

V.G.RAMAZANOV

B.Ş.

# YATAQLARIN KOMPÜTER MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ EHTİYATLARIN GEOSTATİSTİK HESABLANMASI

*Bakalavr təhsil pilləsinin 050602 «Geologiya mühəndisliyi»  
istqaməti üzrə dərslük*

Azərbaycan Respublikası Təhsil Na-  
zirliyinin 25.12.2009-cu il tarixli 35  
saylı əmri ilə dərslük kimi təsdiq edil-  
mişdir.

**BAKI – 2010**

Elmi redaktor: prof. V.M.Babazadə (BDU Geologiya fakültəsi «Faydalı qazıntılar» kafedrasının müdiri)

Rəyçilər: prof. N.Ə.İmamverdiyev (BDU «Faydalı qazıntılar» kafedrasının professoru);  
g.m.e.d. Ş.Ə.Babayev (MEA Geologiya institutu);  
g.m.e.d. Z.A.Abdullayev (MEA Geologiya İnstitutu);  
g.m.e.n. Ə.L.Məmmədov (BDU Geologiya fakültəsinin “Seysmologiya və Yer təkinin geofizikası” kafedrasının dosenti).

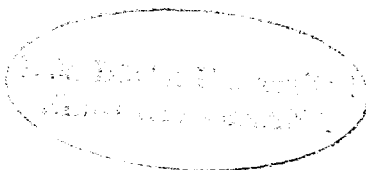
550.8  
R 22

26.15.13

V.G.Ramazanov, Yataqların kompüter modeləşdirilməsi və ehtiyatların geostatistik hesablanması, Bakı, «Təhsil»NPM, 2010, səh. 100

Dərslik «Geologiya mühəndisliyi» istqaməti üzrə təhsil alan tələbələri, o cümlədən bu sahədə çalışan mütəxəssisləri müasir dövrdə geologiyada tətbiq olunan kompüter proqramları və onların iş prinsipləri ilə tanış edir, konkret geoloji obyektlərin timasalında bu proqramlardan istifadə etmək metodikasını öyrədir.

V  $\frac{0033190}{700122}$  - 2010



## GİRİŞ

Muasir dünyada insanların əvvəllər «əl üsulu» ilə həll etdikləri bir çox məsələlər, o cümlədən geoloji məsələlər indi kompüterlərin ixtiyarına verilmişdir. Artıq 25-30 ildir ki, coğrafi informasiya sistemləri (CİS) və yataqların üç ölçülü modelləşdirilməsi (3D modeli) mənimsənilmişdir. Bərk faydalı qazıntı yataqlarının ehtiyatlarının geostatistik hesablanma üsulları keyfiyyətə yeni səviyyəyə çatmışdır. İndi hər bir mədən geoloqu üçölçülü modelləşdirmənin və geostatistikanın əsaslarını mükəmməl bilməli və onları öz təcrübələrində tətbiq etməlidir.

Keçən əsrin 90-ci illərinin əvvəllərində bir çox ölkələrdə geoloji kəşfiyyat məsələlərinin həlli üçün inteqrallaşdırılmış tətbiqi proqramlar paketi yaradılmışdır. Hazırda Data Mine, Surpac, Micro Mine, GeoCom və Rock Ware program paketlərini liderlər sırasında hesab etmək olar. Bu programların fayl formatları fərqlənir, istifadəçilərlə iş üzrə interfeysləri fərqlənsə də, bu proqramların hamısında bir qrafik nüvə-üçölçülü məkanda həndəsi modelləşdirmənin standart programlarının böyük toplusu istifadə edilir.

“Yüz eşitməkdənsə bir dəfə görmək yaxşıdır” - atalar sözü insan üçün görüb dərk etmənin, xüsusən də qrafik informasiyasının, olduqca böyük rolunu əks etdirir.

Görmə obrazlarının dərk edilməsinin həcmi və tezliyi olduqca böyükdür. Hər hansı bir hadisənin xüsusiyyətlərini aydınlaşdırmaq üçün bəzən bir neçə saniyə də kifayətdir. Belə ki, bu müddət ərzində biz funksiyanın qrafikinə, diaqramı, geoloji kəsilişə və ya digər əyani təsvirlərə baxırıq. Həmin obyektlərin təmsil edildiyi minlərcə ədədlərin dəşifrənməsi və müqayisəsinə isə 10-20 dəqiqə kifayət edir.

*Odur ki, üçölçülü modelləşdirmənin əsas məqsədi yatağın geoloji quruluşunun vizuallaşdırılmasından ibarətdir.* Elə etmək lazımdır ki, yatağın geoloji quruluşu maksimum əyani, başa düşülən şəkildə əks etdirilsin. Geoloqlar əvvəllər yatağın tək cəşəquli və üfqə kəsilişləri ilə kifayətləndirdilər. Onlar yataqların mürəkkəb həcmi fiqurlarının perspektiv proyeksiyalarını – blok diaqramları və ya aksonometriyalarını çəkirdilər. Onlar yataq-

ların blok-diaqram maketlərini faner və ya kartondan hazırlayı, seriya kəsilişləri şüşə və ya pleksiqlas üzərində çəkirdilər və bu növ şəffaf modellərdə filiz kütlələrinin və bütövlükdə yatağın əsas xüsusiyyətləri aydın görünürdü. Filiz kütlələri plastilindən, penoplastdan, alebastrdan düzəldilirdi. Üçölçülü modelləşdirmə geoloqların həcmi modellərin hazırlanmasındakı olduqca ağır əməllərini hədsiz dərəcədə yüngülləşdirir.

Riyaziyyatçılar kompüterlərin yaranmasından hələ çox əvvəllər, bir tərəfdən müxtəlif riyazi anlayışların qrafik və həndəsi interpretasiyası, digər tərəfdən isə, həndəsi obyektlərin ədədi təsviri və həndəsi məsələlərin həllinin analitik üsulları ilə məşğul olurdular. Kompüterlərin yayılması ilə bu ədədi analitik həndəsə demək olar ki, «ikinci cavanlığını» yaşamağa başladı. Kompüterlər əvvəllər riyaziyyatçıların əvvəllər həll edə bilmədiyi məsələləri, məsələn insan və ya hərəkət edən obyekt, indi əyani şəkildə təsvir edirlər.

Kompüterəqədərki əsrdə relyefin həcmi təsvirinin izoxətli rənglənmiş xəritələri kartoqrafik sədevrlər hesab olunurdu. XX əsrin ortalarında nazik plastika üzərinə relyefin basılması yolu ilə yaradılmış həqiqətən də çox gözəl xəritələr peyda oldu. Lakin belə xəritələrin yaradılması texniki cəhətdən olduqca mürəkkəb və bahalı idi. Üçölçülü modelləşdirmənin əsas məsələlərindən biri də müxtəlif səthlərin xəritələrinin qurulmasıdır. 3D modelləşdirilməsinin bütün tətbiqi paketlərində belə xəritələrin qurulmasının çoxlu sayda üsulları təklif edilir. Bu xəritələrin şaquli miqyası hər an böyüdülmə bilər. Bu, məsələn az qalınlıqlı səpinti yataqlarının modelləşdirilməsində demək olar ki, həmişə həyata keçirilir. Bundan başqa, hər bir qurulmuş səth “havaya qaldırıla” bilər, yəni ona hər bir rəkursdan və hər bir böyüdülmə dərəcəsiindən baxmaq olar.

