КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН УЛУТТУК ИЛИМДЕР АКАДЕМИЯСЫ

М.М. АДЫШЕВ АТЫНДАГЫ ЭМГЕК КЫЗЫЛ ТУУ ОРДЕНИНИН ГЕОЛОГИЯ ИНСТИТУТУ

СЕЙСМОЛОГИЯ ИНСТИТУТУ

Д 25.20.612 диссертациялык кеңеши

Кол жазмалар укугунда
УДК 555.8 (075.8)

Абзалов Марат Зайнутдинович

ТОО-КЕН ДОЛБООРЛОРУН ИШТЕП ЧЫГУУДА ЖАНА АЛАРДЫ КИЙИНКИ ИШТЕТҮҮДӨ ГЕОЛОГИЯЛЫК ЧАЛГЫНДООНУ УЮШТУРУУНУН ЖАНА МЕТОДОЛОГИЯСЫНЫН ЗАМАНБАП ПРИНЦИПТЕРИ

(КОЛДОНМО ТОО-КЕН ГЕОЛОГИЯСЫ)

25.00.11 - геология, катуу пайдалуу кендерди издөө жана чалгындоо, минерагения

геология-минералогия илимдеринин доктору даражасын изденип алуу үчүн
илимий доклад түрүндө коргоо үчүн жазылган
Автореферат

Бишкек-2022

Диссертациялык иш Иорданиянын атомдук энергияны изилдөө комитетинде жана Улуттук илимдер академиясынын Геология институтунун металлогения жана кендердин пайда болуусу лабораториясында жазылган

Илимий консультанты	**Дженчураева, Розалия Джаманкуловна** - геология–минералогия илимдеринин доктору, профессор, КР УИА академиги
Расмий оппоненттер:	**Ужкенов Булат Султанович,** геология-минералогия илимдеринин доктору, «Казакстан Республикасынын Минералдык ресурстар академиясы» коомдук бирикмесинин президенти, Казакстан Республикасы;
	Шумилин Михаил Владимирович, геология-минералогия илимдеринин доктору, профессор, Россия Табигый илимдер академиясынын ардактуу академиги, «Геосигма» ИӨМинин консультанты, Россия Федерациясы;
	Карабаев Маматхан Садирович, геология-минералогия илимдеринин доктору, Геологиялык илимдер университетинин пайдалуу кендерди издөө жана чалгындоо бөлүмүнүн башчысы, Өзбекстан Республикасы.
Жетектөөчү мекеме:	Федералдык мамлекеттик бюджеттик мекемесине караштуу «Н.М. Федоровский атындагы Бүткүл россиялык минералдык чийки заттарды илимий изилдөө институту», 119017, Москва, Старомонетный пер., 31.

Диссертациялык иш Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын М.М. Адышев атындагы Геология жана Сейсмология институттарындагы Д 25.20.612 диссертациялык кеңешинин жыйынында 2022-жылдын «5» апрелинде саат 14.00 корголот, дареги: 720040, Бишкек ш., Эркиндик бул. 30, жыйындар залы, 2 кабат.

bbbwebinar боюнча кирүү: https://vc1.vak.kg/b/252-3gm-8di-zcc

Диссертациялык иш менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын М.М. Адышев атындагы Геология институтунун (дареги: 720040, Бишкек ш., Эркиндик бул. 30) жана Сейсмология институтунун (дареги 720060, г. Бишкек, Асанбай кичирорайону 52/1) китепканаларында жана КР ЖАК сайтынын: http://vak.kg дареги боюнча таанышууга болот.

Автореферат 2022 жылдын «__ » февралында таратылды.

Диссертациялык кеңештин окумуштуу катчысы
география илимдеринин
кандидаты, доцент **Э.Т. Токторалиев**

ИШТИН ЖАЛПЫ СЫПАТТАМАСЫ

Геологиялык чалгындоону уюштурууда тоо-кен долбоорлорунун негизги милдеттеринин бири, кендерди кийинки натыйжалуу иштетүү үчүн минералдык ресурстардын өнөр жайлык запастарын объективдүү баалоо болуп саналат.

Изилдөө темасынын актуалдуулугу. Дүйнөлүк экономиканын өнүгүшүнүн азыркы этабында тоо-кен тармагы геологиялык чалгындоонун уюштуруучулук ыкмаларын интегралдык модернизациялоону жана методологиялык базаны жаңыртууну талап кылган учурга кирди, анткени тоо-кен геологиялык өнөр жайынын практикасында акыркы он жылдыкта олуттуу өзгөрүүлөр болуп өттү, мисалы:

- тереңдиктикте гана эмес, ошондой эле алыскы жетүүгө кыйын болгон аймактарда жайгашкан объектилерди изилдөө зарылчылыгынан улам геологиялык чалгындоонун наркынын кыйла жогорулашы;
- дүйнөдө атаандаштыктын күчөшүнө алып келген чийки зат рыногунун интенсивдүү ааламдашуусу;
- Үч өлчөмдүү мейкиндиктеги өзгөрмөлөрдү моделдештирүүгө жана чоң көлөмдөгү маалыматтарды тез иштетүүгө мүмкүндүк берген компьютердик технологиялардын жеткиликтүүлүгү;
- чийки заттарды баалоонун ар кандай ченемдик укуктук тутумдарынын болушу (JORC Code, NI 43-101 ж.б.), алардын мамилелеринде олуттуу айырмачылыктар бар жана эң негизгиси, тоо-кен долбоорлоруна жана запастардын категориясын аныктоодо ар дайым ишенимдүү баа берилбейт.

Жаңы методикалык базаны эртерээк түзүү үчүн тоо-кен компанияларынын методологиялык ыкмаларын модернизациялоонун учурдун кескин талабы, сызыктуу эмес геостатистиканын негизинде запастарды эсептөөнүн жаңы методологиясын түзүүнү алдын-ала аныктады. Бул объективдүү критерийлердин негизинде геологиялык чалгындоонун оптималдуу схемаларын тандап алууга, тобокелдиктерге сандык баа берүүгө жана ушунун негизинде чалгындалган запастарды классификациялоого жана бургулоонун оптималдуу тармактарын жана кендин тулкусунан тандоо схемаларын тандоого мүмкүндүк берет. Бул маселелер автордун монографиясында жана диссертацияга негиз болгон бир катар макалаларда баса белгиленип, мамлекеттик компаниялар жана трансулуттук корпорациялар үчүн бирдей мааниге ээ.

Иштин максаты. Изилдөөнүн негизги максаты - геологиялык чалгындоо маалыматтарын чогултуу жана иштетүү үчүн математикалык ыкмалардын жаңы тутумун түзүү. Бул системанын методологиялык негизин түз сызыктуу геостатистиканын методдору жана стохастикалык (ыктымалдык) моделдер түзөт.

Изилдөөнүн объектиси. болуп полиметалл, темир кендери, жез, алтын, никель, уран, боксит, минералдык кумдар жана алмаздын кендери каралган.

Изилдөөнүн предмети - чийки заттын ишенимдүү баасынан көз каранды болгон тоо-кен тармагындагы гео-тобокелдиктер.

Изилдөөнүн негизги милдеттери. Автордун изилдөөлөрү кен объектилерин иштетүүдө жана иштеп жаткан кендерде геологиялык чалгындоону оптималдаштыруу боюнча методикалык колдонмолорду иштеп чыгууга багытталган. Автордук иштин фундаменталдык милдети катары кендердин корлорун так баалоо жана классификациялоо үчүн бирдиктүү методологияны түзүү, аны иштеп чыгуунун тандоо мүмкүнчүлүгүн жана техникалык-экономикалык тобокелдиктерди бир эле мезгилде баалоо эсептелет.

Бул изилдөө бир нече багытта жүргүзүлгөн:

1. Изилдөөгө алынган кен үчүн үлгүлөрдү даярдоонун оптималдуу схемаларын тандоого мүмкүндүк берүүчү үлгү алуунун сапатын контролдоо методдорун иштеп чыгуу. Ошондой эле бул багытка көлөмдүү технологиялык үлгүнүн репрезентативдүүлүгүн баалоо боюнча автордун эмгеги кирет;

2. Үч өлчөмдүү мейкиндиктеги руданын телосун чектөө ыктымалдуулук моделдерин иштеп чыгуу;

3. Сызыктуу эмес геостатистиканын негизинде запастарды эсептөөнүн жаңы методикасын түзүү. Автор тарабынан иштелип чыккан метод LUC (Localized Uniform Conditioning) деген аталышты алган.

4. Запастарды классификациялоо методдорун иштеп чыгуу. Автор сунуш кылган тутум кенди иштетүү схемасын жана кирешелүүлүктүн ченемин эске алуу менен тобокелдиктерди эсептейт. Бул ыкма запастарды бирдиктүү эл аралык классификация тутумунда колдонуу үчүн сунуш кылынган.

Айкын материал. Диссертация 1988-2019 - жылдар аралыгында жаңы кендерди иштетүү жана иштеп жаткан рудниктерде ишти оптималдаштыруу боюнча тоо-кен долбоорлорунун алкагында автор тарабынан топтолгон материалдардын негизинде түзүлгөн. Булар кендин ар кандай геологиялык типтерин жана чийки заттын түрлөрүн камтыган беш континенттеги бир нече ондогон долбоорлор, анын ичинде ири полиметалл (Олимпик Дам), темир рудалары (Пилбара), жез (Эскондида), алтын (Витватерсранд), никель (Персеверанс), уран (Россинг), боксит (Сангареди), минералдык кумдар (Ричардс Бей) жана алмаз (Аргайл) кендери. Иштелип чыккан жана талданган маалыматтардын көлөмүнө жүз миндеген анализдер, ондогон чакырымдагы тоо-кен иштери, өндүрүштүк маалыматтардын көлөмү кирет.

Иштин жүрүшүндө кен объектилерин иштетүүдө жана кендерди эксплуатациялоону геологиялык жактан камсыздоодо геологиялык чалгындоо жаатындагы методикалык иштеп чыгууларга олуттуу орун бөлүнгөн. 2016-жылы

бул эмгек өзүнчө монография катары "Springer" эл аралык илимий эмгектердин басма үйүндө басылып чыккан (Abzalov, M.Z. Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12 / M.Z.Abzalov. - Berlin: Springer, 2016. 448 p.), жана илимий докладга негиз болгон.

Изилдөө методдору. Докладда заманбап математикалык методдор жана компьютердик моделдөө ыкмалары колдонулган. Булар негизинен сызыктуу эмес жана параметрсиз геостатистиканын методдору, ошондой эле мейкиндиктик өзгөрмөлөрдүн стохастикалык моделдери.

Диссертацияны коргоого чыгарылган негизги жоболор.

1. Пайдалуу компоненттин блоктордо бөлүштүрүлүшүн баалоо үчүн классикалык статистикалык ыкмаларды колдонууга мүмкүнчүлүк бербеген геологиялык чалгындоо скважиналарынын ортосундагы аралыктары кең болгон бургулоо тармактары менен, автор тарабынан иштелип чыккан LUC (Localised Uniform Conditioning) методу пайдалуу компоненттин блок моделине ылайык бөлүштүрүлүшүн изилденген өзгөрүлмө менен блоктун чоңдугунун ортосундагы статистикалык байланышты бузбай эсептөөгө мүмкүндүк берет («volume-variance relationship» геостатистикалык принциби боюнча).

2. Сунушталган CV% параметри - бул үлгү алуунун сапатын баалоо үчүн универсалдуу чара, бул геологиялык факторлордун жана үлгүлөрдү алуу техникасынын үлгүлөрдүн натыйжаларынын кайталанышына таасирин баалоо жана салыштыруу мүмкүнчүлүгүн берет жана ушул негизде үлгү алуу тармагы менен үлгү даярдоо методикасынын ортосундагы оптималдуу катышты тандайт.

3. Үч өлчөмдүү мейкиндиктеги руда телолорун контурлоодо геостатистикалык ыкма ыктымалдыктагы үч өлчөмдүү моделдерди түзүүдө индикатордук вариограммаларды колдонот.

4. Запастарды классификациялоонун сунуш кылынган жаңы методикасы мүмкүн болгон тобокелдикти ыктымалдуу баалоого негизделген. Пайдалуу компоненттин эсептелген орточо курамы менен экономикалык минималдуу мүмкүн болгон курамынын ортосундагы айырмачылык мүмкүн болгон ката катары кабыл алынат. Катачылыктын ыктымалдыгы стохастикалык геостатистикалык методдордун жардамы менен эсептелет.

5. Автор ири көлөмдөгү үлгүлөрдүн технологиялык сыноолорго ылайыктуулугун баалоонун жаңы критерийлерин иштеп чыккан. Жаңы методология пайдалуу компоненттердин жана руданын курамындагы зыяндуу аралашмалардын бөлүштүрүлүшүнүн статистикалык параметрлерин баалоо үчүн колдонулат, алар кийинчерээк технологиялык үлгүдө көбөйтүлөт. Тандоонун статистикалык талдоосу көлөм-дисперсиялык байланыштарды эске алуу менен жүргүзүлүшү керек. Технологиялык үлгү алууда, алынган үлгүлөрдүн мейкиндикте бөлүштүрүлүшү дагы эске алынат. Чоң көлөмдөгү үлгү репрезентативдүү деп

эсептелет жана ал жогоруда айтылган эки критерийге жооп берсе, технологиялык сыноого ылайыктуу.

Диссертациянын илимий жаңылыгы. Автор тарабынан алынган жана коргоого сунушталган изилдөөлөрдүн негизги натыйжалары жаңы иштердин жыйынтыктарын чагылдырат жана буга чейин белгилүү болгон эмес.

Биринчи жолу LUC ыкмасын колдонуп, корлорду тандап казылып алынган блоктор боюнча бөлүштүрүлүшүн эсептөө мүмкүндүгү көрсөтүлдү, анын көлөмү бургулоо тармагына салыштырмалуу өтө эле кичине, бул классикалык баалоо ыкмаларын колдонууга жол бербейт.

Автор биринчилерден болуп геостатистикалык көрсөткүчтөрдүн ыктымалдык баалоосун колдонуп, үч өлчөмдүү мейкиндиктеги кен телолорун контурлоо методикасын сунуш кылган.

Иштин жаңы жыйынтыгы CV% критерийи болуп саналат, аны автор биринчи жолу көрсөткөндөй, геологиялык жана лабораториялык (үлгүлөрдү даярдоо жаатында) факторлорду сандык салыштыруу үчүн колдонсо болот.

Биринчи жолу кендин корун эсептөөдө катачылыктын мүмкүн болгон деңгээлин кирешелүүлүк ченине салыштырмалуу баалоо сунушталды.

Автор тарабынан иштелип чыккан ири көлөмдөгү үлгүлөрдү тандоонун критерийлери технологиялык сыноолор үчүн үлгүнүн репрезентативдүүлүгүн кыйла так баалоого мүмкүндүк берет.

Автордун монографиясында көрсөтүлгөн башка эмгектери дагы новатордук мүнөзгө ээ (Abzalov, M.Z. 2016: Applied Mining Geology. Springer, Berlin, 448p).

Иштин практикалык мааниси. Автор тарабынан иштелип чыккан ыкмалардын көпчүлүгүн эл аралык тоо-кен компаниялары колдонуп келишет. Тактап айтканда, LUC методу Франциянын Geovariances компаниясы тарабынан иштелип чыккан жана дүйнө жүзү боюнча колдонулган “Isatis” адистештирилген компьютердик программасына кошулган.

Проба алуунун сапатын эсептөө методу, CV% параметрин колдонуп, кыска убакыттын ичинде Австралияда жана анын чегинен тышкары тоо кен тармагында кеңири колдонууну тапты.

Учурда автордун бир катар жаңы иштеп чыгуулары ишке ашырылууда. Запастарды классификациялоонун сунуш кылынган методологиясы ГКЗ принциптери боюнча эсептелген (C_1, C_2 ж.б.) запастарды эл аралык категорияларга объективдүү баалоого жана которууга мүмкүндүк берет, мисалы, JORC Code кодекси ж.б. Иорданиядагы уран кенинин запастарын иштетүү үчүн, автор ошол өлкөнүн өкмөтү тарабынан консультант катары чакырылган.

Алынган натыйжалардын экономикалык мааниси. Автордук ыкмалар тутуму тоо-кен долбоорлорунун тобокелдиктерин объективдүү баалоого жана бургулоо тармагын оптималдаштыруу менен геологиялык чалгындоо иштеринин

чыгымдарын кыскартууга жана долбоорду сыноо ыкмаларын иштеп чыгууга мүмкүндүк берет.

Изилдөөнүн натыйжаларын апробациялоо. Автордун изилдөө ишинин натыйжалары толугу менен басылмаларында чагылдырылган. Коргоо боюнча негизги жоболор эл аралык конференцияларда, анын ичинде Түштүк Африка (2016) жана Австралия (2012) эл аралык геологиялык конгресстеринде, Чилиде (2011) жана Перуда (2013) өткөрүлгөн үлгүлөр сыноолорунун теориясы жана практикасы боюнча эл аралык конференцияларда бир нече жолу берилген, Австралияда өткөн тоо-кен геологдорунун эл аралык конференцияларында (2009 жана 2017) жана Австралиянын тоо-металлургия институту (AusIMM) тарабынан уюштурулган бир нече конференцияларда каралган. 2016-жылы автордун ушул маселе боюнча эмгектери өзүнчө монография болуп басылып, "Springer" илимий эмгектеринин эл аралык алдыңкы басмаканасында басылып чыккан (Abzalov, M.Z. Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12 / M.Z.Abzalov. -Berlin: Springer, 2016. 448 p**).** 2017 - жылы бул автордун эмгеги ‘Choice’ журналы тарабынан "Эң мыкты академиялык наам" менен сыйланды.

Жалпысынан, автор 80 ден ашык илимий эмгектерин жарыялаган, алардын 50дөн ашыгы түздөн-түз диссертация темасына арналган. Илимий эмгектер алдыңкы дүйнөлүк илимий журналдарда, анын ичинде төмөнкүдөй басылмалар жарыяланган: Mathematical Geology, Economic Geology, Exploration and Mining Geology, Applied Earth Science, The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, Lithos, Mineralogy and Petrology, андан сырткары эл аралык конференцияларда жана симпозиумдарда жарык коргөн.

М. Абзалов 2015 - жылы Түштүк Африка тоо-кен коому тарабынан Дэни Криже алтын медалы (Dani Krige’s Gold Medal) менен сыйланган.

Иштин структурасы жана көлөмү. Диссертация макала түрүндөгү басылмаларга (40 тан ашык) жана монографияга негизделген (көлөмү 448 барак, анын ичинде 265 диаграмма). Басылмалар диссертациянын темасына түздөн-түз байланыштуу кошумча маалыматтарды камтыйт жана рейтингдүү эл аралык журналдарга жарыяланган.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

"Адабияттарды карап чыгуу жана көйгөйлөрдүн учурдагы абалы" аттуу биринчи бөлүмүндө рудалык геологиянын өнүгүшүн жана заманбап колдонмо геологиясынын өз алдынча тармагы катары калыптанышын сүрөттөлөт. Рудалык геология тоо-кен тармагындагы долбоорлодун техникалык-экономикалык баалоонун негизи жана кендердин натыйжалуу иштешин камсыз кылаары көрсөтүлгөн.

Бул жаатта системалуу изилдөө жана иштеп чыгуу болжол менен 1960-жылдардын ортосунан бери жүргүзүлүп келет. Ушул он жылдыкта заманбап рудалык геологиянын пайдубалын түптөгөн жаңы илимий-прикладдык багыттар түзүлдү:

- Кен байлыктарды моделдөө жана запастарын эсептөө боюнча геостатистика жана геостатистикалык методдор (Матерон, 1968; David, 1977; Journel and Huijbregts, 1978). Бул иштер запастарды эсептөөнүн заманбап ыкмаларына негиз салган. Ошого карабастан, тоо-кен тармагында сунуш кылынган ыкмаларды кийинчерээк колдонуу чектөөлөрдү жана алардын кемчиликтерин ачып берди, алардын эң маанилүүсү чакан блоктор үчүн сызыктуу математикалык ыкмалар менен так баа берүү мүмкүн эместиги болду. Компьютердик технологиянын колдонуусу сызыктуу эмес геостатистикалык методдорду жана стохастикалык алгоритмдерди иштеп чыгууга жана жүзөгө ашырууга мүмкүндүк берген, 1990 - жылдардын аягында изилдөөлөрдүн жана иштеп чыгуунун жаңы цикли башталат. 2006 - жылы автор LUC (Localized Uniform Conditioning) запастарын эсептөөнүн жаңы методикасын сунуш кылган. Жаңы ыкма салттуу түрдө колдонулуп келген ыкмалардын чектөөлөрүн жоюуга мүмкүндүк берди жана учурда тоо-кен тармагында ийгиликтүү ишке ашырылып жатат, ал тоо-кен долбоорлорун техникалык-экономикалык баалоодо активдүү колдонулат.

