding the optimal detection threshold according to the maximum approximation of the probability density distribution of residual interference and noise to the normal law. An experimental sample of an electrical exploration instrumentation and software measuring complex with pseudonoise probing signals was developed and manufactured, which confirmed the results of theoretical studies on the effectiveness of using pseudonoise signals in active electrical exploration by the field formation method. The first estimates of the quality of the obtained sensing curves at different times of the field formation are obtained. For a number of observation points on the territory of the BGP, curves of apparent resistivity - $\rho_{\tau}(t)$, apparent

longitudinal conductivity - $S_{\tau}(t)$ and penetration depth of the conducting S plane - $h_{\tau}(t)$ were obtained. Time series of variations of the apparent resistivity of the medium are constructed.

Applications. Mathematical modeling tools can be used for preliminary study and modeling of hardware elements and data processing methods used in the development of equipment and software for active electrical exploration by the field formation method.

Application area. The created electrical exploration equipment and software are useful in studying modern geodynamic processes in the Earth's crust.