*Modeləşdirmənin ayrıca məsələsi dağ qazmalarının təsviri və onların sənədləşdirilməsidir.* Xatırlamaq kifayətdir ki, qazma quyularının əyriliyinin hesablanması, onların kəsilişi və planlarda əks etdirilməsi olduqca böyük vaxt tələb edir. Xüsusən də karxanaların layihələşdirilməsi əvvəllər olduqca böyük əmək, vaxt və qüvvə tələb edirdi. Yada salmamaq dəyərdür ki, yerüstü marşrutların sənədləri və karxanaların geoloji planı alınması GPS (Global

Position Sistem) vasitəsilə bütün paketlərdə kompüterə ötürülə bilər.

Geoloqun müxtəlif xəritələrin, kəsilişlərin, planların, sxemlərin və digər təsvirlərin hazırlanması və çəkilməsi kimi belə bir fəaliyyətini nəzərdən keçirək.

Hər bir karfoqraf arzu edər ki, onun olduqca cətin və əziyyətli işini tez və dəqiq şəkildə yerinə yetirə bilən kompüter gorsün. Məlumdur ki, dağ-mədən müəssisələrinin layihələşdirilməsi prosesində hazırlanan yüzlərlə cizgilər xeyli dərəcədə eyni tipli, təkrarlanan hissələrdən, standart detalların təsvirindən və işarələrdən təşkil olunublar. Digər hallarda-dəqiq xəritələr tərtib edilərkən, şəkillər sonrakı tipografiya emalına hazırlanarkən xətkəşlərin, sirkulların, kiçik mexanizasiyanın və digər vasitələrin olmasına baxmayaraq, insan əlinin dəqiqliyi heç də həmişə kifayət etmir.

*Deməli, cizgi - qrafika işlərinin avtomatlaşdırılması mühüm məsələlərdən biridir.* Bu məsələlərin effektiv həlli hesablayıcı texnikanın köməyi ilə mümkündür.

*Üçölcülu modelləşdirmənin son məqsədi* filiz kütlələrinin 3D modelini ehtiyatın hesablanması hazırlamaqdır. Yataqların üçöl-cülü modelləşdirilməsinin bütün proqram paketləri hazırda *ehtiyatların qiymətləndirilməsinin geostatik üsullarına* istiqamətlanmışdir. Bu halda üçölcülü modelləşdirmə və geostatistika birlikdə ehtiyatın hesablanmasında geoloqun əlində güclü bir alətə çevrilmişdir.

## I. YATAQLARIN ÜÇÖLÇÜLÜ KOMPÜTER MODELLƏŞDIRILMƏSİ

30-40 il əvvəl kompüter qrafikasi və ona yaxın olan kompüter (hesablama) hündəsəsi sistemli proqramlaşdırmanın bir hissəsi və ya *CAD* - in (Computer Aided Design) bölmələrindən biri, yaxud *CAP*-in (система автоматизированого проектирование) rus variantı hesab olunurdular. İndi bu tam sərbəst olub, öz problemləri və spesifik fəalliyət sahəsinə malikdir. Bu layihəçilər, konstruktorlar və tədqiqatçılar üçün yeni effektiv texniki vasitələr; proqram sistemləri, maşın dili, analitik, tətbiqi, tərsimi hündəsə, proqramlaşdırma, riyazi hesablama üsulları, cihazqayırma kimi özündən əvvəlki sələflərinin sintezi bazasında yaranmış yeni elmi və tədris fənnidir.

Kompüter qrafikasi və hündəsə indi bütöv bir sıra istiqamətlər və müxtəlif tətbiq sahələri deməkdir. Bunlardan bəziləri texniki sənədin çəkilməsinin avtomatlaşdırılması məsələsindən, digərləri isə insan və maşının qarşılıqlı operativ fəalliyəti problemlərindən, şəkillərin kəmiyyət emalı məsələlərindən, izahı və ötürülməsi məsələlərindən uzaqlaşdırılır. Geodezist və kartoqrafların, poliqrafist və astronomların, kosmik əlaqələr üzrə mütəxəssislərin hər birinin kompüter qrafikasına öz yanaşması vardır. Bu istiqamətlərin heç də hamısı ədəbiyyatda lazımi səviyyədə öz əksini tapmamışdır, xüsusən də rus, azərbaycan və digər MDB ölkələri xalqlarının dilində üçölçülü modelləşdirməyə həsr olunmuş ədəbiyyat yoxdur.

Qrafiki təsvirləri *geologiyanın dili* adlandırırlar. Elə buna görədir ki, indi bir çox ölkələrdə kompüter qrafikasına maraq xeyli artmışdır. Burada bir çox problemlər vardır. İlk növbədə xüsusi avadanlıq tələb olunur. Geoloqlar çox vaxt həcmi obyektləri -modelləri, maketləri, natura nümunələrini ölçməli olur, onların formaları barəsindəki informasiyanı kompüterə ötürür və həmçinin avtomatik rejimdə fəza hündəsə formalarını qururlar. Bunu etməyə imkan verən sistemləri *həcmi hündəsə təsvir* və ya *modelləşdirmə* adlandırırlar.

Müxtəlif qrafiki və hündəsə sistemlərdə çoxlu ümumi xüsusiyyətlər vardır. Cizgi və sxemlərin demək olar ki, əksəriyyəti

düz və əyri xətlərə, çevrələrə, hərf və rəqəmlərdən ibarət yazılara malikdilər. Demək olar ki, kompüter həndəsəsi və qrafikinin bütün tətbiq sahələri üçün ümumi əsas olaraq ikiölçülü və üçölçülü koordinat sistemləri və onların törəmələri götürülür. Belə bir həndəsi özü üzərinə sonradan spesifik və bəzən orijinal alqoritmlər və proqramlar qoyulan ümumi tənlilər, alqoritmlər, məsələlərin həlli metodları metodik və riyazi «Nüvəni» təşkil edir. Beləliklə, qrafik və həndəsi proqram sisteminin özü yekcins olmayıb, adətən bir sıra «daylardan» və yaxud ierarxiya səyyəələrindən ibarətdir.

Geologiyada yer təkinin üçölçülü modelləşdirilməsi ilk növbədə faydalı qazıntı yataqlarının kəşfiyyatçı-geoloqlarına lazımdır. Əlbəttə ki, dərsliyin həcmi kompüter qrafikinin bütün istiqamətlərini işıqlandırmaq imkanı vermir. Burada əsas məqsədfaydalı qazıntı yataqlarının üçölçülü modelləşdirilməsinin ilkin mənimsənilməsi üçün təcrübi əsasnamənin ən ibtidai formasını verməkdir.

Tarixən belə alınmışdır ki, geoloqlar üçölçülü qrafikanın kompüter alqoritmlərindən istifadəyə mühəndislərdən, konstruktordlardan və arxitektordlardan daha gec başlamışlar. Onların sosial sifarişləri əsasında qrafik sistemlərin proqram nüvəsi ələ yaradılmışdır ki, burada geologiya və coqrafiyanın spesifik xüsusiyyətləri nəzərə alınmayıb. Xüsusən də, Yer elimləri təmsilçiləri üçün adi olan kaptografik koordinat sistemi əvəzinə, məişət «məktəbli» dekart koordinat sistemi istifadə edilmişdir. Geoloqlar daha nə edə bilərdilər ki? Onlar ya qrafik nüvənin bütün yarımproqramlarını yenidən yazmalı, ya da zorla da olsa şəxsi koordinat sistemini dəyişdirməli idilər. Yataqların üçölçülü modelləşdirmə sisteminin yaradıcıları ikinci yolu seçdilər.