— Жарыяланган монография (P.Gy "Sampling of particulate materials, theory and practice" 1979) "Проба алуунун теориясы" деп аталган заманбап илимий -колдонмо багыттын негизи болуп калды. Бул багыт Питарддын (1993) жана Франсуа-Бонгаркондун (1993) жана башка бир катар изилдөөчүлөрдүн эмгектеринде андан ары өркүндөтүлгөн. Геологиялык чалгындоо иштерин пландаштырууда “Проба алуунун теориясы” ийгиликтүү колдонуу менен келечекке жаңы милдетти койду: үлгүлөрдүн сапаты менен санынын ортосундагы оптималдуу балансты табууга мүмкүндүк берди. Автор тарабынын сунушталган алгоритм (Абзалов, 2014) бул көйгөйдүн биринчи ийгиликтүү чечими болуп, тандоонун сапаты менен тандоо тармагынын оптималдуу катышын табууга мүмкүндүк берди.

- Математикалык методдорду тоо-кен жана геологиялык чалгындоо практикасына киргизүү, ошондой эле алардын запастарын классификациялоо үчүн пайдалануу боюнча сунуштар менен коштолду. Тилекке каршы, ушул кезге чейин бул көйгөйгө бирдиктүү ыкма болгон эмес. Эң көп колдонулган ыкмалар:

  - кригинг катасы (Blackwell, 1998);

- ар кандай математикалык формулалар;
- шарттуу стохастикалык моделдөө методдору менен эсептелген тазалоо панелдин мүнөздөмөлөрүн баалоодо чачыроонун чоңдугу (Dimitrapoulos, 2002);
- мүмкүн берилген чектен ашып кетүүнүн ыктымалдык баалоосу (Davis, 1992, Schofield, 2001);
- геостатистикалык функция - F (Annels, 1996);
- жылдык жана кварталдык өндүрүшкө туура келген блоктордогу запастын ишенимдүүлүгүн баа берүүнүн негизинде классификациялоо (M.Belanger, personal communication).

- Үч өлчөмдүү геологиялык моделдерди түзүү жана алардын ишенимдүүлүгүн баалоо геологиялык объектилердин математикалык моделдөө чөйрөсүнүн өнүкпөгөн чөйрөсү бойдон калууда. Татаалдыгы геологиялык структуралардын жана геометриялык фигуралардын, геологиялык объектилердин ар түрдүүлүгүнөн улам келип чыгат, бул аларды геометризациялоого жана чектөөгө бирдиктүү мамилени иштеп чыгууну кыйындатат. Учурда бир нече алгоритмдер сунушталган. Эң көп колдонулган кесилген мульти-Гаусс симуляциясы (Armstrong et al., 2011) жана көп чекиттүү статистика ыкмасы (Strebelle, 2002). Альтернативдик ыкма катары автор тарабынан негизинен штокверк тибиндеги алтын телолорун аныктоо үчүн иштелип чыккан (Abzalov and Humphreys, 2002). Автор тарабынан сунушталган контурдук ыкма геостатистикалык көрсөткүчтөрдүн ыктымалдык математикалык баалоосуна негизделген.

«Кендердин түрлөрү» аттуу экинчи бөлүмүндө автор тарабынан иштелип чыккан методдор универсалдуу ыкмаларга мүмкүн болушунча жакын жана ар кандай типтеги кендерде ийгиликтүү колдонулуп келе жатат: алтындын тарам рудасынан тартып ири көлөмдүү кендерге чейин, анын ичинде жез-порфирлүү, темир рудасы, уран ж.б.

Сунуш кылынган ыкма ар кандай тоо-кен тутумдары бар участоктордо: жер алдындагы жана ачык жол менен казып алууда, жер астынан шакардоо ыкмасы менен иштетилген уран кендеринде жана тереңдетүү жолу менен иштетилген деңиз чачындысында сыналган.

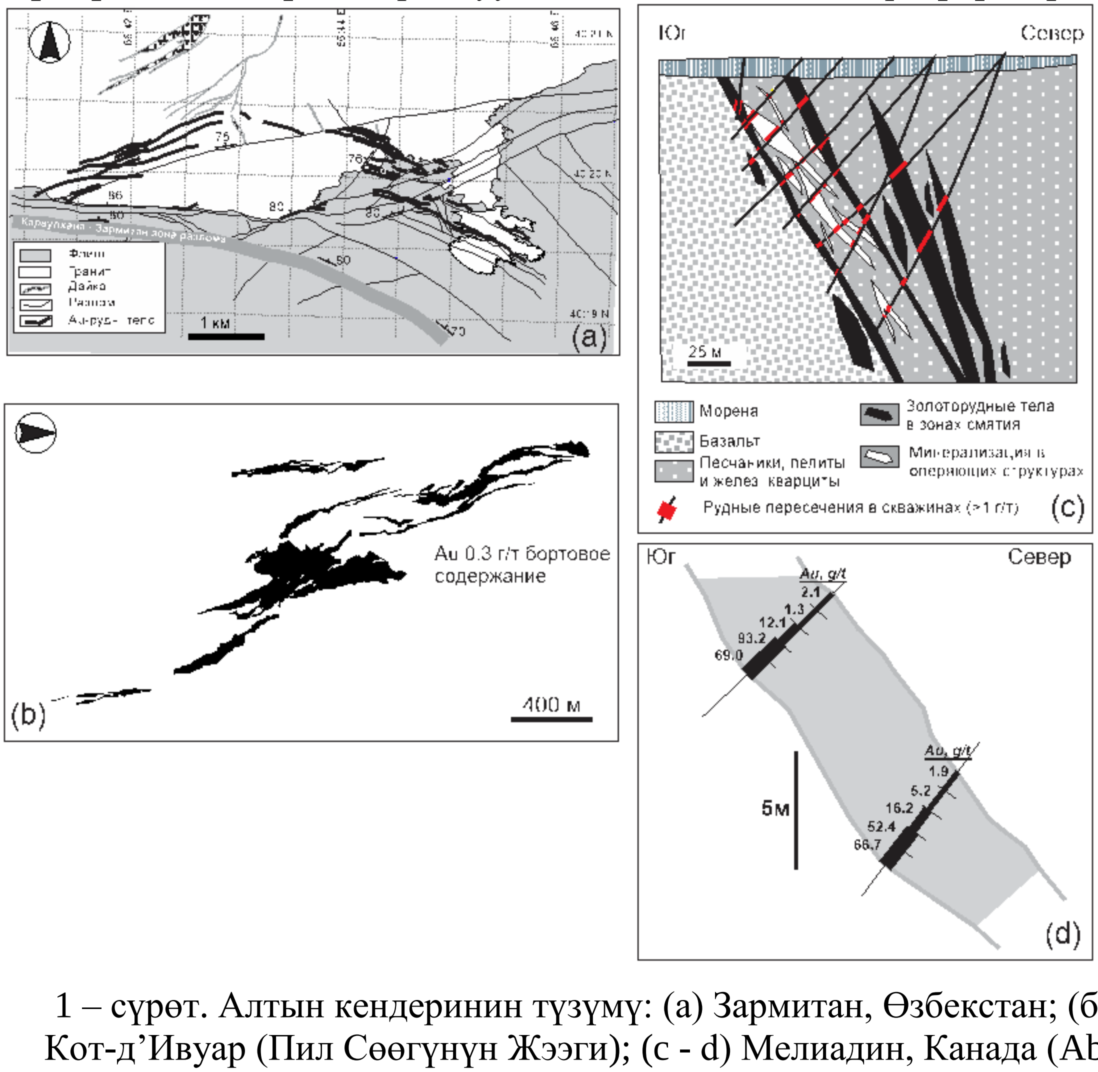
Бирок, алтын рудасынын объектилеринин запастарын баалоодо, үлгүлөрдү алуу натыйжаларынын начар репродукциясы сыяктуу көйгөй бар, бул адатта ири кесек бүртүкчөлүү алтындын болушу менен байланыштуу. Үлгүнүн көлөмү менен үлгү алуу тармагынын оптималдуу катышын тандоо үчүн, автор ушул эмгекте келтирилген CV% параметрин колдонуп эсептөө тутумун иштеп чыккан.

Орогендик типтеги алтын кендери. Талкуулана турган алтын кендери (1-сүрөттү кара) дүйнөнүн ар кайсы аймактарында жайгашкан: Зармитан (Борбордук Азия), Норсман, Балларат (Австралия), Мелядин (Канада), Наталка (Россия), Сиссингу, Янфолила (Батыш Африка). Келтирилген кендер ар кандай структуралар

менен мүнөздөлөт, ошондуктан бул топтомду алтын кендеринин орогендик тибинин өкүлү деп эсептесе болот.

Алар негизинен татаал структураларга ээ: ар башка багытталган, бутактанган жана кесилишкен руда зоналары (1a-c - сүрөттү кара). Эң татаал геометрия бырышуу зоналарында жайгашкан кендерде байкалат. Бирок, тарамдуу алтын кендери көп учурда татаал структуралар менен мүнөздөлөт, мисалы, Австралиядагы белгилүү Бендиго кени.

Рудалык телолор адатта узакка созулбайт, алардын калыңдыгы өзгөрүлүп турат жана алтындын бөлүштүрүлүшү бирдей эмес, бул кендин структурасын кошумча татаалдаштырат. Руда денелеринин контакттары адатта кескин жана контактты кесип өткөндө даражасынын нөлдөн жогоруга, ал тургай бороон-чапкындуу тез өзгөрүшү менен мүнөздөлөт (1d – сүрөттү кара). Градациялык байланыш түзүүгө мүмкүн жана көбүнчө тарамдуу жайылган алтын кендери үчүн мүнөздүү.



1 – сүрөт. Алтын кендеринин түзүмү: (а) Зармитан, Өзбекстан; (б) Сиссингу, Кот-д’Ивуар (Пил Сөөгүнүн Жээги); (c - d) Мелиадин, Канада (Abzalov, 2016)

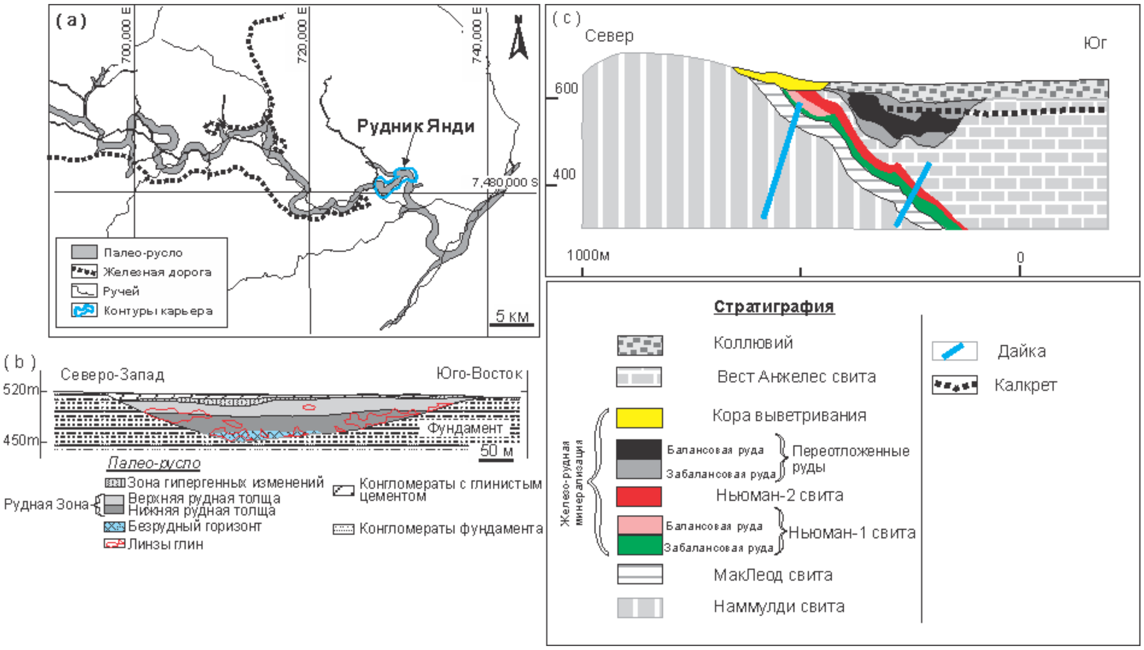
Алтын кендеринин запастарын баалоодо негизги тобокелдиктердин бири - жогору курамдардын экстраполяциясынан улам запастарды ашыкча баалоо коркунучу. Демек, запастарды эсептөө үчүн, рудалык телолор ар кандай борттук

маанилерди колдонуу менен так контурланат. Ушул максатта автор геостатистикалык индикатордук ыкманы иштеп чыккан, анын жардамы менен Канададагы Мелядин кени үчүн руда телолорунун 3 өлчөмдүү ыктымалдык модели түзүлгөн.

Темирлүү кварцит кендери. Темир рудасынын долбоорлоруна Батыш Австралиянын Пилбара блогунда жайгашкан Хамерсли геологиялык провинциясынын бир нече кендери, ошондой эле Африкандагы Симанду кени кирет (2 – сүрөттү кара).

Акыркы түрү негизинен темир оксиддерин гидротермиялык процесстер менен ремобилизациялоонун натыйжасында пайда болгон гематит рудалары менен көрсөтүлгөн.

Автор тарабынан изилденген бардык кендер стратиформалык түзүлүш менен мүнөздөлөт. Темир кендери башка кенди камтыган тоо тектерине шайкеш келген кеңейтилген катмарларды (пласттарды) жана линзаларды түзөт. Руда телолорунун башка кенди камтыган тоо тектер менен байланыштары адатта кескин болот. Темирдин жана башка компоненттердин курамы руда телолорунун жайылуусу боюнча бирдей эмес.



2 - сүрөт. Хаммерсли синклинорийинин темир рудасынын кендери; (a) геологиялык карта жана кесим (разрез); (b) палео-нук тибиндеги Яндий кени; (c) BIF тибиндеги Наммулди кенинин геологиялык кесими (разрези)

Кендин бетинде, кыртышын жемирилиши байкалат, жергиликтүү терминологияга ылайык, "хайдрейтет кеп", ал кендин запасын камтыйт жана темирдин курамынын өзгөчө өзгөрүлмөлүүлүгү жана каолиндин жана башка "зыяндуу" аралашмалардын бирдей эмес бөлүштүрүлүшү менен мүнөздөлөт.

Бул провинциянын геологиялык өзгөчөлүгү - палео-нук тибиндеги (CID-type) темир рудаларынын кеңири таралышы (2a, b – сүрөттөрдү кара). Бул Австралияда экономикалык жактан маанилүү темир рудасынын экинчи тиби. Бул кендер байыркы дарыялардын миандриялуу нуктарында пайда болот, алар гетит-гематит курамындагы пизолиттерге толгон. Пизолиттер (оолиттер) көбүнчө диаметри 2 ммден аз болот жана гетит кабыгы менен курчалган гематит өзөгүнүн болушу менен мүнөздөлөт. Алар майда бүртүкчөлүү гематиттин матрицасы менен катуу текке цементтелген.

Темир рудасынын кендери көбүнчө 300х200 м жана 200х100 м кеңири бургулоо тармактарын пайдалануу менен чалгындалат жана иштетүүгө даярдалат. Мындай үлгү алуу тармагы, запастарды салттуу ыкмаларды колдонуу менен, анын ичинде кригинг менен, чоң панелдерде, көбүнчө 150х100 м өлчөмүндө эсептелет. Сызыктуу ыкмалар (кригинг) кен бөлүктөрүнүн чакан блоктордо бөлүштүрүлүшүн эсептөөгө жол бербейт - 20х20х12 м, бул тоо-кен иштеринин тандалмачылыгына дал келет. Бул методикалык көйгөйдү чечүү үчүн автор (Abzalov, 2006) LUC аттуу жаңы ыкманы иштеп чыккан, ал Австралия менен Африканын темир рудаларында ийгиликтүү колдонулган.

Кумдук типтеги уран кендери. Кумдуктун кендери урандын кендеринин эң кеңири тараган түрү болуп саналат, анда дүйнөлүк уран корунун 28 % камтылган. Пайда болуу шарттары боюнча кен төрт топко бөлүнөт: уран оромдору (роллдору), катмарлуу (өрөөн), палео-нук жана жарака зоналарынын кумдук кендери.

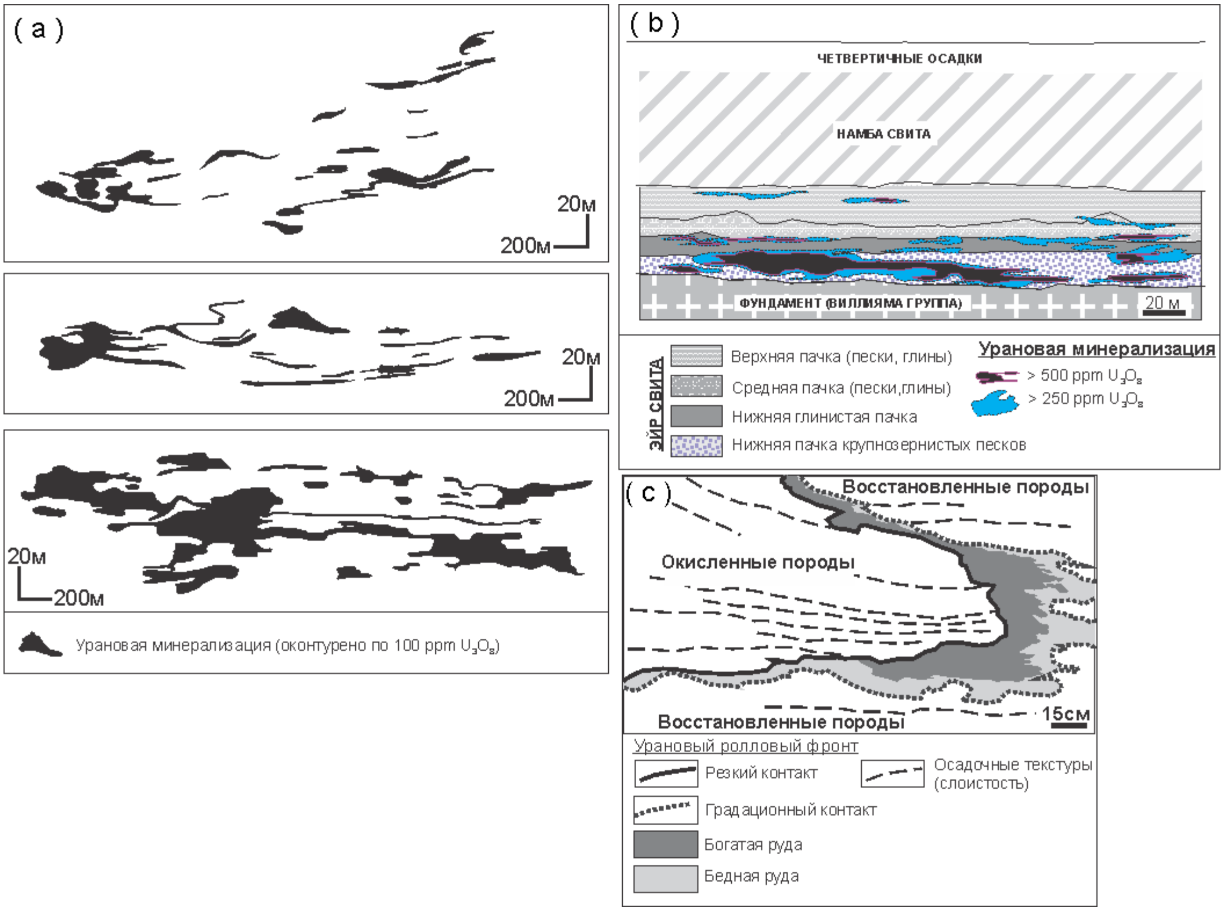
Бул обзорго бир нече типтүү кумдук кендери кирет: Казакстандагы Шу-Сарысу бассейниндеги Буденовское, АКШнын Вайоминг штатындагы Грейт Дивайд бир нече чөкмө бассейнинде, жана түштүк Австралиядагы Каллабонна бассейниндеги палео-нуктуу кендери (3 - сүрөттү кара).