Faydalı qazıntı yataqlarının üçölçülü modelləşdirmə sistemi əvvəllər «*yer təkinin həndəsəsi*» adlanan fənnin davamçısıdır. Yerin həndəsəsinin əsas məsələsi - müşahidələr və kəmiyyət ölçmələri əsasında faydalı qazıntı kütlələrinin və onların yerləşdiriciləri olan süxurların forma və yatım şəraitlərini aşkarlamaqdan ibarətdir. Faydalı qazıntıların fiziki-kimyəvi və s. Xüsusiyyətlərinin məkəncə paylanma qanunauyğunluqlarını aşkarlamaq və bu qanunauyğunluqları plan, xəritə, şaquli kəsilişlər və digər

qrafiklərdə əks etdirmək üçün filiz kütlələrinin həndəsi parametrlərini öyrənməli və onların məkan daxilində dəyişilmə qanunauyğunluqlarını aşkar etmək lazımdır. Bu prosedurlar hamısı bütövlükdə *həndəsələşdirmə* adlanır (Trofimov, 1980). Artıq demək olar ki, *həndəsələşdirmə-faydalı qazıntı yataqlarının üçölçülü qrafik kompüter modelləşdirməsinin metodikasıdır*.

### 1.1. Üçölçülü məkanda koordinatlar

Cografik koordinatlar- *en və uzunluq* - nöqtənin yer səthində mövqeyini müəyyən edən kəmiyyətlərdir. En və uzunluq yer ellipsoidi üzərinə salınmış geodizik ölçmələr üzrə hesablamalardan təyin edilir, yüksəklik isə Yer in fiqurunu öyrənmək nəticəsində müəyyən edilir. Topoqrafik xəritələrdə məhəl n öqtələrinin yüksəklikləri yer ellipsoidinin səthindən deyil, dəniz səviyyəsindən götürülür (Asiyada Baltik dənizinin səviyyəsi). Bu səviyyə Kronştatda su kanalı üzərində xüsusi lövhədə horizontal ştrixlərlə göstərilib.

Geodizik koordinatlar-uzunluq və en bir çox hallarda təcürbi cəhətdən az əlverişlidir, o cümlədən də geoloji - kəşfiyyət işlərində. Odur ki, geodizik koordinatlardan müstəvidə düzbucaqlı koordinatlara keçirlər və onun üzərinə bu və ya digər riyazi qanunlar əsasında yer ellipsoidinin səthi layihələşdirilir. Rusiyada topoqrafik xəritələr Qauss (Qauss-Kryuqer) proyeksiyasında tərtib edilir. Bu proyeksiya yer ellipsoidi səthinin bərabərbucaqlı təsvirini verir. Yer ellipsoidinin yalnız məhdud hissəsinin müstəvi üzərində cüzi xətlərlə yerləşdirilməsi mümkün olduğundan, Qauss proyeksiyasında düzbucaqlı koordinat sistemi qurularkən yer kürəsinin səthi qərb və şərqdən meridianlarla hüdudlanan zonalara bölünür. Belə zonaların hər birində özünün düzbucaqlı koordinat sistemi qurulur və  $x$  oxu olaraq - zonanın orta meridianın,  $y$  oxu olaraq -yer ekvatorunun təsvirləri qəbul edilir. Hər bir zonada  $x$  absissləri ekvator dan şimala (müsbət) və cənuba (mənfi),  $y$  ordinatları isə zonanın ox meridianından şərqə (müsbət) və qərbə (mənfi) doğru hesablanır. Mənfi ordinatların olmaması üçün, bütün ordinalara 500000 m əlavə



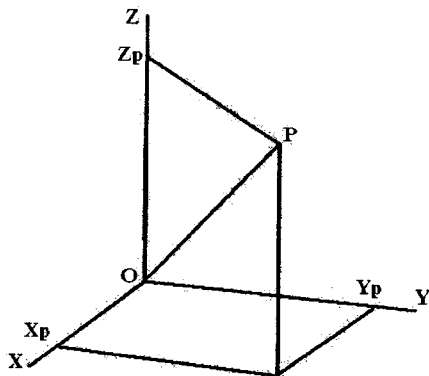
edilir və bu üsulla alınmış şərti koordinatların qarşısında koordinat zonasının nömrəsi yazılır.

İstifadə olunan coğrafi düzbucagli koordinat sistemi riyazi nöqteyi - nəzərdən *sol koordinat sistemi* adlanır. Bu sistemdə  $x$  koordinatının qiyməti şimala doğru,  $y$  koordinatının qiyməti isə şərqə doğru,  $z$  koordinatı isə yuxarıya (zenitə) doğru inkişaf edirlər.

Üçölçülü modelləşdirmənin proqramlarından hər hansı biri ilə işləməyə başlayan geolog, burada  $y$  koordinatı qiymətinin şimala,  $x$  koordinatı qiymətinin - şərqə,  $z$  koordinatı qiymətinin isə yuxarıya (zenitə) doğru artması ilə müşayiət olunan *sağ koordinat ststeminin* tətbiq edildiyinin şahidi olacaqdır, yəni  $x$  və  $y$  yerlərini dəyişmiş olacaqdır. Bu ondan irəli gəlir ki, burada Auto CAD tipli hazır qrafik paketlərin nüvəsi istifadə edilib. Belə paketlər geoloq və coğraflar üçün deyil, geodeziya işindən olduqca uzaq olan, dəzgah, avtomobil, mebel və s. layihələşdirən arxitektolar, mühəndislər üçün hazırlanmışdır. Kifayət edər ki, ilkin məlumatlar saxlayan fayllarda  $x$  və  $y$  koordinatlı sütunların yeri dəyişilsin. Onda hər şey öz yerini almış olar.

Beləliklə, həcmi modelləşdirmə proqramlarında  $x$ ,  $y$  və  $z$  oxlu üçölçülü koordinat sistemi istifadə edilir (şək. 1). Belə sistem *ortoqonal (dekart) koordinat sistemi* adlanır. Bu üç oxlardan hər bir cütlük qarşılıqlı perpendikulyardırlar. Üç koordinat oxunun hamısı  $O$  koordinat başlanqıcı olan bir ümumi nöqtədən keçirlər və sonsuz olaraq uzundurlar. Şəkil 1-də bu üç yarımoxların yalnız az hissəsi göstərilib və gələcəkdə onları müsbət oxlar adlandıracağıq.

Koordinatlar ədədlər şəklində təqdim edilir.  $p$  nöqtəsi  $(x, y, z)$  ortoqonal koordinatlara malikdir. Bu o deməkdir ki,  $O$  nöqtəsindən çıxaraq, əvvəlcə  $x$  oxunun müsbət istiqamətində  $x_p$  məsafəsini, sonra  $y$  oxunun müsbət istiqamətində  $y_p$  məsafəsini və nəhayət  $z$  oxunun müsbət istiqamətində  $z_p$  məsafəsini keçməklə  $p$  nöqtəsinə çatmaq olar.



*Şəkil 1. Ortoqonal koordinatlar*

Şəkil 1-də əks etdirilmiş koordinat sistemi *sağ sistemdir*. Bu onu göstərir ki, müsbət  $x$  oxu  $Z$  oxu ətrafında  $90^\circ$  bucaq altında elə dönmür ki, bu dönmədən sonra  $x$  oxu  $y$  oxu ilə üst-üstə düşür. Bu fırlanmanı altdan yuxarıya doğru səmtləşmiş sağ (yəni normal) yivli vintin fırlanması ilə müqayisə etmək olar. Belə bir dönmə nəticəsində vint  $z$  oxu istiqamətində bir gədən yuxarıya doğru yerini dəyişəcəkdir. Üçölçülü sağ koordinat sistemini fəzada müxtəlif cür yerləşdirmək olar. Şəkil 1-də göstərilirdiyi kimi, onun elə bir vəziyyətini seçmək olar ki, müsbət  $z$  oxu yuxarı istiqamətlənmiş olsun. Bu,  $x$  və  $y$  oxlarının  $x y$  üfqi müstəvi üzərində mövqelərini müəyyən edir.

Geoloji məsələlərin həllində düzbucaqlı koordinatlarla yanaşı, çox hallarda *sferik koordinatlardan* da istifadə edilir. Burada da həmçinin  $p$  nöqtəsinin vəziyyətini təyin etmək üçün üç ədəddən istifadə edilir. Sferik koordinatları işarələmək üçün  $x_p, y_p, z_p$  (və yaxud  $x, y, z$ ) işarələri əvəzinə yunan alifbasının  $\rho, \theta, \varphi$  hərfləri istifadə edilir.

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi,  $\rho$  kəmiyyəti  $p$  və  $O$  nöqtələri arasındakı məsafəni göstərir, digər sözlə, bu kəmiyyət mərkəzi  $O$  nöqtəsində olan sferanın  $p$  nöqtəsindən keçən radiusudur.  $\theta$  və  $\varphi$  işarələri ilə bucaqlar işarələnir  $\theta$  bucağı  $x y$  müstəvisi üzərində  $p$  nöqtəsinin bu müstəvi üzərində proyeksiyası olan

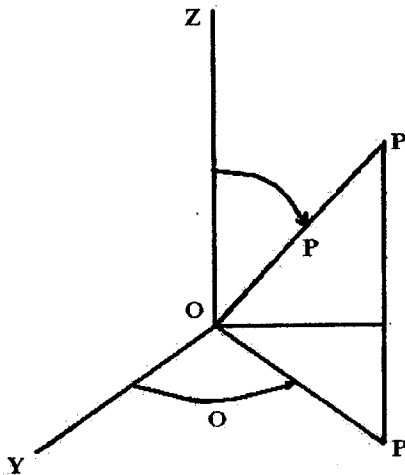
$p'$  nöqtəsinin vəziyyətini istifadə etməklə ölçülür.  $p'$  nöqtəsi  $p$  nöqtəsindən  $x y$  müstəvisinə perpendikulyar endirməklə təyin edilir.  $\theta$  kəmiyyəti  $x$  müsbət oxunun  $z$  oxu ətrafında müsbət istiqamətdə  $p'$  nöqtəsi qədər döndüyü bucağa bərabərdir. Məsələn,  $\theta$  bucağı ( $p'$  nöqtəsinin birinci kvadratda olduğu halda)  $0^\circ$  və  $90^\circ$  arasında, daha doğrusu, müsbət  $x$  və müsbət  $y$  oxları arasında yerləşir.  $\varphi$  -şaquli müstəvi üzərində,  $z$  oxu ilə  $Op$  düz xətti arasında olan bucaqdır.  $\varphi$  bucağının qiyməti  $0^\circ$  -dən  $180^\circ$  -yə qədər ola bilər.

$\rho, \theta, \varphi$  sferik koordinatları ilə bir tərəfdən,  $x, y, z$  düzbucaqlı koordinatları ilə isə digər tərəfdən aşağıdakı münasibət mövcuddur:

$$x = \rho \sin \varphi \cos \theta$$

$$y = \rho \sin \varphi \sin \theta$$

$$z = \rho \cos \varphi$$



Şəkil 2. Sferik koordinatlar

## 1.2. Müşahidə nöqtəsi və perspektiv təsvir

3D – üçölçülü modelləşdirmə proqramının qısaldılmış işarəsidir. D – *dimensions* (fəzanın ölçülülüyü) sözünün qısaldılmış formasıdır. 3D – *in three dimensions* – *üçölçülü fəza* deməkdir. 3D proqramından istifadə edərkən, nöqtə, düz xətt kəsirləri və yastı üzlərlə məhdudlaşmış bütöv kütlələrdən istifadə edilir. Əyri səthlər düz xətt kəsirləri ardıcılığı əyriyənin approksimasiyasına oxşar olan yastı üzlər toplusu ilə approksimasiya edilir.

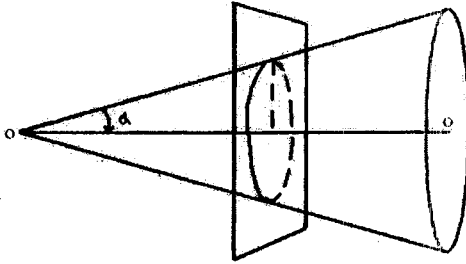
Biz bu və ya digər üsulla bu poliqonların zirvələrinin mövqeyini təyin etməliyik. Bu məqsədlə sağ koordinat sisteminə düzbucaqlı koordinatlardan istifadə edəcəyik.

Bundan əlavə, gözün *müşahidə nöqtəsi* adlanan mövqeyi də müəyyən etməliyik. Bu müşahidə nöqtəsini *E* hərfi (ing.-cə «Eye» – «göz» sözündən) ilə işarə edəcəyik. *E* nöqtəsi obyektin mərkəzindən bu və digər dərəcədə yaxın yerləşmiş obyektin *O* mərkəzi nöqtəsinə nisbətə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Onda *EO* düz xətti *müşahidə xətti*, *E*-dən *O*-ya olan istiqamət isə *müşahidə istiqaməti* adlandırılacaqdır. Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, oxu *EO* müşahidə xətti ilə üst-üstə düşən müəyyən konusun həddlərində yerləşən hər predmet müşahidə üçün açıqdır. Obyektə münasibətdə *E* müşahidə nöqtəsini vermək üçün başlanğıcı obyektin *O* nöqtəsində hər bir oxu müvafiq başlanğıc oxlara paralel olan yeni koordinat sistemi təsvir edək. Bundan sonra, bizə *E* müşahidə nöqtəsinin bu yeni koordinat sisteminə nisbətən  $p$ ,  $\theta$  və  $\varphi$  sferik koordinatlarını göstərmək lazımdır. Burada, Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, *ED* düz xəttinin uzunluğu  $p$  ilə işarə ediləcəkdir. Digər sözlə, bu - müşahidə məsafəsi olacaqdır. Şəkil 3-də həmçinin müşahidə xəttinə perpendikulyar yerləşmiş müstəvi şəklində təmsil olunan layihələşdirilmə səthi göstərilmişdir. Obyektin görünən bütün nöqtələri *E* gözüne işıq şüaları göndərir. Bu şüaların proyeksiya müstəvisi ilə kəsişməsi perspektiv təsvir əmələ gətirir. Obyektin müstəviyə layihələşdirilməsinin bu üsulu *mərkəzi proyeksiyalaşma* adlandırılır, belə ki, bütün layihələşdirici şüalar *E* müşahidə nöqtəsindən keçir.