Бул кендердеги уран минералдуулугу ураны кычкылдарын төмөн температурадагы эритмелер менен өткөрүүнүн жана топтоонун натыйжасында начар суутулган жогорку өткөрүмдүү кумдарда пайда болгон. Бул топтолуу шарттары өтө татаал кен телолорунун пайда болушуна алып келген. План боюнча, кен телолору, адатта, миандрий ленталары менен чагылдырылат же ар башка багытталган жана линза сымал чукул телолорду тез кысып турган "аңды" түзөт. Кесимде руданын телосу көбүнчө жаа сымал (роллдор) болот. Уран роллдору, бир нече жолу бөлүштүрүүнүн натыйжасында бири-бирине кошулуп, амеба сымал татаал кен телолорун түзөт (3 - сүрөттү кара). Уран минералдашуусунун пласт формалары да кеңири таралган, бирок, эреже боюнча, алар өрөөн тибиндеги кендерде байкалат.

Негизги уран минералдары - күкүрт кислотасы же шакардуу эритмелер менен оңой эриген чайыр (уран чайыры) жана коффинит.

Бул кендер, адатта, ички пластты эритүү жолу менен казылып алынат, бул ыкма анын белгисиздик даражасын баалоо менен кен телолорунун үч өлчөмдүү моделин курууну талап кылат. Төмөнкү оптималдуу бургулоо тармагын тандоо үчүн, минималдуу чыгым менен тобокелдиктин (белгисиздиктин) алгылыктуу

даражасына жетишилет, ал үчүн автор өзү иштеп чыккан методдорун колдоно баштаган. Оптималдуу бургулоо тармагын тандоо үчүн мында тобокелдиктин мүмкүн болгон даражасы (белгисиздиги) эң аз чыгымдар менен иштелип чыккан методдорду колдонулган. Бул геостатистикалык көрсөткүчтөрдүн жардамы менен роллдорду аныктоо жана стохастикалык эсептөөлөр менен моделдин белгисиздик даражасын баалоо жолу менен оптималдуу бургулоо тармагын тандоо.



3 - сүрөт. Кумдук типтеги уран кендеринин геологиялык кесилиштери: (а) Казакстандагы Буденовское кенинин уран роллдору; (б) Австралиядагы Хонимун кенинин катмарлуу уран телолору; (с) ролл фронт, Ширли кени, Вайоминг штаты, АКШ

Боксит кендери. Австралияда, Бразилияда, Гвинеяда жана Сауд Аравиясында көрсөтүлгөн боксит кендери (4 - сүрөттү кара) ири кендердин катарына кирет. Кендердин жылдык өндүрүмдүүлүгү бир нече миллион тонна бокситке бааланат жана кендердин иштөө узактыгы 40 жылга чейин. Бул кендердин руда телолору катмар түрүндө болот, анын калыңдыгы анча чоң эмес, адатта алгачкы бир нече метр, бирок бир кыйла узундугу менен мүнөздөлөт жана бир нече жүз, ал тургай миңдеген чарчы километр аянтты ээлеши мүмкүн. Кендердин ири аймактары руда телолорун комплекстүү вертикалдык жана горизонталдык зоналар менен айкалыштырып, оптималдуу үлгү алуу тармагын тандоону боксит кенинде иштеген

геологдор үчүн эң маанилүү жана приоритеттүү милдеттердин бири кылат. Бургулоо тармагындагы анча-мынча өзгөрүүлөрдүн өзү да олуттуу экономикалык кесепеттерге алып келиши мүмкүн, ошондуктан математикалык эсептөөлөр боксит кендериндеги геологдордун ишинин маанилүү бөлүгүнө айланууда.

Автор австралиялык Вейпа жана Гов кендери үчүн оптималдуу бургулоо тармагынын параметрлерин иштеп чыгып, андан кийин Бразилиянын жана Гвинеянын кендеринде колдонгон.

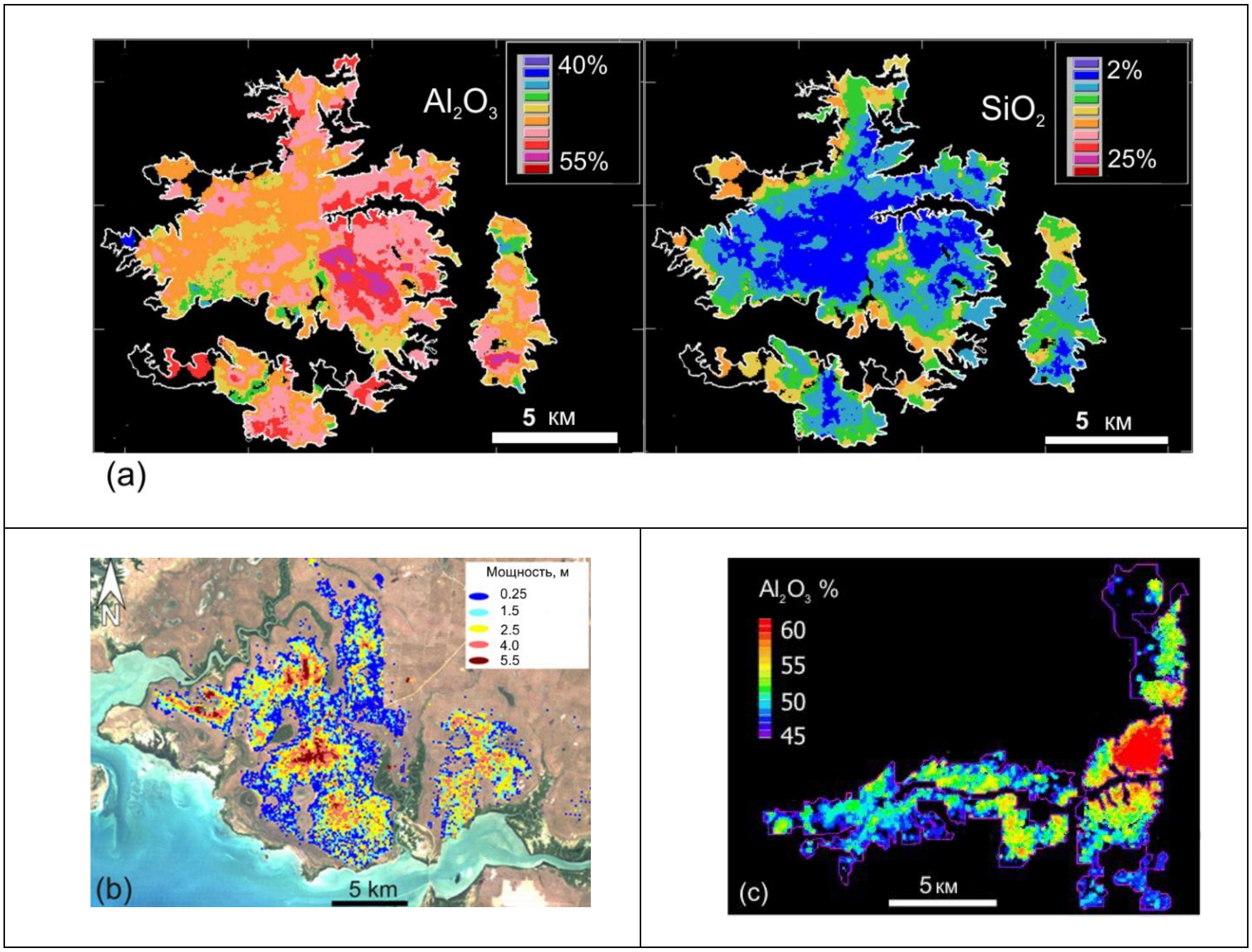
Кейп Йорк жарым аралында жайгашкан Вэйпа кени. Түндүктөн түштүккө карай 180 км ге созулуп, чыгыштан батышка карай 20 – 60 км. Плато алгачкы бор дооруна таандык деңиз чөкмө тектеринин талкаланган өнүмдөрүнөн турат. Калыңдыгы 20 - 35 м болгон талкаланган боксит катмары кирет, калыңдыгы 1 метрден 20 метрге чейин (орто эсеп менен 2 м). Бокситтер консолидацияланбаган писолиттерден турат, алардын негизги минералдары гиббсит жана богмит. Бокситтеги Al_2O_3 курамы 45 тен 55 % чейин өзгөрүлүп, платонун чек арасында төмөндөйт, ошондой эле катмардын жогорку жана төмөнкү контакттарына жакын (4 - сүрөттү кара).

Бокситтерди топурак катмары каптап, кремний-каолин-темир (ферругин) курамындагы 1 - 2 м катмар латериттер менен капталат. Бул профиль бөксө тоонун бүткүл аймагында кала берет, бирок катмардын калыңдыгы ар кандай болушу мүмкүн.

Гов кени ушул эле аталыштагы жарым аралда жайгашкан, анда боксит рудалары татаал бөлүнгөн бөксө тоолордо пайда болот, бул Үчүнчүлүк пенеплен, төртүнчүлүк мезгилинде жарым-жартылай талкаланган. Пенепленди түзгөн талкалануу кабыгы протерозойдун тоо тектерин бурчтук дал келбестик менен каптаган алгачкы бор мезгилинин чөкмө тектеринде пайда болгон.

Боксит горизонту бир тектүү эмес, бул Гов кенин Вейп платосунан түп-тамырынан ажыратат. Гов кенинде негизинен горизонттун чокусуна чейин стратиграфиялык ырааттуулукта төрт боксит катмары айырмаланат: боксит түйүндөрүнүн төмөнкү катмары, каверноз катмары, цементтелген пизолит катмары, эркин (цементтелбеген) пизолиттер.

Гов кениндеги бокситтин орточо калыңдыгы 3,7 м ди түзөт жана борбордон платонун чек арасына чейин төмөндөйт. Бокситтин курамы да өзгөрөт, платонун борборундагы алюминийдин курамы жогору болуп, платонун чек арасына карай төмөндөйт, ал жерде алюминийдин азайышы менен бир эле учурда кремнийдин курамы көбөйөт (4 - сүрөттү кара). Гов кенинде бул зоналаштыруу ар бир платодо кайталанып турат, бул Батыш Африканын кендеринен айырмаланып, бул жерде эрозиялык кесилиштер жашыраак болуп, латериттик талкалануу кабыгынын пайда болушунан кийин пайда болгон.



4 - сүрөт. Боксит кендерин зоналарга бөлүү: (a) Гов (Австралия); (b) Вейп (Австралия); (c) Сангареди (Гвинея)

Боксит катмарларынын структурасы ар кандай протолиттерде бокситтер пайда болгондо дагы татаалдашат. Мисалы, Бразилиядагы Амаргоза кенинде, талкалануу кабыгы жана ага байланыштуу бокситтер анартозиттер менен гнейстердин талкалануу учурунда пайда болгон, жана баштапкы тектердин айырмачылыгынын натыйжасында бокситтердин эки түрүнүн курамы ар башкача.

Боксит кендеринде автор кендердин запастарын классификациялоо үчүн бургулоо тармагын тандоонун принциптерин иштеп чыккан. Бул жерде биринчи жолу рудадагы металлдын орточо камтылышы менен анын экономикалык жактан минималдуу мүмкүн болгон курамы (break even grade) ортосундагы айырмачылык мүмкүн болгон ката (мүмкүн болгон катанын мааниси) катары колдонуу керектиги көрсөтүлдү. Андан кийин, стохастикалык ыкмаларды колдонуу менен оптималдуу тандоо тармагы аныкталды, анда ката мүмкүн болгон мааниден ашкан жок. Автор тарабынан сунушталган ыкма Австралия, Бразилия, Африка, Канада жана Жакынкы Чыгыштагы көптөгөн ишканаларда киргизилген жана ийгиликтүү колдонулган.

Минералдык кумдун кендери. Англис тилдүү классификацияда "mineral sands" деп аталган минералдык кумдар титан жана цирконийдин чачыранды кендери

менен чагылдырылган. Бул топко бири-бирине тыгыз байланышкан үч түр кирет: жээк-деңиз палео-чачырандылары, эол кумдары (кум дөңсөлөрү) жана ири аллювий чачырандылары.

Автордун негизги эмгектери Түштүк Африкадагы кумдуу дөңсөө комплекстерде пайда болгон Ричардс-Бейдеги чачырандылары титан кенинде, жана Мозамбиктеги Корридор Сэндс жана Мадагаскардагы Форт Дофин кендеринде жүргүзүлгөн. Акыркы эки кен жээк-деңиз палео-чачырандыларынын тибине кирет.

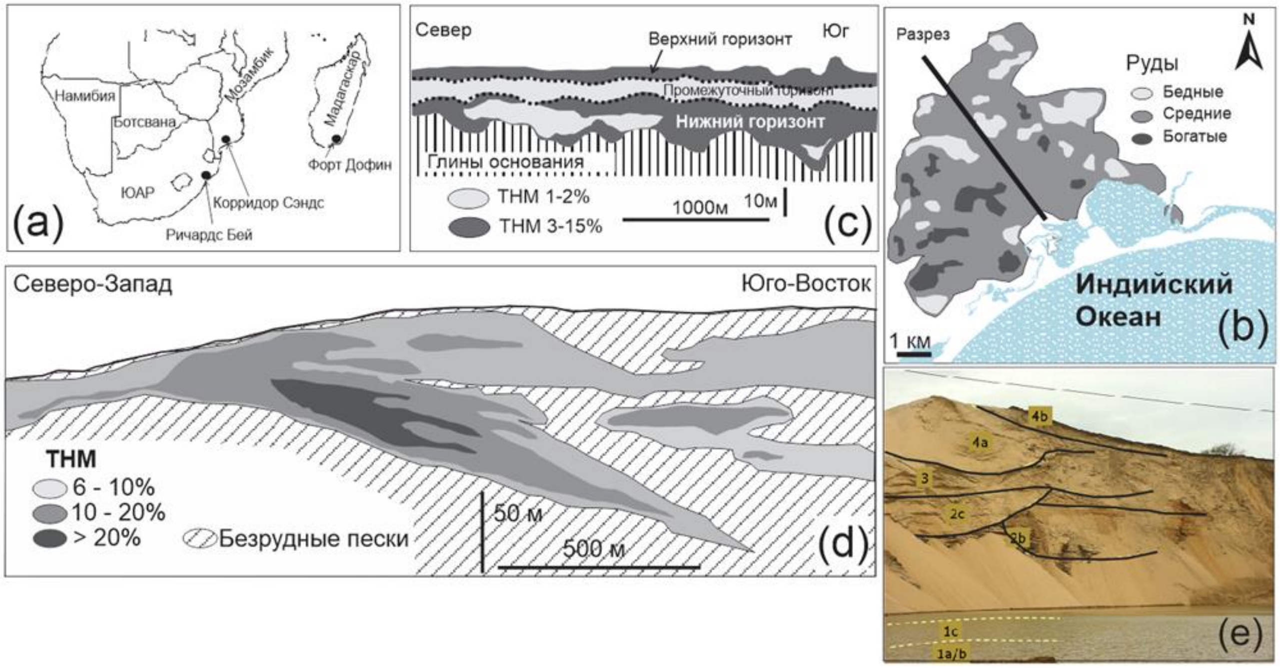
Ричардс Бэй кени Түштүк Африкадагы Атлантика жээгин бойлогон кум дөбөлөр системасы менен көрсөтүлгөн төртүнчүлүк мезгилдин кумдарынан турат (5 - сүрөттү кара). Кумдар эркин жана айрым жерлерде гана гиперген процесстеринин натыйжасында начар цементтелген.

Кум дөбөлөр орто жана акыркы плейстоцен мезгилдериндеги деңиз деңгээлинин өзгөрүшүнүн натыйжасында пайда болгон. Деңиз түбүнүн сыртка чыгышы кумдарды эол процесстери менен кайрадан бөлүштүрүү менен коштолуп, ондогон чакырымга созулган жээк дөбөлөрүнүн комплексин түздү. Ричардс Бей кенинин айланасындагы дөңсөөлөрдүн калыңдыгы 200 метрден ашат (5 - сүрөттү кара). Кум дөбөлөр кийинки талкалануусу линзалардын жана кальцреттин жана феррициттин катмарларынын пайда болушуна алып келген.

Мозамбиктин түштүгүндө жайгашкан Корридор Сэндс кени деңиз палео-чачырандыларынын тибине кирет. Бул дүйнөдөгү ири ильменит кени, ал эми WMC Resources анын орточо минералдык курамы (ТНМ) 5 % менен 16,5 миллиард тонна запасы бар деп эсептейт.

Корридор Сэндс кени ар кандай фациялык шарттарда кумдардын узак убакыт бою топтолушу жана кайра бөлүнүшү процессинде пайда болгон. Кум топтоонун көп этаптуу процессинин натыйжасында кендин татаал стратиграфиясы өнүккөн. Бөлөк стратиграфиялык бирдиктер (домендер) бурчтук дал келбестиктер менен пайда болгон линзалар, катмарлар, ленталар, призма жана сына түрүндөгү телолор менен чагылдырылган (5 - сүрөттү кара). Түзүлүү шарттарына ылайык, кумдар деңиз жээгиндеги жана деңиз суусунун фацияларына таандык, алар заманбап флювиалдык жана эол кумдары менен бири-бирине дал келбейт. Стратиграфиялык бирдиктердин контакттары кескин жана көп учурда топурактын катмарлары менен белгиленет, бул чөкмөлөрдүн үзгүлтүккө учурашын көрсөтөт.

Ильмениттин жана башка руда минералдарынын курамындагы кумдар байыркыдан жашыраакка чейин көбөйөт. Жашыраак кумдарды руда минералдары менен байытуу кумдарды кайра иштетүүнүн жана кайра жайгаштыруунун натыйжасында болгон.



5-

5 - сүрөт. (a) Африканын түштүк-чыгышындагы минералдык кумдардын схемасы; (b) Форт-Дофин кениндеги ТНМ (пайдалуу минералдар) концентрациясынын таралуу схемасы, (Мадагаскар);
(c) Форт-Дофин талаасынын геологиялык бөлүгү;
(d) Коридордогу Кумдар талаасынын геологиялык бөлүгү (Мозамбик);
(e) Түштүк Африкадагы Ричардс Бей булагындагы титан камтыган кум дөбөлөр.

Мадагаскардын түштүгүндө жайгашкан Форт-Дофин кени дагы деңиз чополорунун горизонтуна ири деңиз палео-чачырандысы топтолгон (5 - сүрөттү кара). Кумдуу мүчөнүн түбүндө жакшы сорттолгон жана тегеректелген майда бүртүкчөлүү кумдардан турган төмөнкү горизонт айырмаланат, бул алардын аз энергетикалык деңиз бассейнине түшкөнүн көрсөтөт. Үстүнкү кумдар руда минералдарынын курамы боюнча айырмаланып, ушул өзгөчөлүгүнө жараша орто жана жогорку горизонтторго бөлүнөт (5 - сүрөттү кара).

Бул кендерде автор үлүлөрдүн сапатын тандап алуу үчүн контролдоо методдорун өркүндөтүп, текшерип, ар кандай маалыматтарды салыштыруу CV% параметрин колдонгон.

«Маалыматтардын сапатын көзөмөлдөө (QAQC)» аттуу үчүнчү бөлүмдө геологиялык үлгүлөрдүн репрезентативдүүлүгү жана сапаты дубликаттарды тандоо менен текшерилиши келтирилген. Бул ыкма тарыхый жактан геологияда калыптанып, кен телолорунан жогорку сапаттагы жана ишенимдүү үлгү алууну камсыз кылуу үчүн көп жылдар бою тоо-кен тармагында ийгиликтүү колдонулуп келе жатат. Практикада, дубликат үлгү скважинадан же бургулоочу өзөктүн экинчи жарымынан алынган дагы бир үлгү болушу мүмкүн. Дубликаттар, ошондой эле,

үлгүлөрдү даярдоо процессинде, майдаланган үлгүлөрдү атайын бөлүштүргүчтөрдүн жардамы менен азайтканда, системалуу түрдө алынат. Дубликаттардын үлгүлөрүн даярдоо биринчи үлгүлөрдү даярдоо үчүн колдонулганы менен бирдей болушу керек жана адатта ошол эле лабораторияда жүргүзүлөт. Айрым дубликаттар тышкы көзөмөлдөө үчүн башка арбитраждык лабораторияда талданат.

Дубликаттардын анализдери баштапкы үлгүдөн айырмаланат, бул тандалган минералдаштыруунун гетерогендүүлүгүнө (Fundamental Sampling Error - Фундаменталдык тандоо катасы) жана үлгүлөрдү даярдоодогу анализдеги каталарга байланыштуу (Abzalov, 2016). Маселен, ири бүртүкчөлүү алтын канчалык гетерогендүү болсо, анализдин натыйжаларынын жакшы кайталанышына жетишүү ошончолук кыйын болот.

Үлгүнү текшерүү процедурасы салыштырмалуу жөнөкөй. Дубликат түпкү нуска менен салыштырылат жана табылган айырмачылыктардын негизинде үлгүлөрдүн репрезентативдүүлүк даражасы бааланат. Методдун көрүнүктүү жөнөкөйлүгүнө карабастан, маалыматтарды иштеп чыгуунун бирдиктүү тутуму жок. Субъективдүү тандалып алынган жана ар дайым үлгүлөрдүн репрезентативдүүлүк даражасын ишенимдүү баалоого мүмкүнчүлүк бербеген ар кандай статистикалык методдор колдонулат.

CV% - салыштырмалуу үлгү алуу катасынын универсалдуу көрсөткүчү. Автор CV% критерийин иштеп чыккан (Abzalov, 2008) жана аны салыштырмалуу тандоо катасынын универсалдуу чарасы катары сунуш кылган. Башка критерийлерден айырмаланып, мисалы, Ричардс-Чечет же MAPD критерийлери, CV% критерийи тандоо катасын сандык түрдө руда телосунун геологиялык өзгөрүлмөлүүлүгү менен салыштырып, ошонун негизинде тандоонун сапатынын жана санынын оптималдуу катышын табууга мүмкүндүк берет (б.а., үлгү алуу катмары менен үлгүлөрдүн ортосундагы аралык). Геологиялык факторлордун таасирин эске алуу мүмкүнчүлүгүнөн улам, CV% критерийи эгизделген скважиналарды анализдөөгө дагы ылайыктуу.

Проба алуудагы салыштырмалуу ката (relative error) анализдин пробасынын жана анын дубликатынын ортосундагы айырмачылыктан эсептелет жана адатта маанилердин таралышынын дисперсиясы катары берилет, жуптун орто ченине ченемделген: үлгү - дубликат.

Математикалык жактан бул (3.1.) теңдеме менен берилген

$$CV\% = 100\% \times \sqrt{\frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{(a_i - b_i)^2}{(a_i + b_i)^2}\right)}, \quad (3.1.)$$

бул жерде a_i жана b_i тиешелүүлүү i-жуптун үлгүсү жана дубликаты; N - маалымат жуптарынын саны.

Бул формула жупташкан маалыматтардын вариация коэффициентинин пайыздык көрсөткүчү менен берилген математикалык туюнтмасы, ошондуктан CV% аббревиатурасы колдонулат. 3.1. туюнтмасынын вариация коэффициенти деп аталган статистикалык өзгөрмө менен дал келүүсүн бир мисал менен көрсө болот, CV% маанисин эсептөөнүн бир гана жуп үлгүсүндө - дубликат, башкача айтканда, 3.1. формуласында N 1ге барабар.

Эске салсак, вариациянын статистикалык коэффициенти CV - бул тандоонун стандарттык четтөөсүнүн орточо маанисине болгон катышы.

Демек, $$CV\% = 100\% \text{ x } \frac{\sigma}{m},$$

m - бул орточо арифметикалык, - стандарттык четтөө.

Стандарттык четтөө - бул өзгөрүлмө дисперсиясынын квадраттык тамыры, б.а. $\sqrt{\sigma^2}$. Дисперсия (σ^2), ошондой эле тандоонун бөлүштүрүлүшүнүн экинчи борбордук учуру деп аталат, ал (3.2.) теңдеме менен эсептелет,

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \frac{\sum x_i}{k})^2}{k - 1} \tag{3.2}$$

мында x - өзгөрмөнүн мааниси, k - чоңдуктардын саны (тандоонун көлөмү).

Ушул формуланын жардамы менен, бир гана үлгү-дубликат жупту камтыган тандоонун дисперсиясын эсептейбиз (б.а. k = 2) (3.3):

$$\sigma^2 = \frac{(a_1 - \frac{a_1 + b_1}{2})^2 + (b_1 - \frac{a_1 + b_1}{2})^2}{2-1} = \frac{(\frac{2a_1 - a_1 - b_1}{2})^2 + (\frac{2b_1 - a_1 - b_1}{2})^2}{1} = \frac{(a_1 - b_1)^2 + (b_1 - a_1)^2}{4} = \frac{(a_1 - b_1)^2}{2} \tag{3.3}$$

(3.3) туюнтмасынан тамыр алып, тандоонун (3.4) стандарттык четтөөсүн чыгарабыз.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(a_1 - b_1)^2}{2}} \tag{3.4}$$

Бул тандоонун орточо мааниси $m = \frac{a_1 + b_1}{2}$ (3.5). Демек, (3.4) теңдеме менен алынган стандарттык четтөөнүн маанисин тандоонун орточо маанисине (3.5) бөлүп, биз (3.6) тандоонун вариация коэффициентин алабыз, ал мурда сунушталган окшош теңдеме CV% (3.1), эгерде тандоо бир жупту камтыса, анда үлгү дубликат болуп саналат.

$$CV\% = 100\% \text{ x } \frac{\sqrt{\frac{(a_1 - b_1)^2}{2}}}{\frac{(a_1 + b_1)}{2}} = 100\% \text{ x } \frac{\sqrt{2(a_1 - b_1)^2}}{(a_1 + b_1)} = 100\% \text{ x } \sqrt{2\frac{(a_1 - b_1)^2}{(a_1 + b_1)^2}} \tag{3.6}$$

Ошентип, (3.1) теңдеме менен эсептелген CV% мааниси, жупташкан маалыматтар менен көрсөтүлгөн (3.7) тандалган кокустук чоңдуктун вариация коэффициенти.

$$CV\% = 100\% \text{ x } \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\sigma_i^2}{m_i^2}} = 100\% \text{ x } \sqrt{\frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{(a_i - b_i)^2}{(a_i + b_i)^2}\right)} \quad (3.7).$$

Автор бул критерийди ондогон ар кандай кендерде текшерип, тандоонун катасынын алгылыктуу деңгээли катары колдонула турган баалуулуктарды сунуш кылган (1 - таблицаны кара).

1-таблица - Кендин түрү боюнча мүмкүн болгон CV% (Abzalov, 2008)

Рудалануу түрү	Пайдалуу элементи	Тоо-кен индустриясындагы эң мыкты көрсөткүчтөр	Типтүү (мүмкүн болгон) жыйынтык	Проба алуу түрү
Алтын рудасы, ири көлөмдүү минералдаштыруу текстурасы, алтындын бирдей эмес бөлүштүрүлүшү	Au (г/т)	20 (?)	40	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
Алтын рудасы, негизинен орто көлөмдүү минералдаштыруу текстурасы	Au (г/т)	20	30	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
	Au (г/т)	10	20	Талкаланган үлгүнүн дубликаттары
Cu-Mo-Au порфирлүү	Cu (%)	5	10	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
	Mo (%)	10	15	
	Au (г/т)	10	15	
	Cu (%)	3	10	Талкаланган үлгүнүн дубликаттары
	Mo (%)	5	10	
	Au (г/т)	5	10	
Темир рудасы, CID түрү	Fe (%)	1	3	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
	Al_2O_3 (%)	10	15	
	SIO_2 (%)	5	10	
	LOI (%)	3	5	
Cu-Au-Fe скарндары жана IOCG тибиндеги	Cu (%)	7.5	15	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
	Au (г/т)	15	25	

кендер (Олимпик дамбасы)	Cu (%)	5	10	Талкаланган үлгүнүн көчүрмөлөрү
	Au (г/т)	7.5	15	
Жез-никель сульфиди	Ni (%)	10	15	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары
	Cu (%)	10	15	
	Платиноидд ер (г/т)	15	30	
	Ni (%)	5	10	Такталган үлгүнүн дубликаттары
	Cu (%)	5	10	
	Платиноидд ер (г/т)	10	20	
Титан палео-чачырандылары	Оор фракция (%)	5	10	Талкаланбаган үлгүнүн дубликаттары

Пробанын сапаты менен проба алуу тармагынын өз ара катыштыгы. Эсептелип чыккан запастын ишенимдүүлүгү пробалардын сапатына жана тандоо тармагына байланыштуу. Бул эки фактор бири-бирине байланыштуу, ошондуктан геологдордун оптималдуу катышын табууга умтулуусу жана аны тоо-кен иштеринде жана геологиялык жумуштарда чыгымдарды төмөндөтүү үчүн колдонушу табигый нерсе. Мисалы, «эйркор» бургулоосун «sonic» (вибрациялык ыкма) бургулоо менен алмаштыруу Түштүк Африкадагы Ричардс Бей кениндеги скважиналардын ортосундагы аралыкты эки эсе көбөйттү. Бул өнөр жай бөлүмдөрүн даярдоону бир кыйла ылдамдатууга жана жумуштардын наркын бир кыйла төмөндөтүүгө мүмкүндүк берди.

Автор геостатистикалык жана стохастикалык моделдөөнү колдонуп, берилген бургулоо тармагы үчүн кен запастарын эсептөөнүн ишенимдүүлүгү негизинен вариограмманын "самородок (таза түрүндө кездешкен алтын) эффектинин" чоңдугуна көз каранды экендигин тастыктады (6 - сүрөттү кара) (Abzalov, 2014, b). Ошол эле учурда, вариограмманын аныктамасынан белгилүү болгондой, "самородок эффектинин" көлөмү эки факторго көз каранды. Биринчи фактор - проба алуу катасы, экинчиси - табигый, б.а. кендин геологиялык, кыска аралыкка өзгөрүлүп турушу. Ошентип, эгерде биз эки факторду тең сандык мүнөздөштүрө турган болсок, анда алардын "самородок эффектине" кошкон салымын баалап, үлгүнүн сапаты менен геологиялык чалгындоо тармагындагы үлгүлөрдүн ортосундагы аралыктын оптималдуу катышын эсептей алабыз.

Автор эки факторду санын аныктоо үчүн жуптук мүнөздөгү салыштырмалуу вариограмманы (pair-wise relative variogram) (3.8) колдонууга болот деп тапкан.

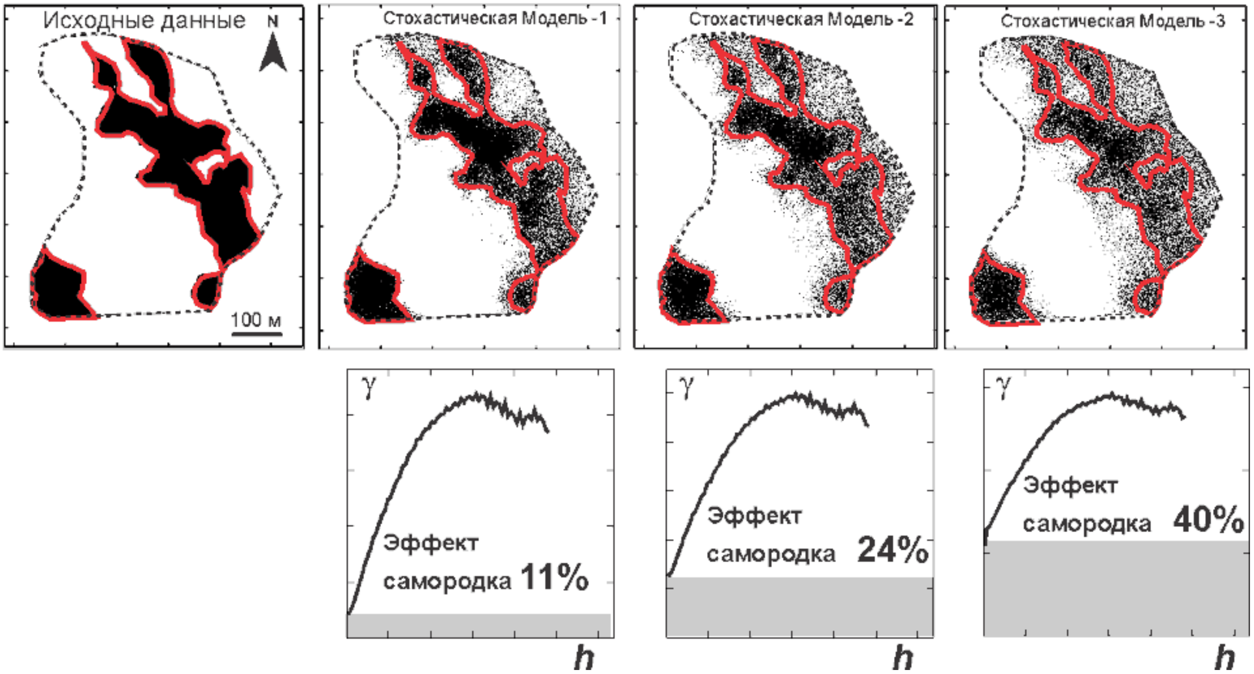
$$\gamma_{PWR}(\mathbf{h}) = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{[Z(x_i) - Z(x_i + \mathbf{h})]^2}{[Z(x_i) + Z(x_i + \mathbf{h})]^2} \quad (3.8),$$

мында Z (x_i) жана Z (x_i + **h**) (x_i) жана (x_i + **h**) чекиттериндеги мейкиндиктин өзгөрмөсүн (**h**) вектору менен бөлүп көрсөтөт.

Туюнтма (3.8.) CV% параметринин квадратына окшош, башкача айтканда, ал маалымат үлгүсүнүн салыштырмалуу дисперсиясына барабар (σ^2_{RSV}) (3.9).

$$\sigma^2_{RSV} = CV^2 = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{(a_i - b_i)^2}{(a_i + b_i)^2}\right) \qquad (3.9),$$

Демек, эки чоңдукту бирдей формула аркылуу эсептесе болот. Ушунун негизинде, "самородок эффектине" эки фактордун кошкон салымы сандык түрдө аныкталат: үлгүлөрдү алуу катасы жана кендин геологиялык бир тектүүлүгү. Бул CV% параметринин фундаменталдык мааниси (3.1). Биринчи жолу, үлгү алуу катасын сандык мүнөздөмөгө жана руда тулкусунун геологиялык өзгөрүлмөлүүлүгүнө салыштырууга мүмкүндүк берген бирдиктүү формула табылды.



6-сүрөт. "Самородок эффектинин" ар кандай чоңдуктагы вариограммаларынын жардамы менен түзүлгөн уран курамынын моделдери

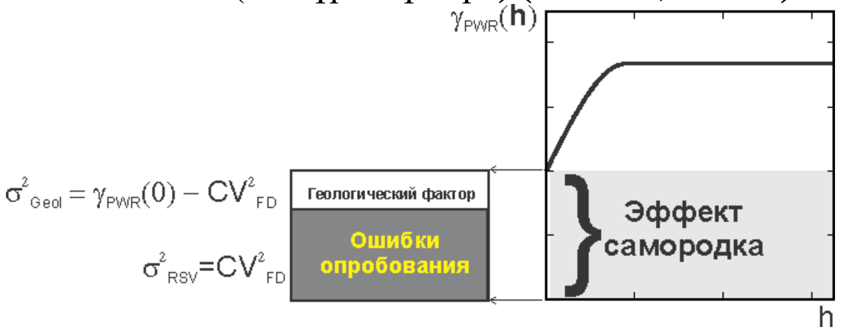
Методдун сүрөттөлүшү. Алгач, жуп-нормалдаштырылган (pair-wise relative variogram) салыштырмалуу вариограмма түзүлүп, "самородок эффектинин" (γ_{PWR} **(0)**) чоңдугу аныкталат. Бул параметр эки дисперсиянын суммасы, бири үлгү алуу катасынан келип чыгат (σ^2_{RSV}), экинчиси руда телосунун геологиялык гетерогендүүлүгүнө байланыштуу (σ^2_{Geol}) (7 - сүрөттү кара).

Биринчи дисперсия (σ^2_{Geol}) (3.9) теңдеме менен эсептелет, экинчиси (σ^2_{Geol}) эксперименталдык түрдө алынган самородок эффектинен (3.10) биринчи маанини алып салуу жолу менен аныкталат

$$\sigma^2_{Geol} = \gamma_{\mathrm{PWR}}(0) - \mathrm{CV}^2_{\mathrm{FD}} \qquad (3.10).$$

- постскрипт "FD" эсептөө үчүн талаа дубликаттарын колдонуу керек дегенди билдирет, б.а. бургулоочу өзөктүн экинчи жарымы.

Ар кандай типтеги үлгүлөр жана үлгүлөрдү даярдоо схемалары үчүн тандоо катасы (σ^2_{RSV}) жана геологиялык факторлор (σ^2_{Geol}) менен байланышкан дисперсиялык маанилерди аныктоо, үлгүлөрдүн сапаты жана санынын ортосундагы оптималдуу катыш эсептелет (7 - сүрөттү кара) (Abzalov, 2014 b).



7 - сүрөт. Геостатистикалык параметрге "самородок эффекти" эки фактордун салымын түшүндүрүүчү схема – үлгү алуунун сапаты жана руданын геологиялык өзгөрүлмөлүүлүгү

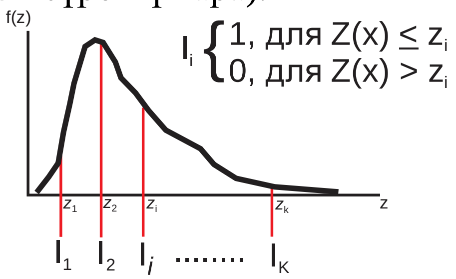
Сунушталган ыкманын практикалык натыйжалуулугу, эгер эсептөөлөрдө руда жоготууларын азайтуудан алынган экономикалык пайда кошумча эске алынса, анда тандоо схемасын оптималдаштыруу жолу менен жетишилет (Abzalov, 2016).

«Ыктымалдуу геологиялык моделдер» аттуу төртүнчү бөлүмдө кендин запастарын так баалоо жана аны иштетүү ыкмаларын тандоо үчүн рудалык телолор көрсөтүлгөн, алардын үч өлчөмдүү модели түзүлгөн. Рудалык телолордун геометриясын так чагылдыруудан тышкары, үч өлчөмдүү моделдери алардын ички түзүлүшүн, анын ичинде зоналаштырууну, рудасыз катмарчалардын болушун, кабатташ өзгөрүүлөрдү жана жанаша жаткан тектеринин жана рудалардын гипергендик талкалануунун зоналарынын таралышын чагылдырышы керек. Бул модель ошондой эле кендин коопсуз жана экономикалык жактан пайдалуу иштеши үчүн практикалык маанидеги чакан геологиялык телолорду камтышы керек, мисалы, пегматит тарамдары, дайкалар жана жаракалар. Геологиялык объектилерди так картага түшүрүү жана алардын ички түзүлүшүн так чагылдыруу дайыма эле мүмкүн боло бербейт, айрыкча татаал структурасы бар объектилерде, алардын деталдуу масштабдуу картага түшүрүү үчүн кенден проба алуу тыгыздыгы

жетишсиз. Демек, заманбап тоо-кен тармагы автордук монографияда каралып чыккан ыктымалдуулук моделдерин кеңири колдонот (Abzalov, 2016).

Рудалык телонун болжолдуу моделин куруунун ыкмаларынын бири автор тарабынан иштелип чыккан жана кендеги металлдын курамынын геостатистикалык көрсөткүчтөрүн колдонууга негизделген. Бул ыкма алгач Канададагы Мелиадин кениндеги алтын штокверкин бөлүп көрсөтүүгө арналган (Abzalov, 2016), мында ар кандай багыттагы жана өз ара кесилишкен структуралар тарабынан көзөмөлдөнгөн ар кыл жаштагы муундардын жана минералдык ассоциациялардын катышуусу руда телолорун салттуу детерминисттик ыкмалар менен бөлүп көрсөтүүгө жол бербейт (wireframes). Канададагы алтын рудасынын кенинде ыкма ийгиликтүү колдонулгандан кийин, Камбалды кендеринен жана порфир жезинин пайда болгон кендеринен тектоникалык жол менен бөлүштүрүлгөн жез-никель рудаларын, уран оромдорун бөлүп алуу үчүн ийгиликтүү колдонулган (Abzalov, 2016).