Aydın ki, proyeksiya müstəvisi ilə *E* müşahidə nöqtəsi arasındakı məsafə təsvirin ölçüsünü müəyyən edir. 3D proqramında bu məsafə çox vaxt avtomatik olaraq elə seçiləcəkdir ki, bütün obyektin təsviri bizim ekranın ölçüləri ilə üst-üstə düşsün,

yəni istifadəçi proyeksiya müstəvisinin mövqeyi barədə narahat olmasın. Konusun oxu və onu əmələgətirən arasında  $\alpha$  bucağı kifayət qədər kiçik olmalıdır ki, perspektiv təsvir əksər istifadəçilər üçün məqbul görünsün. Buna nail olmaq üçün  $C$  müşahidə məsafəsi obyektin ölçüsünə nisbətən kifayət qədər böyük götürülməlidir.

Misal üçün, vahid uzunluqlu tərəflərə malik kubun təsvirini almaq istəyiriksə, onda  $\rho \approx 5$  kəmiyyətini tövsiyə etmək olar. Bəzi olduqca böyük qiymətlər üçün, məsələn  $\rho = 100\,000$ , təsvir təxminən elə  $\rho$ -nun kiçik qiymətlərində olduğu kimi olacaqdır. Belə olan halda, niyə də müşahidə məsafəsinin qiymətini həmişə belə böyük götürməyək?



Şəkil 3. Müşahidənin konusu və xətti

Cavab ondan ibarətdir ki, olduqca böyük məsafədə  $\rho$  faktiki olaraq *perspektiv* təsvir deyildir, *paralel* – obyektə paralel olan bütün xətlər təsvirdə də həmçinin paralel olacaqdır. Bu hadisəni dərk etmək üçün təsəvvür edək ki, sonuncu halda  $\alpha$  bucağı şəkl. 3-də elə kiçik olacaqdır ki, işıq obyektin müxtəlif nöqtələrindən çıxan və  $E$  müşahidə nöqtəsindən keçən bütün şüaları praktiki paralel olacaqlar. Beləliklə,  $\rho$  məsafəsinin olduqca böyük qiymətlərində təxminən paralel proyeksiya alınacaqdır, hansı ki, əksər hallarda təcrübədə istifadə edilir, belə ki, onu istifadə etmək real perspektiv proyeksiyaya nisbətən daha asandır.

4-cü şəkildə eyni uzunluqlu tərəflərə malik kubun  $c$  – məsafəsinin müxtəlif qiymətlərində alınan üç forması göstərilmişdir. Bir çox istifadəçilər şəkl. 4-də  $\rho = 5$  təsvirinə daha çox üstünlük ve-

rirlər. Bu şəkildən görünür ki, kubun yan tərəfləri daha qısa kəsirlər şəklində təsvir edilir, əgər onlar daha öndə yerləşiblərsə, onda mürəkkəb təsviri də interpretasiya etmək sərfəli ola bilər (xüsusən də obyekt məstil modeli şəkilində olduqda). Şək.4b təsvirində  $\rho=100000$  halında düzgün olmayan heç bir şey yoxdur, belə ki, burada perspektivlik effekti heç cür təzahür etmir. Şək. 4b - də kubun üzləri paralel xətlər şəklindədir və eyni zamanda düz xətt kəsirləri çox uzaqlaşdıqları halda ixtisar olunmurlar (faktiki olaraq təsvirlərdə ixtisar olunmuş kəsirlər vardır, lakin bu, müşahidə nöqtəsindən uzaqlaşdığından deyil, onların fəzada vəziyyətləri səbəbindən baş vermişdir).

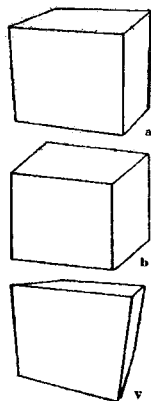
Bir qədər ciddi yanaşdıqda burada hər halda perspektivin bəzi effekti qalır. belə ki,  $\rho$  məsafəsi, baxmayaraq ki, çox böyükdür, lakin sonsuz böyük olmayıb, nəzəri olaraq kubun paralel üzləri üçün kəsirlərin uzunluğu boyu kiçik fərqdən ibarətdir. Lakin onları görmək üçün bu fərqlər olduqca kiçikdir. Odur ki, onları nəzərə almamaq da olar və demək olar ki, kubun hər bir paralel üzünün proyeksiyaları paralel olub, eyni uzunluğa malikdirlər.

*3D proqramlarında digər proyeksiyalar da rast gələ bilər.*

*Layihələşdirmə mərkəzi fəzanın sonsuz uzaqlaşmış nöqtəsi olduqda, bütün layihələşdirici düz xətlər paralel olur və proyeksiyalar paralel və silindrik adlanır.*

Proyeksiya cizgiləri qurarkən paralel layihələndirmənin o xüsusi növü daha geniş tətbiq edilir ki, orada layihələşdirmə müstəvisi layihələşdirmə istiqamətinə perpendikulyar (ortoqonal) yerləşib. Bu haldakı proyeksiyanı *düzbucaqlı* və ya *ortoqonal* adlandırılır.

*Aksonometriya* – fəza fiqurlarının təsvirinin müstəvi üzərində yerləşdirilməsinin xüsusi üsuludur. Aksonometriya adı paralel proyeksiya olub, cizginin müstəvisində təsvir edilən fi-



*Şəkil 4. Müxtəlif müşahidə məsafəli kubun proyeksiyası:*

*a)  $c=5$ ; b)  $c=100000$ ; c)  $c=2$*

qurla yanaşı eyni zamanda fəzada seçilmiş koordinat sistemində layihələşdirilir. Fəza fiqurunun aksonometrik təsviri onun forma və yerləşməsinə koordinat sistemində görə tam bərpa etməyə imkan verir. Hər bir 3D proqramı qurulmuş hər bir fiquru aksonometrik olaraq 6 ortoqonal müstəvilərdən biri üzərinə proyeksiyalaşdırıla bilər: qərbbə və yaxud şərqə; şimala və yaxud cənuba; yuxarıya və yaxud aşağıya.

Həndəsi nöqtəyi-nəzərdən *perspektiv proyeksiya* - fiqurun mərkəzi proyeksiyalaşmaya əsaslanan təsvir üsuludur. Hər hansı bir əşyanın perspektiv təsvirini almaq üçün fəzanın seçilmiş müşahidə nöqtəsindən (perspektivin mərkəzindən) verilmiş əşyanın bütün nöqtələrinə şüalar keçirilir. Bu şüaların yolunda o səth qoyulur ki, təsvirin onun üzərində alınması istənilir. Proyeksiya səthi müstəvi olduqda *xətti perspektiv*, daxili səth silindirdirsə *panoram perspektivi*, daxili səth sferadırsa *tağ perspektivi* alınır.

Faydalı qazıntı yataqları modelləşdirilərkən *xətti perspektivdən* istifadə edilir. Paralel düz xətlərin perspektiv təsviri qovuşma nöqtələri adlanan nöqtələrdə kəşifir. Altında əşyanın ən böyük ölçüdə görüldüyü bucaq - *görmə bucağı* adlanır.

Geoloji-kəşfiyyat qoşmalarında modelləşdirilən geoloji cisimlər 3 qovuşma nöqtələrinə malikdirlər - iki horizontal və bir şaquli. Üçölçülü modelləşdirmənin bəzi proqramlarında qovuşma nöqtələri və görmə bucağı avtomatik verilir, misal üçün, bu istiqamətdə obyektin ölçüsündən 5 dəfə böyük məsafəyə. Belə ki, bəzi 3D proqramlarında istifadəçi qovuşma nöqtələrinin vəziyyətini tənzimləyə bilmir. Bununla əlaqədar olaraq, modelləşdirilən geoloji obyekt olduqca güclü şəkildə təhrifə məruz qalır – çox vaxt dərin buruq qazmaları dərinlikdə bir «topaya» cəmləşirlər. Odur ki, çox vaxt düzbucaqlı koordinatlarda işləmək daha əlverişli olur, çünki bu sistemdə təhriflər bir o qədər də gözə çarpmır.

### 1.3. Qrafik primitivlər (sadə elementlər)

Üçölçülü fəzada göstərilən bütün geoloji cisimlər və digər texnogen obyektlər (yeraltı dağ qazmaları, karxanalar və s.) prinsipcə elementar həndəsi fiqurlardan – nöqtələrdən, xətlərdən və müstəvilərdən ibarətdir.

**Nöqtə.** Nöqtə - sadə qrafik elementdir. Onun yazılmış olduğu fayllarda nöqtənin üç koordinatı  $\{x, y, z\}$  barədə informasiya saxlanılmalıdır. Nöqtə cari rəngdə çəkilə bilər və *görünməz* də ola bilər.

**Xətlər.** Xətt iki – 1 və 2 nöqtədən ibarətdir. Bu nöqtələrin üç koordinatlarından heç olmazsa biri qiymətlərinə görə fərqlənir  $\{x_1, y_1, z_1\} \neq \{x_2, y_2, z_2\}$ . Kompüterin yaddaşında xətt barədə aşağıdakı informasiya saxlanılır: xəttin uclarının *koordinatları*  $\{x_1, y_1, z_1\}$  və  $\{x_2, y_2, z_2\}$ ; çəkilən xəttin *qalınlığı* (piksellərdə); xəttin *rəngi*; rəsmnin *stili*. Rəsmnin stili – xəttin çəkildiyi formadır.

Xətt - *bütöv, ştrixli, punktir, ştrix-punktir* ola bilər. Bundan əlavə, xətt *görünməz* də ola bilər.

**Stringlər** – ingilis dilindən tərcümədə *mil tetiva* (nəsə gərilmiş) adlanır. Ümumi halda string – sınıq əyri olub, düz kəsimlərlə (xətlərlə) birləşmiş (dartılmış), ardıcıl yerləşmiş nöqtələr sırasından ibarətdir. Stringin, xətlər seriyasından ibarət olduğundan string fayllarında yuxarıda qeyd edilmiş hər bir xətt barədə tam informasiya saxlanılır. Hər bir string unikal identifikatora (fərdi nömrəyə) malik olmalıdır. Məsələn, 11 nöqtə və 10 birləşdirici xətlərdən ibarət olan string string-faylda 11 sətir tutur və bu 11 sətirin hamısı eyni identifikatora malik olmalıdır.

**Konturlar.** Koordinatlar üzrə birinci nöqtəsi sonuncu nöqtəsi ilə üst-üstə düşən qapalı string *kontur* adlanır. Açıq stringdən fərqli olaraq, konturda *nöqtələrin sayı dəqiqliklə xətlərin sayına bərabərdir*.

**Fəza üçbucağı.** Üç nöqtədən ibarət kontur sadə fiqur – üçbucağın hər üç nöqtəsindən keçən, vahid müstəvili fəza üçbucağıdır. 3 nöqtədən keçən və nöqtələri birləşdirən 3 xətdən ibarət bu müstəvini üçbucağın üzərinə bu və ya digər rəngli «materiya» (örtük) çəkməklə dekorasiyalamaq olar. Bu ştrixli və yaxud şəkilli materiya ola bilər. Bu halda şəffaflyq stili də vermək olar. Bu müxtəlif proqramlarda müxtəlif cür edilir. Lakin, burada şəffaflyğın 3 şərti mütləq gözlənilməlidir. Birincisi, örtük tam olaraq *qeyri-şəffaf* verilə bilər. Bu halda üçbucağın arxasında qalan hər şey görünməz olacaq. İkincisi, örtüyü yarımsəffaf etmək olar. Üçbucağın arxasında olanlar «dumanlıq» kimi görünəcək. Üçüncüsü – örtüyü şəffaf etmək olar. Bu halda təkcə üçbucağın üzvləri deyil, həm də onun arxasında olan hər bir şey görünəcək.



261543

Fəza üçbucağı ilə üçölçülü fiqurların vizual qəbulu üçün mühüm olan daha bir xüsusiyyət üçbucaq həddlərində müstəvinin işıqlandırılması ilə əlaqədardır. Bunun nə cür edilməsi ayrılıqda izah ediləcək. Burada biz ancaq deyə bilərik ki, üçbucaq müstəvisinin işıq mənbəyi xəttinə meyl bucağından asılı olaraq işığın çalarları dəyişiləcək. Əgər üçbucaqlı müstəvi müşahidəçiyə görünərsə və eyni zamanda işıqlanma istiqamətinə perpendikulyar olarsa, onda onun rənglənməsi üçün seçilmiş işığın ən açıq çalarları istifadə ediləcək. Çəp işıqlandırma halında çalarlar daha tünd olacaq.

Bütün fəza obyektləri son nəticədə fəza üçbucaqlarından ibarət olacaqdır.

*Fəza dördbucaqlısı.* Yataqların üçölçülü modelləşdirilməsində *blok modelləri* böyük əhəmiyyət daşıyır. Bu modellərdə yatağın bölündüyü mikroblokların divarları fəza dördbucaqlıları ilə təmsil olunur. Bunun, təbii olmayıb, geoloji məkanın parçalanmasını təbiətə məcburən qəbul etdirildiyini nəzərə alsaq, onda müstəvi bu halda dəqiq olaraq 4 nöqtədən keçəcəkdir. Həqiqətən də blokun (paraleliped) hər bir tərəfi görünməyən xətlərlə 2 üçbucağa bölünür. Hər iki üçbucaq fəzada eyni cür səmtləşdirilmiş olur. Bununla əlaqədar olaraq, onların rəngi və işıqlanması uyğun gəlir. Odur ki, biz onları dördbucaqlı ilə məhdudlanmış ümumi müstəvi kimi qəbul edirik.

#### 1.4. Səthlər və kütlələr

Bütün yer təkisi geoloji sərhədlərlə (təbii və ya süni səthlərlə) geoloji kütlələrə parçalanıb. Yataqların üçölçülü modellərinin əsas elementləri geoloji səthlərin və geoloji kütlələrin modellərindən ibarətdir.