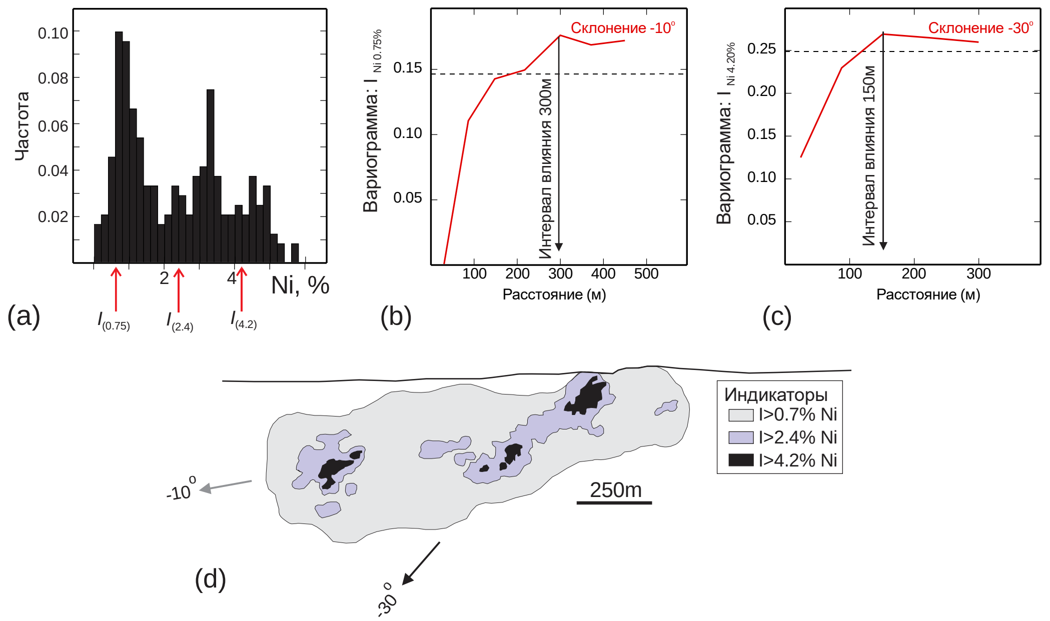
Ыктымалдуулук моделин түзүү үчүн рудадагы металлдын курамдык чегин аныктоо жана үзгүлтүксүз өзгөрмөнү геостатистикалык көрсөткүчтөргө айландыруу керек болгон (8 - сүрөттү кара).



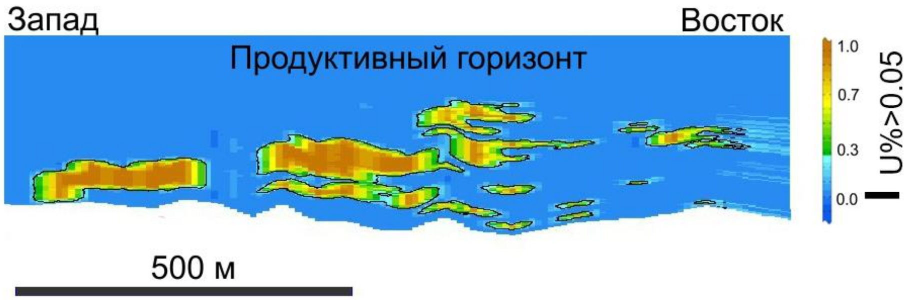
8-сүрөт. Үзгүлтүксүз өзгөрмөнү бир нече көрсөткүчкө бөлүү

Чектик мааниси берилген кендеги экономикалык рентабельдүү минималдуу борттук металлдын курамына жакын камтылгандай кабыл алынат. Руданын мамычалары бай болгон жерлерде, айрыкча, аларды жалпы рудалардын бөлүштүрүлүшүн көзөмөлдөгөн башка структуралар башкарса, кошумча көрсөткүчтөр тандалат (9 - сүрөттү кара).

Руда телосунун 3 өлчөмдүү мейкиндигинде тандалган көрсөткүчтөрдүн бөлүштүрүлүшү Кадимки Кригинг методу менен моделденет, анын жардамы менен индикатор мааниси блок моделине интерполяцияланып, ушул индикатордун ыктымалдык модели түзүлөт (9 - сүрөттү кара). Рудалык телолор жана айрым блоктор (домендер) блоктун босоголук мааниден ашып кетүү ыктымалдыгы боюнча бөлүнөт, аны геолог аныктай турган көрсөткүчтөрдүн ыктымалдык моделин баштапкы маалыматка жакындык деңгээлине жараша геологиялык кесилиштер менен салыштыруу жолу аркылуу аныктайт. Көрсөткүчтөрдү туура тандоо жана алардын мейкиндикте бөлүштүрүлүшүн чебердик менен талдоо аркылуу, бул ыкма уран оромдору сыяктуу структуралык татаал түрлөрү үчүн дагы кенди деталдуу 3 өлчөмдүү моделдерин түзүүгө мүмкүндүк берет (10 - сүрөттү кара).



9-сүрөт. Геостатистикалык модель, Клифф кени: (а) ыктымалдык моделин түзүү үчүн тандалган көрсөткүчтөрдүн мааниси көрсөтүлгөн никель курамынын гистограммасы; (б) жалпы кендерге туура келген I_{Ni} > 0 ,75 % индикаторунун варигиограммасы; (с) жогорку сорттогу рудаларга туура келген INi > 4,2 % вариограммасы; (г) ыктымалдык көрсөткүч модели.



10-сүрөт. Геостатистикалык индикатор методу менен контурланган уран түрмөгү (роллу)

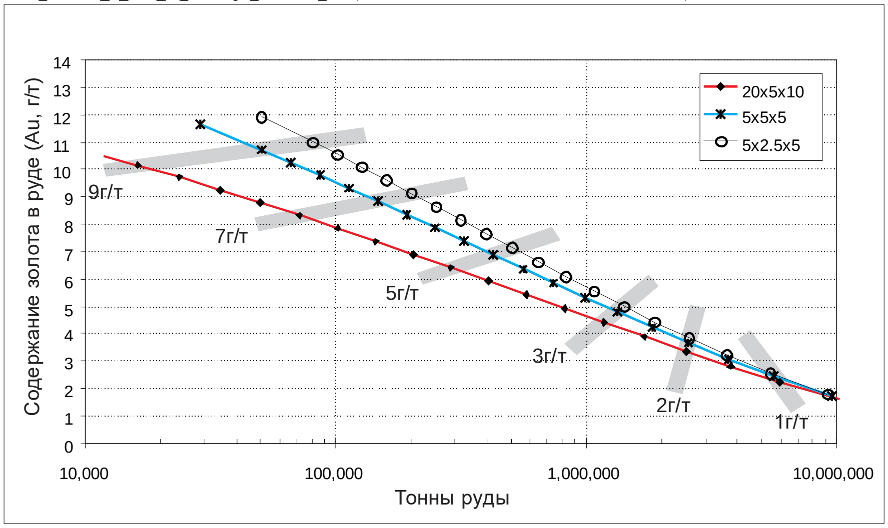
«Запастарды эсептөөнүн жаңы ыкмасы (LUC)» аттуу бешинчи бөлүмдө тоо-кен казып алуу тармагынын заманбап талаптары, кабыл алынган тоо-кен схемасы менен тандап калыбына келтириле турган минималдуу блоктордун көлөмүнө ылайык келген чакан блоктордогу запастарды эсептөөнүн зарылдыгын талап кылат. Англис тилиндеги адабияттарда SMU аббревиатурасы (selectively mineable unit-тандалма түрдө казылуучу бирдик) минималдуу алынуучу бирдиктер үчүн колдонулат, аны ушул жумушубузда колдонобуз.

Тилекке каршы, сызыктуу регрессиянын принцибине негизделген математикалык методдор, анын ичинде кригинг жана запастарды эсептөө үчүн кеңири колдонулган олуттуу чектөөлөр бар. Эгерде бургулоо тармагы бул

блоктордун көлөмүнөн бир нече эсе ашып кетсе, чакан блоктордогу запастарды эсептөө үчүн сызыктуу ыкмалар ылайыктуу эмес. Долбоорго салынган инвестицияга шек келтирип, баалоо катасы жол берилгис чоң болуп чыгышы мүмкүн. Мындай объекттер үчүн сызыктуу эмес геостатистиканын методдорун колдонуу керек. Жакынкы убакка чейин, сызыктуу эмес геостатистика көлөмү менен мазмунунун ортосундагы функционалдык байланышты баалоо менен чектелип келген, ал ар кандай SMU өлчөмдөрү үчүн эсептелген, бирок блоктордун жайгашкан жери белгисиз бойдон калган.

2006 - жылы автор геостатистикада чакан блоктордун көйгөйүн чечкен LUC (Localized Uniform Conditioning) аттуу жаңы ыкманы сунуш кылган (Abzalov, 2006). Бул ыкма иштин ушул бөлүгүндө сүрөттөлгөн жана автор тарабынан диссертациянын коргоого чыгарылган жоболорунун бири катары берилген.

Калыбына келтирилүүчү ресурстар (recoverable resources) – концепциясы. Кен казып алуу тармагында кендин алынган рудасынын пайызы казып алуу ыкмасынан көз каранды экендиги жалпыга маалым. Тоо-кен технологияларынын тандалмачылыгы канчалык жогору болсо, руданы калыбына келтирүү коэффициенти ошончолук жогору болот. Блоктун өлчөмдөрүнүн калыбына келтирилүүчү запастарга таасири 11 - сүрөттө көрсөтүлгөн. Албетте, бирдей борттук курамда руданын запасы бир кыйла айырмаланат, ошондуктан блок моделинин параметрлери берилген кенде казып алуу методунун тандалмачылыгына дал келиши керек (11 - сүрөттү кара). Берилген долбоордун SMUсуна туура келген блоктун көлөмү үчүн эсептелген резервдер геостатистикада калыбына келтирилүүчү ресурстар (recoverable resources) деп аталат.



11-сүрөт. Канададагы Мелиадин алтын кенинин сыналуучу участогунундагы алтындын ар кандай борттук курамдары (1ден 9 г/т чейин Au) жана ар кандай тоо-кен казып алуу ыкмаларына туура келген SMUнун өлчөмдөрү үчүн запастары (Abzalov, 2016)

Тоо-кен өндүрүшүнүн наркы, ошондой эле тоо-кен казып алуу ыкмасынан көз-каранды жана, адатта, ыкма тандап алуунун жогорулашы менен көтөрүлөт. Демек, шахталарды долбоорлоодо компаниялардын геологиялык кызматтарынын эң маанилүү милдеттеринин бири кирешенин максималдуу пайызына жетишкен оптималдуу ыкманы табуу болуп саналат. Бул үчүн, талданган тоо-кен казып алуу сценарийлерине туура келген ар кандай блок өлчөмдөрүн колдонуп, бир нече блок моделдерин түзүү керек. Башкача айтканда, тоо кенинин ар бир варианты үчүн блоктун көлөмү ушул ыкманын SMUсуна туура келген рудалык телонун (тулкунун) модели түзүлөт. Бул моделдер салыштырылып, ушул тармакта максималдуу экономикалык кирешелүүлүккө жете турган вариант тандалат.

Бул көйгөйлөрдү чечүү үчүн автор LUC методикасын иштеп чыккан (Abzalov, 2006), ал запастарды түздөн-түз берилген кендин SMU көлөмүндөгү блоктордо эсептөөгө мүмкүндүк берет жана кенен бургулоо тармагында колдонсо болот.

Теориалык негизи. Тандоо дисперсиянын пробалык көлөмүнө үзгүлтүксүз көз карандылык мыйзам ченемдүүлүгу интуитивдик деңгээлде байыртан белгилүү болуп келген жана геологдор тарабынан чоң көлөмдүү пробаларды натыйжалары менен салыштырып жатканда колдонулган, мисалы, өзөктүк (керн) пробаларды алууда ар дайым ушул нерсени эске алышкан. Геостатистикада бул байланыш жакшы изилденген жана (5.1) формула менен сүрөттөлөт, ал Криженин аддитивдүүлүк коэффициенти деп аталат. 5.1 формуласы кокустук чоңдуктун дисперсиясы менен анын өлчөмүнүн ортосундагы байланышты аныктагандыктан, анын геостатистикада кабыл алынган башка аталышы "көлөм-дисперсиялык байланыш" (volume-variance relationship) деп аталат.

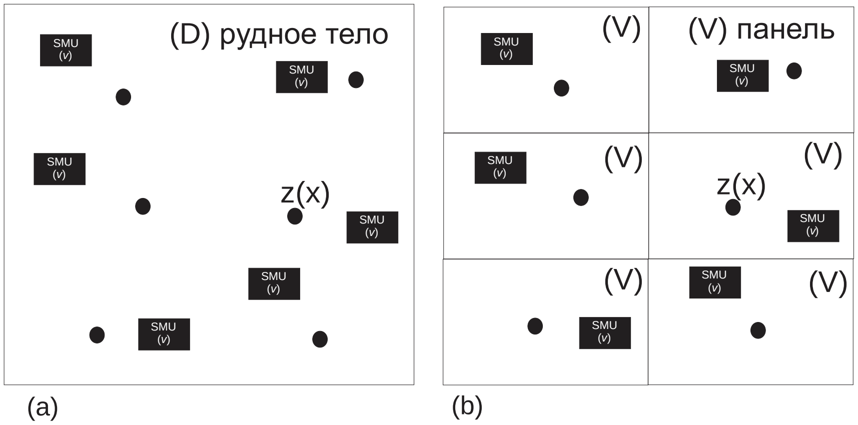
$$\sigma^2(\boldsymbol{v}\,|\,\boldsymbol{D}) = \sigma^2(0\,|\,\boldsymbol{D}) - \sigma^2(\text{o}\,|\,\boldsymbol{v}) = \sigma^2(0\,|\,\boldsymbol{D}) - \bar{\gamma}(\boldsymbol{v}) \tag{5.1}$$

мында (12 - сүрөттү карагыла) $\sigma^2(v|D)$ - чоңураак блоктун көлөмүнө (D) бөлүштүрүлгөн (v) блоктордогу металл курамынын дисперсиясы. Блоктун көлөмү (v) рудниктин SMUсуна туура келет. Блок (D) схемалык түрдө 12, а - сүрөттө көрсөтүлгөндөй, бүт рудалык телону чагылдырышы мүмкүн, же LUC ыкмасында, ал 12, b - сүрөттө көрсөтүлгөн чоң тик бурчтуу панель (V) болмок;

$\sigma^2(0|D)$ блок көлөмүндөгү (D) чекит маалыматтарынын дисперсиясы $z_i(x)$ (мисалы, өзөктүк үлгүлөр);

$\sigma^2(o|v)$ SMU (v) көлөмүндөгү $z_i(x)$ чекиттик маалыматтардын дисперсиясы.

"Көлөмдүн жана дисперсиянын катышы" принцибин математикалык жактан сүрөттөгөн 5.1 формуласы, калыбына келтирилүүчү резервдерди баалоо үчүн колдонулган сызыктуу эмес геостатистикалык методдордун теориялык негиздемеси.



12-сүрөт: 5.1 теңдемесинде көрсөтүлгөн өзгөрүлмөлөрдү түшүндүрүүчү схема: (a) руда телосунун көлөмүндө (D); (б) рудалык тело (D) панелдерге бөлүнөт (V)

LUC (Localised Uniform Conditioning) методу (ыкмасы). LUC ыкмасы модернизацияланган UC (Uniform Conditioning) ыкма болуп эсептеленет. Геостатистикалык ыкма белгилүү бир көлөмдө (V) металлдын (Z) статистикалык бөлүштүрүлүшүн сүрөттөгөн сызыктуу эмес функциянын (conditional expectation of a non-linear function) шарттуу күтүүсүн эсептөөнү камтыйт, бул көлөм панель деп аталат, ал тик бурчтуу формада жана бир кыйла чоң блок. Акыркысы көптөгөн SMUлар (12, b - сүрөт) блоктору. Металлдын курамы, z(v), чакан SMUларда (v) берилген.

Шарттуу математикалык күтүү Z(V) панелиндеги эсептелген металлдын орточо курамына карата эсептелет. Ошентип, UC жана LUC методдору үчүн панелдин (V) металлдык курамы белгилүү болушу керек. Иш жүзүндө панелдеги металлдын орточо курамы (V) стандарттык ыкмалардын бири менен эсептелгендей кабыл алынат (мисалы, кадимки кригинг), б.а. Z * (V) мааниси эсептелет.

(V) панелин түзгөн SMU блоктору z(v) боюнча металлдын статистикалык бөлүштүрүлүшүн сүрөттөгөн сызыктуу эмес функция (Lantuejoul, 1988) дискреттүү Гаусс моделинин эки теңдемелер системасын (5.2 жана 5.3.) түзүү менен оңой эле эсептелет. Биринчи теңдеме, (5.2.), чекиттик маалыматтардын дисперсиясынын (б.а. пробалар) жана SMU блокторунун (v) дисперсиясынын ортосундагы байланышты сүрөттөйт. Экинчи теңдеме (5.3.), чекиттик маалыматтардын жана панелдин (V) дисперсияларынын катышын сүрөттөйт.

$$\boldsymbol{Z(v)} = \phi_v(\boldsymbol{Y(v)}) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_k}{k!} r^k H_k(Y(v)) \tag{5.2.}$$

$$\boldsymbol{Z(V)} = \phi_V(\boldsymbol{Y(V)}) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_k}{k!} s^k H_k(Y^*(V)) \tag{5.3.}$$

Бул теңдемелерди чечүү менен, стандарттык Гаусс өзгөрмөлөрүнө айланган чекиттик маалыматтардын (пробалардын) жана блоктордун, (c) жана (r) корреляция коэффициенттерин эсептөөгө болот, мында (s) панельдин проба корреляциялык коэффициенти жана (r) SMUнун проба корреляциялык коэффициенти. Бул коэффициенттердин катышы (s/r) SMU (v) жана панелдин (V) корреляция коэффициентине (rvV) барабар. Ошентип, (r) жана (s) коэффициенттерин эсептеп, z(v) өзгөрмөсүнүн статистикалык бөлүштүрүлүшүн сүрөттөгөн сызыктуу эмес функцияны алабыз. Математикалык күтүүсүн борттун тандалган маанисине салыштырмалуу эсептесек болот (5.4. - 5.6.).

$$T_v(z_C) = E\left[I_{Z(v)\geq z_C}\left|Z^*(V)\right.\right] = E\left[I_{Y_v\geq y_C}\left|Y_V^*\right.\right] = 1 - G\left\{\frac{y_C - \frac{s}{r}Y_V^*}{\sqrt{1-\left(\frac{s}{r}\right)^2}}\right\} \quad (5.4.)$$

$$Q_v(z_C) = E\left[Z(v)I_{Z(v)\geq z_C}\left|Z^*(V)\right.\right] = \sum_{k=1}^{N}\left(\frac{s}{r}\right)^k H_k(Y_V^*)\sum_{j=1}^{N}\varphi_j r^j\int_{y_C}^{+\infty}H_k(y)H_j(y)g(y)dy \quad (5.5.)$$

$$M_v(z_C) = \frac{Q_v(z_C)}{T_v(z_C)} \quad (5.6.)$$

Бул чечим өткөн кылымдын 70 - 80 - жылдарында табылган (Lantuejoul, 1988), бирок иш жүзүндө көп колдонулган эмес, анткени бул ыкма (V) панелиндеги SMUлардын жайгашкан жерин аныктоого мүмкүнчүлүк бербей, эсептөө менен гана сызыктуу эмес моделдин статистикалык мүнөздөмөсү менен чектелген.

Методдун андан аркы өнүгүшү 2006 - жылы автордун эмгектери тарабынан сунушталган (Abzalov, 2006). Модернизацияланган ыкма панелдин SMUлар боюнча металл бөлүштүрүлүшүн эсептейт жана панелдеги SMUнун жайгашкан жерин аныктайт. Башкача айтканда, ыкма рудадагы металлдын курамына жергиликтүү баа берүүгө мүмкүндүк берет, ошол себептен ал Localised Uniform Conditioning (LUC) деп аталып калган. Ошондой эле бул ыкма кендин көлөмдүү моделин белгилүү бир рудниктин SMUсуна туура келген чакан блокторго бөлүп курууга жана ар бир SMU блогундагы металлдын курамын эсептөөгө мүмкүндүк берет. Бул үчүн панель физикалык түрдө SMU блокторуна бөлүнүп, темир курамы ар бир SMU үчүн төмөнкү шарттар үчүн эсептелет:

- панелдеги металлдын орточо курамы Z * (V) барабар болгон учурда;

- панел резервдеринин эксперименталдык ийри сызыгы - "көлөмдүн жана дисперсиянын катышы" принцибине туура келсе, башкача айтканда, ал (5.2 жана 5.3) теңдемелерин канааттандырат.