#### *Səthlər*

Geoloji sərhədlər yalnız yastı cizgilərdə həqiqətən də geoloji səthin digər geoloji səthlə (məsələn, yer səthi ilə) və yaxud hər hansı bir şərti müstəvi ilə (məsələn, şaquli kəsilişin müstəvisi ilə) kəsişməsinin izi olan xətlərlə ifadə olunur. Məsəllər: yer səthi, stratigrafik uyğunsuzluqlar səthi, qırılmaların yerdəyişmə səthi və s. Səth real müşahidə edilə bilən obyekt ola bilər, məsələn, hər

hansı bir stratiqrafik horizontun dabanı. Səth şərti görünməz ola bilər. Məsələn, o, sınaqlaşdırma nəticələrinə görə müəyyən edilə bilər. Bir çox yataqlarda sərhədlər bu üsulla ayrılır.

Xəritəalmada topoqrafik səthlərin müstəvidə psevdohəcmi təsvirlərinin müxtəlif üsulları çoxdan işlənilmişdir: izoxətli xəritələr, yüksəklik nişanlarının rəngli xəritələri, kölgəli xəritələr, relyefin perspektiv aerofototəsviri xəritələri.

Səthlərin kartoqrafik təsvirinin bütün bu variantları yataqların üçölçülü modelləşdirmə proqramlarında öz əksini tapmışdır. Buna baxmayaraq, kartoqrafik təsvirlər yastı, psevdohəcmli qalmışlar. 3D proqramlarında səthin modelini biz müxtəlif meylliliklə fırlada bilərik və həm də onun görünməyən alt hissəsindən baxa bilərik. Bu modeldə dağlardan hansı birinin yüksək və hansı birinin sərt olduğunu aydın şəkildə müəyyən etmək olar. Bura, həmçinin, «vayrfreymov modeli»ni (wire frame model) də əlavə etməliyik. Bu səthin *məftil* və ya *karkas modeli* adlanır.

### *Həcmi geoloji kütlələr*

Yer təkisi (geoloji məkan) bir-birinə yanaşı yerləşmiş (bir-birinə bitişik), müəyyən kütləyə malik və bir-birindən geoloji səthlərlə ayrılan geoloji kütlələrdən ibarətdir. Geoloji kütlələrin məhdudluğu müxtəlif tipli ola bilər. Bu təmiz geoloji sərhədlər ola bilər: layların dabanı və yaxud tavanı, intruzivlərin endotəması, qırılma müstəviləri.

Bu daha çox iqtisadi sərhədlər ola bilər, nəinki geoloji, məsələn kondisiya tələblərinə və yaxud yatağın qəbul olunmuş istismar dərinliyinə cavab verən filizlərin konturu. Bu lisenziya – hüquq xarakterli sərhədlər ola bilər. Məsələn mədənin *dağ-mədən sərhədləri*. Digər sözlə, həcmi geoloji kütlə - fəzada qeyd edilmiş sərhədlərlə məhdudlaşmış yekcins (müəyyən geoloji mənada) cisimdir.

Bu yekcins həcmi geoloji kütlənin daxilində digər geoloji kütlələr, məsələn, filiz kütləsində boş süxur linzaları iştirak edə bilər. Yataqların kompüterlə üçölçülü modelləşdirilməsi üçün əsas iki tip model – karkas və blok modelləri təklif edilir. Onların mahiyyəti qarşıda izah ediləcəkdir.

## 1.5. Dağ qazmaları

Praktiki olaraq, dağ qazmalarının hamısı özünəməxsus həcmi kütlələrdir ki, bu kütlələrin də özünəməxsusluğu onların «mənfi həcmli» - boş kütlələr olmasındadır. Belə ki, quyunun lüləsi boşdur, çünki onun içərisindən kerna çıxarılmışdır. Həmçinin çöl ştrekin lüləsi də boşdur – oradan bütün filizsiz süxurlar çıxarılmışdır. Pilləvari dibə malik karxana da boş kütlədir. Bir növ dağ qazmalarına bənzəyən karst mağaraları da mənfi həcmli boşluqlardır.

### *Quyular/şurflar*

Şurfları (dağ qazmalarının şurf sınaqlaşdırılmasından) buruq qazmaları ilə eyniləşdirərək onların hər ikisinə bir yerdə baxmaq olar. Quyuların və şurfların en kəsiklərinin (radiuslarının). modelləşdirilən geoloji kütlələrlə müqayisədə xeyli kiçik olduqlarından onlar bir ölçülü obyektlər, seçilmiş qalınlıqlı xətlər kimi əks etdirilirlər. Ümumi halda xətt əyri xətlidir. Quyu lüləsinin istiqamətləndirilməsi inklinometriya məlumatlarına əsasən qabaqcadan aparılır. Quyunun lüləsi kəsilən süxurlara və yaxud faydalı komponentlərin miqdarına müvafiq olaraq rəngləyə bilər. Quyunun ağzı və dibi xüsusi işarələrlə (simvollarla) və bir sıra yazılarla (quyuların nömrəsi, quyu dibinin dərinliyi və s.) göstərilə bilər.

### *Yeraltı dağ qazmaları*

Əksər 3D proqramlarında yeraltı dağ qazmalarının en kəsiklərinin şablonu mövcuddur. Üfqə və maili dağ qazmaları üçün adətən arxa şəkilli şablonlar, şaquli dağ qazmaları (şaxtalar, şurflar, qalxmalar) üçün isə çevrə şəkilli şablonlar istifadə edilir. Dağ qazmalarının trassirovkası onların ox xətti boyu aparılır.

### *Karxanalar*

Karxanalar digər dağ qazmaları kimi iki «iposta-siyada» çıxış edə bilirlər – işlənilməyə hazırlanmış layihə dağ qazması və mövcud dağ qazması kimi. Sonuncu halda karxananın çıxıntıla-

rının haşiyələri boyu pilləvari diblər şəklində aparılmış teodolit ölçmələrindən ibarət ilkin məlumatlar kompüterə ötürülür. Geoloji sənədləşdirmə və sınaqlaşdırma məlumatlarına görə sənədləşdirmə də həmçinin teodolit gedişlərinə bağlanılır (sənədləşdirmə GPS-lə də bağlanıla bilər). Karxana çıxışı kənarının «vintvari» xətti quyular kimi iuklinometriya məlumatları əsasında kompüterə ötürülür. Burada həmçinin iştirak etməlidirlər: növbəti ölçmə nöqtəsinə qədərki düz xəttin azimutu; karxana kənarının düşmə bucağı; növbəti «düzxətli» sahənin uzunluğu.

Karxana layihələşdirilənə qədər yatağın üçölçülü modeli artıq hazır olmalıdır. Karxananın «havada» layihələşdirilməsi mənasızdır.

### *Tranşeylər*

Tranşeylər - subüfüqi yatan faydalı qazıntıların, məsələn fosforitlərin, istismarı üçün istifadə edilən karxanaların özünəməxsus bir növüdür. Onun fərqləndirici xüsusiyyəti eninin az, uzunluğunun çox olmasıdır. Faydalı qazıntı tranşeyin bütün uzunluğu boyu çıxarılır. Sonra isə tranşeyin növbəti istismar zolağına keçirilir. Bu hallarda istismar kəşfiyyatının geoloji və xammalın keyfiyyətinə görə sənədləşdirilməsi şaquli buruq quyuları kimi şaquli kəşfiyyat xətlərinin məlumatları əsasında aparılır. Bu məlumatlar elə bu şəkildə kompüterə verilməlidir.