LUC методу өзүнүн прототиби болгон UC методу менен жалпы математикалык фундаментке негизделен. Эки метод тең SMUлар тарабынан калыбына келтирилген кендин запасын эсептөө үчүн 5.2 жана 5.3 тендемелер топтомун колдонушат. Ушул

теңдемелер системасын чечүү менен, панелдин запастарынын тандалган кескин класстан көз карандылыгынын графиги курулат. Андан тышкары, LUC ыкмасы эсептелген панелдик запастардын ийри сызыгын чыныгы 3 өлчөмдүү мейкиндикке бөлүштүрөт, буга чейин бул мүмкүн эмес болчу.

LUC методу боюнча запастарды эсептөө жана локалдаштыруу бир нече маселелерди ырааттуу чечүү жолу менен жүргүзүлөт. Алгач, ушул панель үчүн запастын кескин класстан көз карандылыгынын графигин эсептеп чыгуу керек (13, а - сүрөттү кара). Андан ары, бул ийри SMUнун өлчөмдөрүнө туура келген сегменттерге бөлүнөт (дискреттешет) (13, а - сүрөттү кара). Ар бир тандалган сегмент (GCi) үчүн, графикти дискретирлөө жолу менен (13, а - сүрөттү кара), төмөнкү жана жогорку чекиттерди табуу керек (5.7.)

$$GCi \subset \{TGCi\ (zi),\ TGC\ i+1\ (zi+1)\},\ \text{жана}\ GCi \subset \{zi,\ zi+1\}, \qquad (5.7.)$$

мында TGCi (zi) борттук курамдагы панелинин запасы (тонна) жана TGCi+1 (zi+1) борттук курамдагы кийинки мааниге ээ панелинин запасы.

Ошентип, ар бир SMU үчүн графикти дискредитациялоо жолу менен, борттогу тиешелүү маанилерди (төмөн жана жогорку) табууга болот.

$$SMUK \subset (TGCK,\ TGC\ K+1), \qquad (5.8)$$

мында k - металлдын курамы боюнча SMUнун номерин билдирет. Диаграммада (13, а - сүрөттү кара) "k" 1 ден 16 га чейинки маанилерди алат.

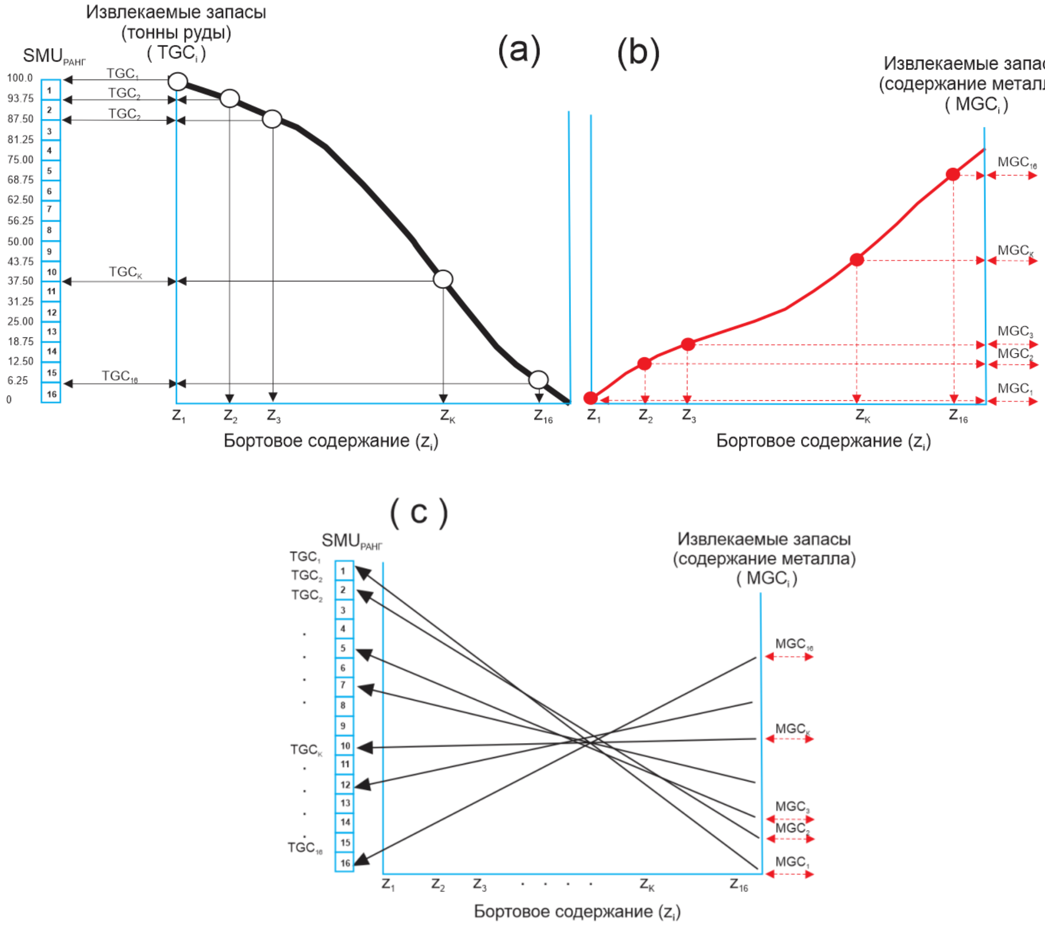
Төмөнкү жана жогорку борттун курамдарын колдонуп, SMU блокторундагы металлдардын орточо курамдары (MGCi) эсептелет (13, b - сүрөттү кара). Бул чоңдуктар (MGCi) математикалык жактан сызыктуу эмес функциядан эсептелгенин тактайлы (13, b - сүрөттү кара).

Андан кийин табылган орточо баалар (MGCi) тиешелүү SMU ларга коюлушу керек. Бул үчүн панель бирдей блокторго (SMU) бөлүнүп, алардагы металлдын курамынын өсүү тартибинде жайгашкан. Ошентип, панелдеги бардык SMUлар үчүн панелдеги SMU бирдигинин рангын ыйгаруу үчүн сунуш кылынган (Абзалов, 2006) "к" номери берилет. 13, а - сүрөттө бул 1 ден 16 га чейинки сандар.

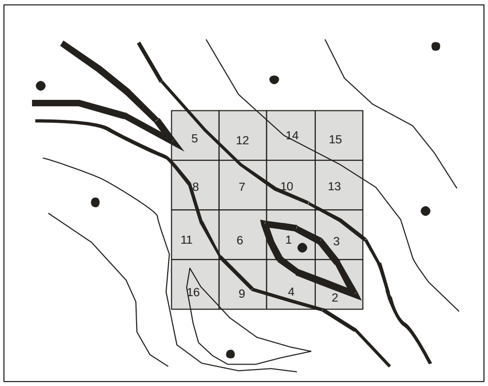
"k" рангынын номурун колдонуп, блоктордогу эсептелген металлдын курамынын орточо мааниси (13, b - сүрөттү кара) SMU блокторуна берилиши мүмкүн (13, с - сүрөт). Ал үчүн SMUk блогундагы "к" рангы диаграммадагы мазмунунун интервалынын (MGCi) "i" катар индекси менен дал келиши зарыл (13, с - сүрөттү кара).

Ошентип, LUC ыкмасы менен эсептөөлөрдү аяктоо үчүн, панелдеги SMUлардын катар номерлерин аныктоо керек. Металл курамынын өсүү тартибинде жайгашкан блоктордун гана иреттүү санын табуу талап кылынгандыктан, б.а. мазмунун так билүү талап кылынбайт, анда блокторду көмөкчү маалыматтарды, мисалы, геофизикалык иштин натыйжаларын, же жарым сандык геохимиялык тандоону колдонуп, рейтингге бөлсө болот. Иш жүзүндө, көпчүлүк геологдор SMU

блокторун кригинг же башка жеткиликтүү сызыктуу регрессия ыкмаларын колдонуу менен болжолдуу ушул блоктордун металлдык курамын аныктоо менен аныкташат (14 - сүрөттү кара).



13-сүрөт: LUC методу боюнча запастарды эсептөө схемасы: (а) сызыктуу эмес теңдемелер системасын чечүү жолу менен алынган резервдик теңдеме ийри сызыгын дискреттөө; (б) SMU блокторунда металлдын орточо камтылышын эсептөө; (с) эсептелген орточо көрсөткүчтөрдү SMU блокторуна берүү



14-сүрөт. SMU блокторунун металлдын курамы боюнча 1 ден 16 га чейинки рангга бөлүнүшү (б.а. бай руда блокторунан жарды блокторго)

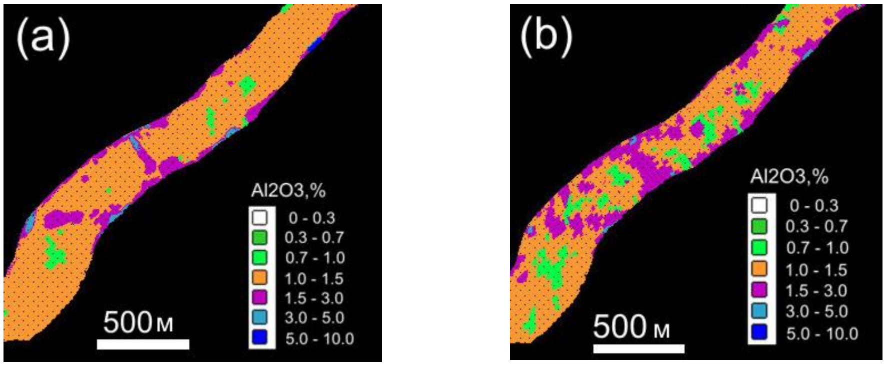
LUC методун колдонуунун мисалдары. LUC ыкмасы көптөгөн кендердеги запастарды эсептөө үчүн ийгиликтүү колдонулуп жатат, андан сырткары темир рудалары, түстүү металлдар, уран жана алтын кендери үчүн (Abzalov, 2006, 2014 a). Бул жерде ушул ыкманы ийгиликтүү колдонуунун бир мисалы келтирилген.

LUC ыкмасы Батыш Австралиядагы Янди кениндеги темир рудасынын запасын эсептөө үчүн колдонулган (Abzalov, 2014, a). Бул талаада геологиялык чалгындоо бургулоосу төмөнкү бургулоо тармактарын колдонуу менен жүргүзүлдү:

- Өлчөнгөн (Measured): 100 x 50 м.
- Белгилүү (Indicated): 200 x 100 м.
- Болжолдонгон (Inferred): 300 x 200 м.

Кен запастары бургулоо тармагына туура келген 100x50x10м блоктору менен эсептелген. Бул көлөм кенди иштетүүнү пландаштырууга ылайыктуу эмес, анткени тоо-кен казуу иштери 25x25x10 м SMU блоктору тарабынан жүргүзүлөт. Запастарды өндүрүштүн натыйжалары менен салыштырганда, запастар системалуу түрдө орто эсеп менен 4% тастыкталган эмес (Abzalov, 2016).

Аталган рудникте өндүрүштү пландаштырууну жана көзөмөлдөөнү өркүндөтүү үчүн жетекчилик LUC ыкмасын колдонууну чечти. Тактап айтканда, 25x25x10 м өлчөмүндөгү блоктун ушул ачык карьердеги тоо-кен иштеринин тандалмачылыгына туура келген блок моделин колдонуу чечими кабыл алынды. Ыкма алгач өзүнчө аймакта сыналган, анда 100x50 м бургулоонун натыйжалары боюнча, блоктун эки модели түзүлгөн (15 - сүрөттү кара). Биринчи модель кадимки кригинг ыкмасы менен эсептелген (15, а - сүрөт), экинчиси, LUC ыкмасы менен (15, б - сүрөттү кара), 25x25x10 м SMU блоктору боюнча курамын эсептөөгө мүмкүндүк берген.



15-сүрөт. 100x50 метрлик тармактагы бургулоо маалыматтарынын негизинде курулган блок модели: (а) Жөнөкөй Кригинг ыкмасы менен курулган; (b) LUC ыкмасы менен курулган

Эки блок моделин салыштырып көрсөк, LUC моделинин кригинг натыйжаларына караганда бир кыйла жогору чечилиши бар (15 - сүрөттү кара). LUC моделинин деталдуулугу ушул рудадагы тоо-кен иштеринин тандалмачылыгына жана казып алуу иштеринин натыйжаларына дал келет.

«Запастардын классификациясы» аттуу 6 бөлүмдө запастар боюнча эл аралык комитеттер келтириглен, мисалы JORC Australia-Asia Committee (2012), алар ресурстарды жана резервдерди классификациялоонун жалпы чегин белгилешет, бирок запастарды категориялоо ыкмасын жана параметрлерин аныкташпайт. Ушул белгисиздиктен улам, учурда резервдерди классификациялоо принциптери боюнча бирдиктүү пикир жок. Заманбап запастардын классификациясы көбүнчө геологдордун субъективдүү чечимдерине негизделет жана аткаруучунун тажрыйбасынан көз каранды. Мисалы, запастарды бургулоо тармагы боюнча классификациялоонун жалпы кабыл алынган методологиясы, адатта, мурунку иштин тажрыйбасын окшош максаттарда колдонот же жогору турган комитеттер тарабынан белгилениши мүмкүн (мисалы, ГКЗ), жана, ошого жараша алар белгилүү бир кендин өзгөчөлүктөрүн эске алышпайт.

Геостатистикалык классификация методдору жана көйгөйдүн абалы. Запастардын классификациясын стандартташтыруу үчүн тоо-кен тармагы мурдатан бери геостатистикалык ыкмаларды колдонуп келген. Көбүнчө запастар мейкиндиктин өзгөрүлмөсүнүн шарттуу стохастикалык моделин колдонуп, запастын ишеним деңгээлин аныктоо жолу менен классификацияланат. Англис тилдүү адабияттарда бул методдор «conditional simulation» деп аталат, алардын эң кеңири таралганы SGS (Sequential Gaussian Simulation) жана SIS (Sequential Indicator Simulation). Кригинг катасы жана атайын геостатистикалык функциялар дагы колдонулат.

Монографияда (Abzalov, 2016) жасалган иш боюнча руда запастарын классификациялоо үчүн сунуш кылынган геостатистикалык методдорду карап чыгуу, тоо-кен тармагында жетиштүү тажрыйба топтолгонун жана запастарды баалоо, тобокелдиктерди сандык геостатистикалык ыкмалардын кеңири спектри бар экендигин көрсөттү. Ошого карабастан, учурда математикалык жактан негизделген жана объективдүү классификация критерийлеринин бирдиктүү тутуму жок. Автор бирдиктүү ыкманы иштеп чыгуу үчүн төмөнкү параметрлер боюнча объективдүү аныктаманы табуу керек деп эсептейт.

Запастарды баалоонун катасын кайсы көлөмдө эсептөө керек. Учурда көлөмдөр бүтүндөй бир кенден баштап, кригинг моделинин өзүнчө блогуна чейин колдонулуп жатат. Акыркы жылдары кендин жылдык жана кварталдык өндүрүшүнө туура келген запастарды эсептөөдөгү катачылыктар аныкталганда, ыкма кеңири жайылды.

Кайсы ката алгылыктуу деп эсептелет. АКШдан жана Канададан келген эксперттер тобу ката чегин +/- 15 % га сунушташты, ал азыр запастарды классификациялоо үчүн кеңири колдонулуп жатат. Тилекке каршы, бул маани анын белгилүү бир тармакка ылайыктуулугун талдабастан колдонулат. Бул жалгыз гана ыкма эмес. Алгылыктуу катаны +/- 10%, +/- 20 %, +/- 40 %, ал тургай +/- 60 % деп эсептөө сунуштары айтылды.

Ката үчүн ишеним аралыгын аныктоо. Математикалык статистикадан белгилүү болгондой, кадимкидей бөлүштүрүлгөн тандоонун эки стандарттык четтөөсү 95 %

ишеним аралыгына туура келет (же 0,95 CL). Бул маани математикалык статистикада кеңири колдонулат жана автордун ою боюнча, геостатистикалык тобокелдиктерди баалоодо эң ылайыктуу. Бирок, иш жүзүндө көптөгөн эксперттер ишеним аралыгынын башка баалуулуктарын колдонушат, мисалы, 90 % (0,90 CL).

Автор сунуш кылган ыкма. Мурунку бөлүмдө, 1970 - жылдардан бери келе жаткан шарттуу стохастикалык моделдөө техникасы рудадагы эсептелген орточо металлдын курамынын катасын баалоо үчүн ийгиликтүү колдонула тургандыгы көрсөтүлгөн. Бул катанын өлчөмү запастарды классификациялоо үчүн колдонулушу мүмкүн. Ошондой эле запастарды классификациялоонун бирдиктүү мамилесин иштеп чыгуунун чектөөчү фактору болуп, бир нече маселелердин чечилбей жаткандыгы көрсөтүлдү. Алардын эң негизгиси, кайсыл ката мүмкүн болгон биридк катары кабыл алуу керек жана кандай көлөмдө руданы эсептөө керек.

Адатта, колдонулган каталардын чеги 15 % түзөт, автор тарабынан классификация принциптерин иштеп чыккан көптөгөн ишканаларда ылайыксыз деп табылган. Мисалы, “Rio Tintonун” көптөгөн кендеринде каталардын тарыхый калыптанган чеги 0,95 үчүң ишеним интервалы 10 % ды түздү. Тескерисинче, башка ишканаларда жол берилген каталардын босогосу жогору болгон, мисалы, массивүү жез-никель рудаларынын айрым рудниктеринде 20 % га чейин. Албетте, мүмкүн болгон катанын ар кандай маанисинин себеби ишкананын кирешелүүлүгүнүн деңгээлине түздөн-түз көз каранды, пайданын пайызы канчалык жогору болсо, эсептелген запастардан мүмкүн болгон четтөөсү ошончолук жогору болот.

Автор мүмкүн болгон катаны ишкананын экономикалык көрсөткүчтөрү боюнча аныктоону сунуш кылган. Бул үчүн эң ылайыктуу катары рудагы металлдын курамынын орточо курамы менен экономикалык минималдуу курамдын ортосундагы айырмачылык (break even grade). Бул «break even grade» параметри, долбоорлордун техникалык-экономикалык негиздемелери учурунда эсептелет. Автордун пикири боюнча, бул кендин запасын баалоодо мүмкүн болгон ката деңгээлин аныктоо үчүн эң ылайыктуу объективдүү критерий болуп саналат, ошондуктан автор аны классификациялоо схемасына негиз кылган.

Ката эсептелген руданын көлөмү дагы долбоордун техникалык-экономикалык өзгөчөлүктөрүнө шайкеш келиши керек жана анын негизги тобокелдиктерине багытталууга тийиш. Эң рационалдуусу катары Түндүк Америкалык адистери сунуштаган ыкма, ал ишканадагы кенди казып алуу ченемине ылайык запастын көлөмүн үчүн ишенимдүүлүгүн баалоону сунуш кылышкан. СССР ГКЗ тутумунундагы B_1 категориясына болжол менен туура келген «Measured» ресурстары үчүн алар кварталдык казып алуу көлөмүн колдонууну сунушташты. Жылдык казып алуунун көлөмү «Indicated» ресурстарды классификациялоо үчүн колдонулат, бул болжол менен СССР Мамлекеттик резервдер комитетинин C_1 категориясына туура келет. СССР Мамлекеттик резервдер комитетинин C_2 запастарына болжол менен туура келген «Inferred» категориясы азыраак өнүккөн бойдон калууда жана бул адистер тарабынан жөнгө салынган эмес.

Түндүк Американын адистери сунуш кылган бул критерийлер, долбоордун өндүрүш көлөмүн эске алуу менен, запастарды классификациялоого мүмкүндүк берет, ошондуктан бул ыкманы көптөгөн адистер, анын ичинде ушул эмгектин автору да тандап алыган. Бирок, автор иштеп жаткан ишканаларда ушул критерийлерди текшерип жатып, кварталдык өндүрүш көп учурда «Measured» запастарды классификациялоого туура келбейт деп тапкан. Мисалы, Батыш Австралиядагы Рокис Ревард никель кенинде, «Measured» запастар ай сайын өндүрүш ченине туура келген руда аз өлчөмдө классификацияланган. Запастардын «Measured» категориясына дагы катуу талаптар боксит рудаларынын биринде белгиленген. Бул ишканада казылып алынган жана байытылган руда баржалар менен жөнөтүлүп турган. Келишим боюнча, руданын өзгөчөлүгү жана төлөм ар бир баржа үчүн аныкталат, эгер баржага жүктөлгөн рудадагы зыяндуу аралашмалардын мүмкүн болгон курамынан ашса, ал компанияга айып салынат жана айып пул төлөшү керек. Ошондуктан, геологиялык чалгындоо иштеринин талаптары «Measured» запастар бир баржанын көлөмүнө туура келген блоктордо ишенимдүү бааланып, рудниктен кен казып алуу болжол менен 3 - 4 жуманы түзгөндөй иштелип чыккан. Бул мисалдар көрсөткөндөй, запастарды (ресурстарды) «Measured» категориясы боюнча классификациялоо үчүн, руданын көлөмү берилген долбоордун конкреттүү тобокелдиктеринин негизинде аныкталууга тийиш, мисалы, жогоруда айтылган рудниктегидей баржанын көлөмү. Автордун тажрыйбасында, «Measured» ресурстардын классификациясы үчүн руда көлөмү адатта өндүрүштүн 1 айдан 3 айга чейинки интервалында болот.

Запастарды «Inferred» деп классификациялоо боюнча талаптар дагы жетиштүү өнүккөн эмес. Бул жарым-жартылай кен казып алуу тармагында өкүм сүргөн катачылык түшүнүккө байланыштуу, эгерде «Inferred» ресурстар аныктама боюнча болжолдуу техникалык-экономикалык негиздемелер үчүн ылайыксыз болсо, каталардын чегине катуу чектөөлөрдү коюу мүмкүн эмес. Бул пикирдин ката экендиги айдан ачык, анткени тобокелдикке баа бербестен, башкача айтканда, мүмкүн болгон катаны билбей туруп, бургулоо тармагы субъективдүү критерийлерге ылайык тандалып алынган. Натыйжада, геологиялык чалгындоо иштерин улантуунун максатка ылайыктуулугу жөнүндө чечим кабыл алуу үчүн баа берүүнүн ишенимдүүлүгү жетишсиз болуп калышы мүмкүн. Автор объективдүү критерийлерди «Inferred» ресурстар үчүн дагы колдонуу керек деп эсептейт жана аларды долбоорго инвестицияларды төлөп берүү үчүн талап кылынган руда көлөмүндө эсептөөнү сунуш кылат ((pay back period).

Запастарды классификациялоодо заманбап методдорун конкреттүү кендердин мисалында талдап чыгып, автор төмөнкү өркүндөтүлгөн методду сунуш кылган. Запастын категориясын аныктоонун критерийлери техникалык-экономикалык мүнөздөмөлөрүнө жараша ар бир долбоор боюнча аныкталат, бул анын классификациялоонун башка статистикалык эмес ыкмаларынан түп-тамырынан айырмачылыгы. Жалпыланган формада автор сунуш кылган ыкма төмөнкүчө.

Долбоордун экономикалык баалоосунда анын жыйынтыгы боюнча рудадагы орточо курамд менен минималдуу мүмкүн болгон маанинин айырмачылыгына барабар болгон минималдуу катасы тандалып алынат. Мисалы, жогоруда айтылган боксит кенинде, алюминий жана кремнийдин курамында каталардын чеги +/- 10 % (CL 0,95) болгон.

Тобокелдиктерди талдоодо ушул ката эсептелет, ал үчүн руданын көлөмү аныкталат. Бул боксит кени үчүн төмөнкү параметрлер тандалды:

- «Measured» - кендин 1 айлык өндүрүшүнө барабар болгон кендин көлөмү;
- «Indicated» - кенде казылып алынган 1 жылга барабар руданын көлөмү;
- «Inferred» - инвестицияны төлөө үчүн талап кылынганга барабар болгон кендин көлөмү (рудникте болжол менен 4 жыл казылган).

Кендин запастарын классификациялоо үчүн керектүү руданын көлөмүнө туура келген блокторго бөлүнөт. Биздин мисалда, бул 1 ай, 1 жыл жана 4 жылдык өндүрүш иши. Бургулоо тармактарынын математикалык моделдерин түзүү үчүн «conditional simulation» ыкмасы колдонулат. Алынган бургулоо тармактарынын ар бирин колдонуп, кендин запастары эсептелет жана анын ишенимдүүлүк деңгээли эсептелет, башкача айтканда, катасы аныкталат.

Эгерде алынган ката анын минималдуу мүмкүн болгон маанисинен аз же ага барабар болсо, бургулоо тармагы алгылыктуу деп эсептелет. Бул ыкма Австралия, Африка жана Иорданиядагы көптөгөн кендердеги запастарды классификациялоо үчүн колдонулган (Abzalov, 2016).

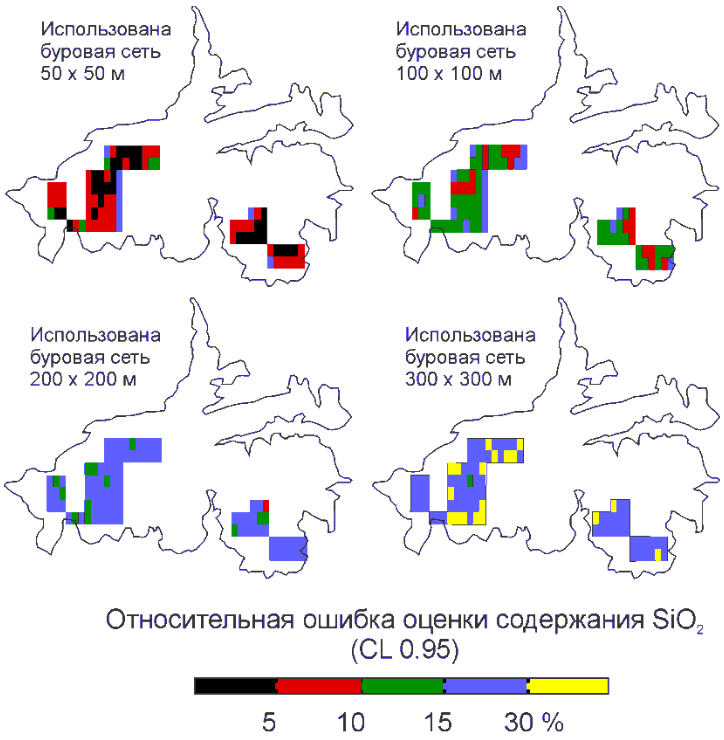
Методду колдонуунун мисалы. Автор сунуш кылган классификация критерийлеринин колдонулушу ушул бөлүмдө Австралиянын түндүгүндө жайгашкан боксит кендеринин биринин мисалында көрсөтүлгөн.

Кенди чалгындоо үчүн сунушталган бургулоо тармактары 20x20, 50x50, 70x70, 100x100, 150x150, 200x200 жана 300x300 м. «Measured» категориясындагы ресурстарды эсептөө үчүн кайсы тармак талап кылынарын табуу талап кылынган.

Бул кендин экономикалык көрсөткүчтөр боюнча мүмкүн болгон ката чеги +/- 10 % деп табылган (CL 0,95).

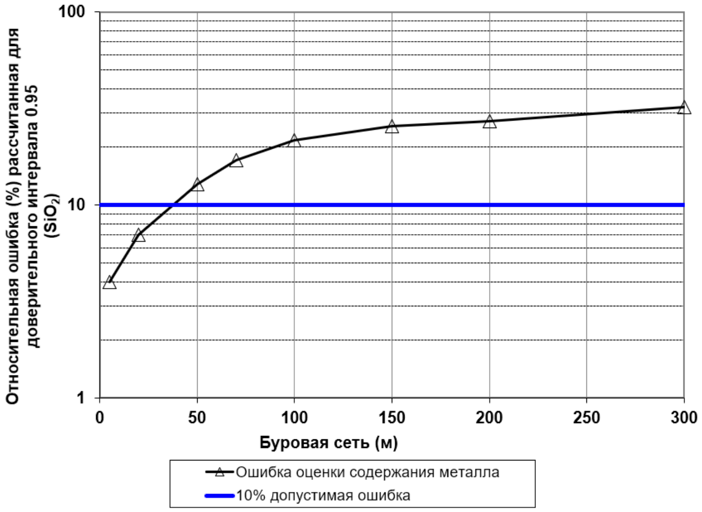
Ошондой эле ресурстарды «Measured» категориясына классификациялоодогу катасы ай сайын өндүрүштүн руда көлөмүндө аныкталууга тийиш экендиги аныкталды. Демек, кен ай сайын өндүрүлүп турууга ылайыктуу блокторго бөлүнгөн.

Андан кийин, бургулоо тармагы тандалып, SGS ыкмасы ай сайын руда блокторундагы металлдын орточо камтылышын жана эсептөө катасынын маанисин эсептөө үчүн колдонулган (16 - сүрөттү кара). Бул эсептөөлөр ар бир бургулоо тармагы боюнча жүргүзүлдү: 20x20, 50x50, 70x70, 100x100, 150x150, 200x200 жана 300x300 м. Демек, ар бир блок үчүн 7 бургулоо тармагы туура келген, 7 ката мааниси аныкталды (16 - сүрөттү кара).



Сүрөт. 16. Австралиянын Гов кенинен бир айда өндүрүүгө туура келген блоктор үчүн эсептелген бокситтердин SiO_2 орточо камтылуу чоңдугун баалоо катасы.

Ар бир бургулоо тармагы үчүн орточо ката эсептелет жана ал бургулоо тармагынын чоңдугуна тиешелүү графикке белгиленет (17 - сүрөттү кара).



Сүрөт. 17. Запастын ишенимдүүлүгү менен чалгындоо тармагындагы көз карандылык графиги. Ордината - руданын айлык көлөмүндөгү орточо SiO_2 курамынын катасы (зыяндуу кошулма), абсцисса - бургулоо тармагынын чоңдугу

Бул диаграммадан запастарды классификациялоо үчүн бургулоо тармагы тандалып алынган (17 - сүрөттү кара). Эң кеңири бургулоо тармагы оптикалык деп эсептелет, эгерде катанын орточо мааниси берилген категория үчүн мүмкүн болгон

чектен ашпаса (б.а., босого маанисине барабар же андан аз болсо). 17-сүрөттө келтирилген мисал көрсөткөндөй, бул талаа үчүн «Measured» запастарын эсептөө үчүн 30x30 м өлчөмүндөгү тармак боюнча геологиялык чалгындоо бургулоосу талап кылынат.

«Технологиялык пробанын (ири көлөмдөгү) репрезентативдүүлүгү» аттуу жетинчи бөлүм руданын мүнөздөмөлөрү ири көлөмдөгү пробанын негизинде жүргүзүлгөн технологиялык сыноолор менен аныкталганы маалыматты камтыган. Технологиялык сыноолордун натыйжалары боюнча, ушул долбоор үчүн оптималдуу болгон руданы кайра иштетүү ыкмалары тандалып алынат, ошондой эле металлдын бөлүнүп чыгышынын пайызы бааланып, өндүрүштүн экономикалык көрсөткүчтөрү аныкталат. Ошентип, ири көлөмдөгү үлгүлөр руданын металлургиялык мүнөздөмөлөрүн баалоо үчүн биринчи ишенимдүү маалыматтар болуп саналат, алар жарым-жартылай өндүрүш стадиясында такталат.

Тоо-кен казып алуу долбоорунун техникалык-экономикалык баалоосунун (ТЭБ) тактыгы, кен чыккан жер үчүн ири көлөмдүү пробалардын репрезентативдүүлүгүнөн көз каранды. Руданын ар бир технологиялык тибинен тандоо жүргүзүлүп, өзүнчө талданат деп кабыл алынат, бирок ошол эле учурда субъективдүү критерийлерди жетекчиликке алып, проба алуу үчүн жайлар негизсиз тандалып алынат.

Автор Австралияда темир рудасынын долбоорунун шарттарынын техникалык-экономикалык негиздемесин иштеп чыгып, технологиялык үлгүлөрдүн репрезентативдүүлүгүнө объективдүү критерийлерин иштеп чыгуу зарылдыгын белгиледи. Бул иштердин натыйжасы катары эки критерий боюнча ири көлөмдүү пробанын ылайыктуулугуна баа берүүнү сунуш кылган жаңы методологиясы болду (Abzalov, 2016):

• *Керектүү компоненттерди бөлүштүрүлүшүн үчүн статистикалык талдоо.* Репрезентативдик пробаны алуу үчүн, технологиялык пробанын статистикалык мүнөздөмөсүн кендин блоктук моделине дал келтирүү керек.

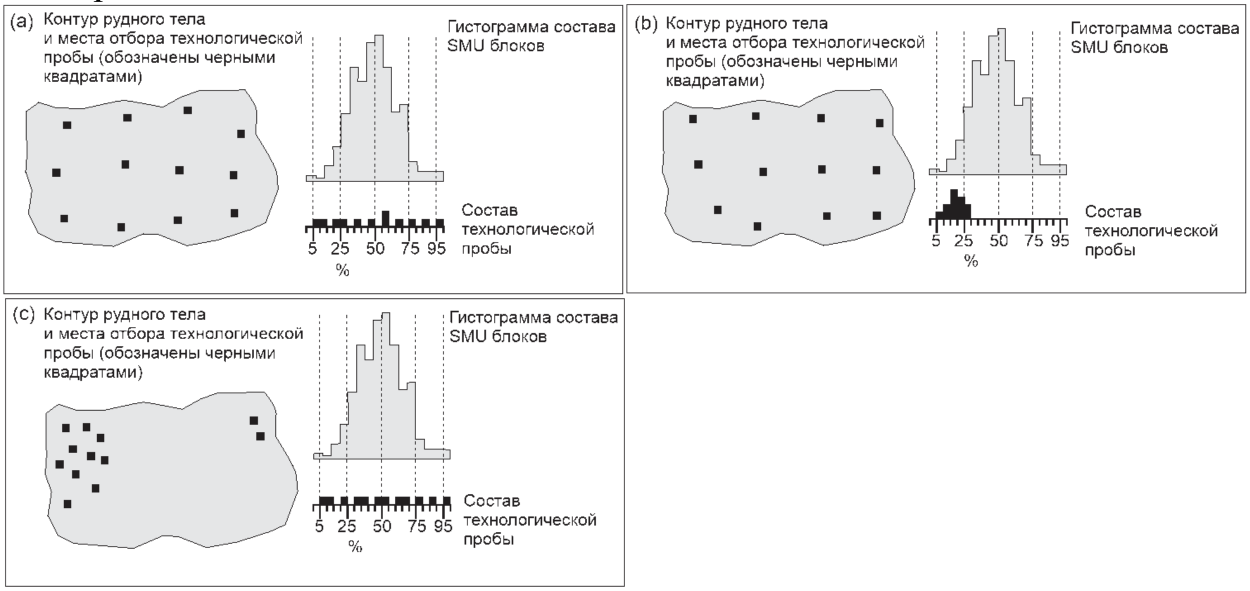
• *Көлөмдүү пробалардын мейкиндиктеги бөлүштүрүлүшүн талдоо.* Кендин бардыгы проба алуу тармагы менен камтылган болсо, проба алуу схемасы ылайыктуу деп эсептелет.

Технологиялык пробанын репрезентативдүүлүгүнө статистикалык талдоо жүргүзүү. Пробанын статистикалык репрезентативдүүлүгү руда компоненттеринин жана зыяндуу аралашмалардын курамын камтыган, берилген руда телосунун негизги металлургиялык мүнөздөмөлөрүн чагылдырган блок моделинин гистограммалары менен салыштыруу жолу менен талданат. Блок моделинин гистограммасы геостатистикалык түрдө минималдуу тандап алынуучу уячанын (SMU) барабар көлөмүнө чейин өзгөртүлүшү керек. Геостатистикада бул трансформация «дисперсия – көлөм мамилелери» (volume-variance relationships) катары математикалык мүнөздөлөт жана сызыктуу эмес геостатистикалык методдордун жардамы менен жүзөгө ашырылат, мисалы, LUC ыкмасы (Abzalov,

2006), авторефераттын мурунку бөлүмүндө баяндалган, анда ал кыскача (6.1) формулада жалпыланган. Технологиялык проба SMU гистограммасына дал келсе, статистикалык репрезентативдүү деп эсептелет (18, а - сүрөттү кара).

Технологиялык пробанын мейкиндикте бөлүштүрүүдөгү талаптар. Проба алуу участокторун тандап алууда, рудалардын телосунун көлөмүндөгү үлгүлөрдүн өкүлчүлүктүү бөлүштүрүлүшүнө жетишүү керек, андыктан пробалар кен чыккан жерлерге тегиз жайылып, технологиялык пробада (же пробаларда) ар кайсы участоктордон алынган материалдар келтирилет (18, а, b - сүрөттү кара). Чакан участоктордо проба алууну кластерлештирүүдөн качуу керек (18, с - сүрөттү кара).

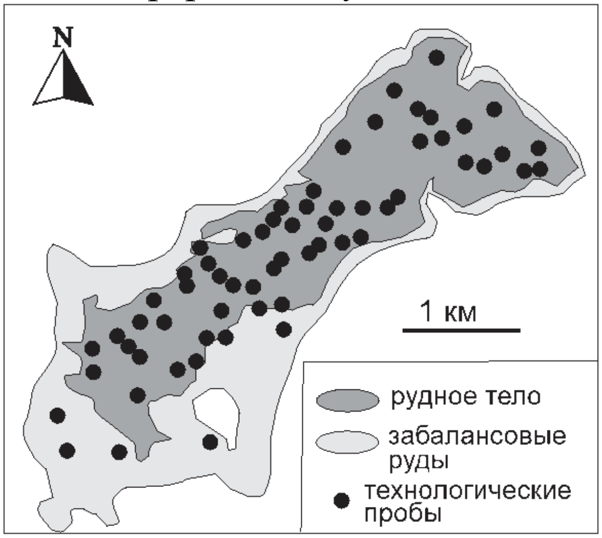
Методиканы Батыш Австралиядагы темир рудалуу кенде колдонуу. Бул методика алгач Батыш Австралиядагы темир рудасынын кенине колдонулган. Руданын металлургиялык мүнөздөмөсүн баалоо үчүн кенде 22 скважина бургуланган (19 - сүрөттү кара). Скважиналар технологиялык пробаларды алуу үчүн атайын коюлган жана кендин аянтына мүмкүн болушунча бирдей жайгаштырылган.



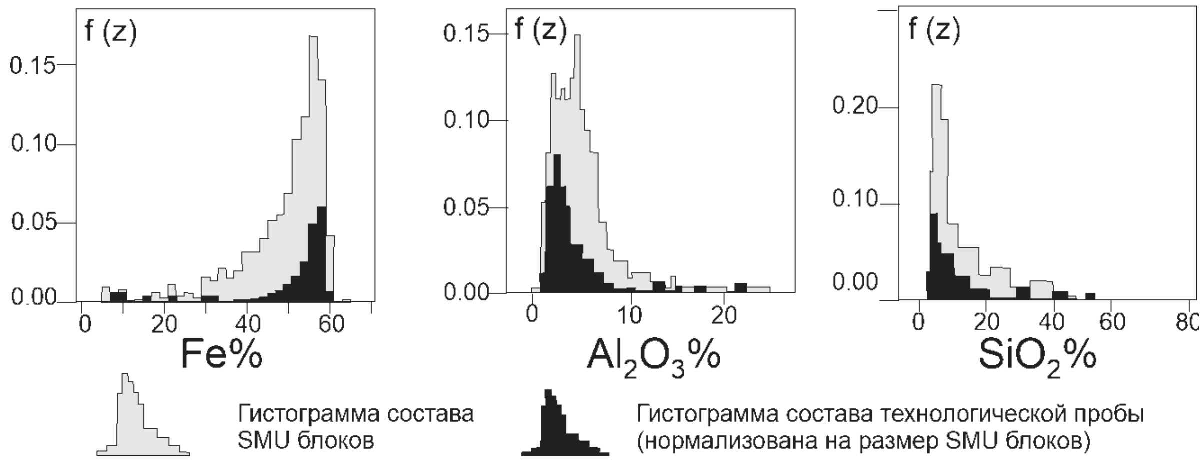
18 – сүрөт. Репрезентативдүү ири көлөмдүү проба менен репрезентативдүү эмес тандоонун айырмасын схемалык түрдө көрсөткөн диаграмма: (а) репрезентативдүү проба; (б) пробанын мейкиндикте бөлүштүрүлүшү репрезентативдүү, бирок тандап алуу курамы боюнча репрезентативдүү эмес; (с) үлгүнүн химиялык курамы репрезентативдүү, бирок тандап алуу участокторунун мейкиндикте бөлүштүрүлүшү репрезентативдүү эмес.

Баланстан тышкаркы рудада бир нече скважиналар бургуланды (19 - сүрөттү кара). Технологиялык үлгүлөрдүн курамынын репрезентативдүүлүгүн баалоо үчүн темирдин жана негизги зыяндуу аралашмалардын гистограммасы, пробадагы Al_2O_3, SiO_2, LOI жана P түзүлдү, алар кендин блоктук моделиндеги элементтердин курамындагы гистограммалар менен салыштырылды. Салыштыруу үчүн, гистограммалар «дисперсия – көлөм» (volume – variance relationships)

геостатистикалык эрежеси боюнча SMU блокторунун көлөмүнө өзгөртүлгөн. Эки статистикалык үлгүлөрдү салыштырмалуу талдоонун натыйжалары боюнча, технологиялык үлгүнүн курамы Fe, Al_2O_3, SiO_2 жана башка компоненттердин курамындагы өзгөрүүлөрдү ишенимдүү чагылдырат. Ири көлөмдөгү технологиялык пробалардын репрезентативдүүлүгүн тастыктагандан кийин, алар руданы металлургиялык сыноо үчүн колдонулган.



19-сүрөт. Батыш Австралиядагы темир-рудалык кениндеги технологиялык пробаларды алуу.



20 - сүрөт. Технологиялык пробалардын курамын жана блок моделин гистограммада салыштыруу. Эки статистикалык тандоолор тең SMU блоктор көлөмүнө трансформацияланган.

КОРУТУНДУ

Автор тарабынан жүргүзүлгөн изилдөөлөр сызыктуу геостатистиканын методдору тоо-кен өнөр жайынын заманбап талаптарына жооп берген рудалык геологиясынын бирдиктүү методологиялык тутумун түзүү үчүн оптималдуу экендигин далилдеди. Бирдиктүү методикалык тутум автордун новатордук ыкмаларына негизделген:

1. Автор тарабынан сунушталган CV% критерийи үлгүлөрдүн сапатын контролдоо учурунда геологиялык жана лабораториялык факторлорунун саны боюнча катасынын табууга баалоого, анын негизде үлгүлөрдүн түтуму менен үлгү даярдоо ыкмасы ортосундагы оптималдуу катышты тандоого мүмкүндүк берет;

2. Индикатордук вариграммаларды колдонуп, руда телолоруна берилген геостатистикалык индиктор ыктымалдыгы менен математикалык жолду колдонуп контурларын бөлүп көрсөтсө болот;

3. Автор иштеп чыккан запастарды эсептөөнүн жаңы "LUC" ыкмасы блоктук модельдеги пайдалуу компоненттин бөлүштүрүлүшүн эсептөөгө мүмкүндүк берет. Ыкма изилденген өзгөрүлмө дисперсиясынын жана блоктун чоңдугунун ортосундагы статистикалык байланышты бузбайт, бул запастын тандап казылып алынган майда блоктор боюнча бөлүштүрүлүшүн эсептөөгө мүмкүндүк берет жана бургулоо тармагынын ашыкча топтолуусун талап кылбайт.

4. Мүмкүн болгон каталардын тобокелдик даражасына жараша запастарды классификациялоо үчүн новатордук ыкма иштелип чыккан, ал долбоордун киреше нормалары негизинде эсептелет.

Иштелип чыккан ыкмалар атайын адистештирилген технологияларга кирбейт жана ар кандай кендин түрлөрү үчүң кодонулат, алтын кендеринен баштап ири көлөмдөгү түрлөргө, анын ичинде жез-порфирлери жана темир кендеринде ийгиликтүү колдонулуп келе жатат.

Автордук иштердин көптөгөн жыйынтыктары, мисалы, LUC, CV%, буга чейин практикада колдонулган жана эл аралык тоо-кен корпорациялары тарабынан кеңири колдонулуп келе жатат.

Жыйынтыктап айтканда, тилекке каршы, диссертациянын форматы автор тарабынан алынган бардык натыйжаларды киргизүүгө жол бербейт, ошондуктан бул авторефератта негизги методикалык жыйынтыктард гана камтылгандыгы белгиленет. Кошумча маалыматты жана башка практикалык сунуштарды М. Абзаловдун басылмаларынан таба аласыз, алардын тизмеси авторефератка тиркелген. Сунуш кылынган геологиялык чалгындоо тутумунун толук сүрөттөлүшү автордун "Applied Mining Geology" монографиясында камтылган.

ПРАКТИКАЛЫК СУНУШТАР

Автор тарабынан иштелип чыккан тобокелдиктерди баалоонун негизинде запастарды классификациялоо методдору руданын кору боюнча комитеттерде каралышы керек жана автордун пикири боюнча, иш жүзүндө эртерээк ишке ашырылышы керек.

БИБЛИОГРАФИЯСЫ

1. **Abzalov, M.Z.** Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12 / M.Z.Abzalov. - Berlin: Springer, 2016. – 448 c.
2. **Abzalov, M.Z.** Geostatistical criteria for choosing optimal ratio between quality and quantity of the samples: method and case studies. / M.Z. Abzalov // Mineral Resource and Ore Reserves Estimation, AusIMM Monograph 23. - Melbourne: AusIMM, 2014. – C. 91-96.
3. **Abzalov, M.Z.** Quality Control of Assay Data: A Review of Procedures for Measuring and Monitoring Precision and Accuracy. / M.Z.Abzalov // Exploration and Mining Geology, 2008. -17. - No 3-4. - C.1-14.
4. **Abzalov, M.Z.** Localised Uniform Conditioning (LUC): a new approach for direct modelling of small blocks. / M.Z. Abzalov // Math. Geol. - 2006. - 38. - No 4. - C. 393-411.
5. **Abzalov, M.Z.** Geostatistically assisted domaining of structurally complex mineralisation: method and case studies. / M.Z. Abzalov, M. Humphreys // The AusIMM 2002 Conference: 150 years of mining, Publication series No 6/02. - Melbourne: AusIMM, 2002. - C. 345-350.
6. **Annels, A.E.** Mineral deposit evaluation, a practical approach. / A.E.Annels. - London: Chapman and Hall, 1991. - 436 c.
7. **Arik, A.** An alternative approach to resource classification. / A.Arik // APCOM Proceedings of the 1999 Computer Applications in the Mineral Industries (APCM) symposium. - Colorado: Colorado School of Mines, 1999. - C. 45-53.
8. **Blackwell, G.** Relative kriging error – a basis for mineral resource classification. / G.Blackwell // Exp. Min. Geol., 1998. -7. - No 1-2. - C. 99-105
9. **David, M.** Geostatistical ore reserve estimation. /M. David. Amsterdam: Elsevier, 1977. – 364 c.
10. **Davis, B.** Confidence interval estimation for minable reserves. / B.Davis. -Colorado: Colorado School of Mines. -1992. -No 39. – 7 c.
11. **Dimitrakopoulos, R.** Orebody uncertainty, risk assessment and profitability in recoverable reserves, ore selection and mine planning: Workshop course. / R.Dimitrakopoulos. - Brisbane: The University of Queensland, 2002. - 304 c.
12. **Francois-Bongarcon, D.** The practise of the sampling theory of broken ore. / D.Francois-Bongarcon // CIM Bulletin, 1993. - 86. - No 970. - C.75 - 81

13. **Gy, P.** Sampling of particulate materials, theory and practice: Developments in Geomathematics 4 / P. Gy. -Amsterdam: Elsevier, 1979. - 431 с.
14. JORC Code // Australaisian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. -Melbourne: AusIMM, 2012. - 44 с.
15. **Journel, A.G.** Mining geostatistics. / A.G. Journel, C.J. Huijbregts. – New York: Academic Press, 1978. - 600 с.
16. **Lantuejoul, C.** On the importance of choosing a change of support model for global reserves estimation. / Lantuejoul, C. // Math. Geol., 1988. - 20. - С.1001-1019.
17. **Матерон, Г.** 1968: Основы прикладной геостатистики. / Г. Матерон. -Москва: Мир. - 1968. - 408 с.
18. **Pitard, F.F.** Pierre Gy's sampling theory and sampling practise. 2nd edition. / F.F.Pitard. -New York: CRC Press, 1993. - 488 с.
19. Plurigaussian simulation in geosciences, 2nd edn. / M.Armstrong, A.Galli, H.Beucher и др. -Berlin: Springer, 2011. -149 с.
20. **Schofield, N.A.** Determining optimal drilling densities for near mine resources. / N.A. Schofield // Mineral Resource and Ore Reserves Estimation. The AusIMM Guide to Good Practice, -Melbourne: AusIMM, 2001. - С. 293 - 298.
21. **Strebelle, S.** Conditional simulation of complex geological structures using multiple-point statistics. / S. Strebelle. Math. Geol. - 2002. - 34. С.1-22.

ДИССЕРТАЦИЯ ТЕМАСЫ БОЮНЧА ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ

Автор диссертациянын темасы боюнча 50дөн ашык эмгектерин жарыялаган. Негизги иштери төмөндө көрсөтүлгөн.

1. **Abzalov, M., Djenchuraeva, R., Alpiyev, Ye., and Abzalov, S.N.** The geology of the Bozymchak Cu-Au skarn deposit, Tien Shan belt, Central Asia: emphasis on the geochemical characteristics of the granitoids. Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B), 2019. - 128, No 3, - С.106-123. Режим доступа: https://www.tandfonline.com/loi/yaes20#.Vs0Nn69f1PZ
2. **Abzalov, M.Z.** Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12 / M.Z.Abzalov. - Berlin: Springer, 2016. – 448 с. Режим доступа: https://www.springer.com/gp/book/9783319392639
3. **Abzalov, M.Z.** Geostatistical criteria for choosing optimal ratio between quality and quantity of the samples: method and case studies. / M.Z.Abzalov // Mineral Resource and Ore Reserves Estimation, AusIMM Monograph 23. -Melbourne: AusIMM, 2014. – С. 91 - 96.
4. **Abzalov, M.Z.** Design principles of relational databases and management of dataflow for resource estimation. / M.Z.Abzalov // Mineral Resource and Ore Reserves Estimation, AusIMM Monograph 23. - Melbourne: AusIMM, 2014. – С. 47-52.
5. **Abzalov, M.Z.** Localised Uniform Conditioning: method and application case studiesю / M.Z.Abzalov // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. -

2014. -114. - C.1-6. Режим доступа: https://www.saimm.co.za/Journal/v114n03p205.pdf
6. **Abzalov, M.Z.** Measuring and modelling of the dry bulk density of the rocks for the mineral resource estimation. / M.Z.Abzalov // Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B). - 2013.-122.-No 1. - C.16 – 29. Режим доступа: https://www.tandfonline.com/loi/yaes20#.Vs0Nn69f1PZ
7. **Abzalov, M.Z.** Quality Control of Assay Data: A Review of Procedures for Measuring and Monitoring Precision and Accuracy. / M.Z.Abzalov // Exploration and Mining Geology. -2008. -17. -No 3 - 4. - C. 1-14. Режим доступа: https://store.cim.org/en/quality-control-of-assay-data-a-review-of-procedures-for-measuring-and-monitoring-precision-and-accuracy
8. **Abzalov, M.Z.** Zarmitan granitoid-hosted gold deposit, Tian Shan Belt, Uzbekistan. / M.Z.Abzalov // Economic Geology. - 2007. - 102. - No 3. C. 519-532. Режим доступа: https://pubs.geoscienceworld.org/ segweb/economicgeology/article/ 102/3/519/127871/
9. **Abzalov, M.Z.** Localised Uniform Conditioning (LUC): a new approach for direct modelling of small blocks. / M.Z.Abzalov // Math. Geol., - 2006. - 38. -No 4. -C. 393 - 411. Режим доступа//www.springer.com/journal/11004/
10. **Abzalov, M.Z.** Geostatistically assisted domaining of structurally complex mineralisation: method and case studies. / M.Z.Abzalov, M.Humphreys // The AusIMM 2002 Conference: 150 years of mining, Publication series No 6/02. -Melbourne: AusIMM, 2002. - C. 345 - 350. Режим доступа//www.springer.com/journal/11004/
11. **Abzalov, M.Z.** Chrome-spinels in gabbro-wehrlite intrusions of the Pechenga area, Kola Peninsula, Russia: emphasis on alteration features. / M.Z.Abzalov // Lithos. -1998. -43. - No 3. C.109 - 134. Режим доступа: https://www.elsevier.com/ journals/lithos/0024-4937

РЕЗЮМЕ

диссертации Абзалова Марата Зайнутдиновича на тему: «Современные принципы организации и методология геологоразведочных работ при освоении горнорудных проектов и их последующей эксплуатации (Прикладная Рудничная Геология)» на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11- геология, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых, минерагения

Ключевые слова: рудничная геология, геостатистика, оценки рисков, классификация запасов, 3-х мерные модели.

Цель исследования: создание новой системы математических методов для сбора и анализа геологоразведочных данных и построения 3х мерных моделей рудных тел. Методологической основой этой системы стали методы нелинейной геостатистики и стохастические (вероятностные) модели.

Методы исследования: в работе использованы методы нелинейной и непараметрической геостатистики, включая новые методы, разработанные автором для оконтуривания рудных тел, заверки качества опробования и подсчета запасов, а также методы стохастического моделирования.

Полученные результаты и новизна: Впервые было показано, что с помощью метода «LUC» можно рассчитывать распределение запасов по небольшим селективно отрабатываемым блокам. Метод не требует чрезмерного сгущения буровой сети.

Автор одним из первых предложил методику оконтуривания рудных тел используя вероятностную оценку геостатистических индикаторов.

Новой разработкой является критерий CV%, предложенный автором для контроля качества проб и количественного сопоставления геологических и лабораторных факторов ошибки опробования.

Разработана новаторская методика классификации запасов по степени риска ошибки превышающнй доверительный интервал, который определяется по норме прибыли проекта.

Разработанные автором критерии отбора крупно-объемных проб тоже новаторские и позволяют более точно оценить представительность пробы для технологических испытаний.

Рекоммендация по использованию: Разработанные автором методы заслуживают внедрения в практику. Революционный прорыв может быть достигнут использованием метода «LUC» для подсчета запасов с последующей их классификацией по методике автора.

Область применения: работы автора наиболее применимы при освоении горнорудных проектов, в первую очередь для подсчета запасов месторождений и оценки рисков. Отметим, что многие разработки автора уже внедрены в производство и широко используются горнорудными компаниями.

Марат Зайнутдинович Абзаловдун 25.00.11 - геология, катуу кен байлыктарды издоо жана чалгындоо, минералдык адистиги боюнча геолого-минералогиялык илимдеринин доктордук даражасынын алуу үчүн жазылган "Тоо-кен долбоорлорду иштеп чыгуудагы жана аларды келечекте иштүүдөгү геологиялык чалгындоо иштеринин заманбап уюштиуруу принцинтери жана методологиясы (Колдонмо рудалык геологиясы)" аттуу доктордук диссертациясынын:

РЕЗЮМЕСИ

Ачкыч сөздөр: тоо-кен геологиясы, геостатистика, тобокелдиктерди анализдөө, минералдык ресурстардын классификациясы, 3D моделдери.

Изилдөөнүн максаты: чалгындоо маалыматтарын чогултуудан жана анализ жүргүзүүдөн тартып, 3D руда мейкиндигин боюна моделдерди курууга чейинки аралыкты камтыган математикалык методдордун инновациялык тутумун түзүү. Система сызыктуу эмес геостатистиканын методдорун стохастикалык (ыктымалдык) моделдер менен айкалыштырат.

Изилдөөнүн методдору: сызыктуу эмес геостатистикалык изилдөөдө жана параметрдик эмес ыкмалар, анын ичинде автордун рудалык телолордун контурун аныктоо, алардын сапатын камсыздоону жана запастарын баалоону иштеп чыгуу үчүн иштелип чыккан жаңы ыкмалары колдонулат, андан сырткары стохастикалык моделдери кеңири колдулган.

Негизги ачылыштар жана жаңылыгы: биринчи жолу "LUC" ыкмасын колдонуу менен минералдык ресурстарды селективдүү блокторго бөлүп көрсө болот. Ыкманы бургулоочу торго ашыкча толтурбай эле колдонсо болот.

Автор биринчилерден болуп рудалык телого геостатистикалык индикатор жардамы менен божомолдоо баалоону колдонуп кендин чегин аныктоо ыкмасын сунуштаган.

Маалыматтардын сапатын контролдоо үчүн автор сунуш кылган CV% критерийи инновациялык мүнөзгө ээ жана үлгүлөрдүн тактыгына таасир этүүчү геологиялык жана лабораториялык факторлорду сандык анализдөө үчүн колдонулушу мүмкүн.

Биринчи жолу ресурстарды баалоодо долбоордун кирешине норма катары аныкталган запастык классификациясына ыкма иштелип, ал ишенимдуу интарвалдын ката тобокелчилигиннен басым кылат.

Үлгүлөрдү чогултуунун критерийлери дагы новатордук мүнөзгө ээ жана чоң-көлөмдүү пробалар үлгүлөрүн так баалоого мүмкүнчүлүк берет.

Колдонуу үчүн сунуштар: автордук ыкмалар практикалык жүзөгө ашыруу татыктуу. "LUC" ыкмасын колдонуу менен революциялык жетишүүгө болот, ал алардын запастарын аныктоого жана классификациялоо керек.

Колдонуу чөйрөлөрү: автордун сунуштары тоо-кен долбоорлорун иштеп чыгууга, айрыкча баалоо жана тобокелдиктерди баалоо үчүн ылайыктуу. Тактап айтканда, бул иштин көптөгөн натыйжалары тоо-кен тармагында ишке ашырылып, кен казып алуучу компаниялар тарабынан кеңири колдонулуп келе жатат.

SUMMARY

Doctoral thesis of Marat Zainutdinovich Abzalov:

“Modern principles and methodology of exploration during development of the mining projects and geological support of the operating mines (Applied Mining Geology)” submitted for consideration of the Doctor of Geology and Mineralogical Sciences degree, on the speciality “25.00.11 – Geology, prospecting and exploration of the mineral deposits, mineral systems”.

Key words: mining geology, geostatistics, risk analysis, mineral resource classification, 3D ore body models.

Scope of study: creating an innovative system of the mathematical methods spanning a range from the numerical exploration data capturing and analyses to construction of the 3D ore body models. The system utilises methods of non-linear geostatistics coupled with stochastic (probabilistic) models.

Study methods: the study uses methods of non-linear geostatistics and non-parametric techniques, including the new techniques developed by the author for delineating the mineralised bodies, data quality assurance and the mineral resource estimation. The study also widely uses the different probabilistic models of the regionalised variables coupled with methods of stochastic simulation.

Main findings and their novelty: the obtained results, are essentially novel, providing solutions that was not available before.

For the first time was shown, that using the method “LUC” the mineral resource can be estimated into small blocks. The method can be applied without excessive infilling of the drill grid.

Author was one of the first who has proposed to delineate ore bodies in 3D space using probabilistic estimate of the grade indicators.

The criterion CV%, proposed by the author for the data quality control, is innovative and can be used for quantitative analysis of the geological and laboratory related factors affecting the samples precision.

For the first time was shown that the resource can be classified by risk of the estimation error exceeding the tolerance interval which is inferred from the profit margin of the project.

The criteria of the bulk sample collection are also innovative and allow more accurately assess representativity of the bulk samples for metallurgical tests.

Recommendations: the author’s methods shell be considered for practical implementation. The breakthrough can be achieved by application of the method “LUC” for resource estimation that should be followed up by their classification using the author’s classification scheme.

Application areas: the presented work is well suited for the mining projects development, in particular for evaluation and risk assessment. In fact, many results of this work are already implemented in the mining industry and widely used by **the mining companies**