### *Xəndəklər*

Xəndəklərin digər dağ qazmalarından fərqi ondadır ki, onların dibi köklü süxurların relyefinə tabedir. Xəndəyin sənədləşdirilməsi bir çox hallarda karxana kənarının sənədləşdirilməsinə oxşardır. Ancaq xəndəklərin düzxətli olmasına cəhd edilir. Lakin xəndəyin növbəti «dirşeyinin» azimutu bu kəsimdə xəndəyin dibinin düşmə bucağı və sahənin uzunluğu sənədləşdirmədə mütləq əks etdirilməlidir.

## *Buldozer təmizləmələri*

Buldozer təmizləmələri də xəndəyin bir növü olub, qırıntı süxurların mexaniki qazma yolu ilə qazıldığından daha geniş enə malik olmaları ilə fərqlənirlər.

Xəndəklərlə müqayisədə buldozer təmizləmələrində nəzərə alınması vacib olan iki xüsusiyyət vardır:

1) buldozer təmizləmələri kifayət qədər enli qazmalardır. Bütün təmizləmələrin eyni üsulla, məsələn, təmizləmənin qərb divarına görə sənədləşdirilməsi tövsiyə edilir;

2) eninə buldozer təmizləmələrinin profil xətti ilə kəsişməsində çox vaxt damarın «başında» qarşılıqlı perpendikulyar təmizləmələr qazılır. Bu iki perpendikulyar təmizləmələrin sənədləşdirilməsində eyni koordinatlı ümumi nöqtənin olması vacibdir.

### **1.6. Qrafik sənədləşdirmə**

3D proqramları müxtəlif qrafiki materialları – buruq quyularının strukturlarını, şaquli və üfiqi geoloji kəsilişləri (horizont planları), izoxətt xəritələri, geoloji xəritələr, fotosənədlər çapa verə bilirlər. Adları çəkilən qrafik sənədlərin çapı yalnız o zaman mümkündür ki, heç olmazsa əsas ilkin məlumatlar kompüterə yerləşdirilmiş olsun. Sənədlərdən bir çoxu yalnız yatağın üçölçülü modeli yaradıldıqdan sonra çap oluna bilər.

### **1.7. Yataqların üçölçülü modelləşdirilməsinin bəzi riyazi məsələləri**

3D - modelləşdirmə proqramlarında ayrı-ayrı həndəsi və qrafik məsələlərin həllinin yüzlərlə yarımproqramları və həlli funk-siyaları toplanmış «qrafik nüvə» istifadə edilir. Bunları sınağa çox güman ki, ehtiyac yoxdur. Lakin bununla belə məsələlərdən bir neçəsini qeyd etmək lazımdır: bir koordinat sisteminə digərinə keçmək; koordinatların müxtəlif dəyişmələri; ikiölçülü əkslərdən üçölçülü əkslərə keçid və əksinə; bir proyeksiyanın digəri ilə əvəz olunması, məsələn, perspektiv proyeksiyanın paralel proyeksiya ilə; koordinat oxlarından birinin miqyaslaşdırılması və s. məsələlərdən bəziləri və onların həlli üsulları izahat tələb edir.

## *Daxildə yaxud xaricdə?*

Elə fəza məsələləri var ki, onları insan «gözləri» ilə təcrübi olaraq ani həll edir, kompüter proqramı isə onun həlli üçün «baş sındırmalıdır». İkiölçülü halda belə məsələlərdən biri nöqtənin müstəvi üzərindəki poliqonal fiqurun daxilində və ya xaricində mövqeyinin təyin edilmə məsələsidir. Kompüter proqramı hər bir şey – poliqon nöqtələrinin koordinatları və nöqtənin koordinatlarına malik olurlar, hansı ki, haqqında harada o yerləşib demək lazımdır. Məlum olub ki, bu, analitik həndəsənin olduqca mürəkkəb məsələsidir. Keçən əsrin 70-ci illərində iyirmidən çox alqoritm təklif olunmuş və onlardan təcrübi yolla ən qısa və sürətli cütlük seçilmişdir.

Həqiqətən də məsələ qabaqcadan göründüyündən daha mürəkkəbdir. Məsələ ondadır ki, poliqonal vilayətin daxilində digər poliqonlar da ola bilər. «O» hərfi tipli poliqonal fiqur təsvir edək. Bizi nöqtənin hərfin qara qabığına düşmə məsələsi maraqlandırır.

Üçölçülü halda məsələ daha mürəkkəb nəzərə çarpır, belə ki, burada, nöqtənin, daxilində kənar cisimlərin ola biləcəyi həcmi fiqur daxilində düşməsinə bilmək tələb olunur. Məsələn, filiz kütləsində boş süxur layıqları rast gələ bilər. Lakin həndəsəçilər və proqramçılar bu məsələnin öhdəsindən gəldilər. Bunun üçün həcmi fiqurların karkas səthlərinin, misal üçün filiz kütlələrinin, metodologiyası işlənilib hazırlandı. Filiz kütləsinin bütün səthi təpələrinin koordi-natları məlum olan üçbucaqlara bölünür. Üçbucağın təpəsindən müstəvi keçirilir. Bütün müstəviləri nəzərdən keçirməklə bizi maraqlandıran nöqtənin həcmi kütlənin daxilində və ya xaricində olması məsələsi həll edilir.

## *Nə görünür, nə görünmür?*

Üçölçülü modelləşdirmənin mühüm üstünlüyü həcmi fiqurları fırlatmaq imkanına malik olması və onlara hər bir nöqtəyindən, hər bir bucaq altında və hər bir rəkursdan baxıla bilməsidir. Belə fırlanmalar zamanı müəyyən fiqurlar digərlərini tam və yaxud qismən örtə bilər. Proqram hər bir halda, fiqurun hansı hissələri görünür, hansıları isə yox - mövzusunda çoxlu sayda məsələləri həll etməlidir. Məsələ bir də onunla mürəkkəbləşir ki, bəzi

fiqurlar yarımsəffaf fiqurlara aid ola bilərlər. Digər obyektlər belə fiqurların arxasından görünməlidirlər. Görünmənin nəzarəti məsələləri, necə deyərlər, görünməyən xətlərin aradan qaldırılması (səthlərin rəngli təsvirlər üçün sahələri) maşın həlli üçün kifayət qədər mürəkkəbdir və həm də külli miqdarda maşın sərfi və operativ yaddaş tələb edir. Əsas səbəb ondan ibarətdir ki, ümumi halda üç ölçülü fəzada modelləşdirilmiş obyektin elementlərindən hər biri bu və ya digər nöqtəyi nəzərdən hər hansı bir elementlə bağlana bilər. Odur ki, elementlərin sayı artırıldıqda onların qarşılıqlı müqayisəsi kvadratla artır. Rastr qrafikası üçün görünmənin nəzarəti məsələsi vektor qrafikasından fərqli olaraq bəzən daha sadə həll olunur.

Vektor qrafikası üçün istifadə edilən alqoritmlərə nəzər salaq. Həcmi predmetləri və fəza səhnələrini təsvir edən xətlər müxtəlif mənə daşıya bilərlər. İlk növbədə bunlar, obyektin onların arxasında yerləşmiş hissələrinin öz qalınlıqları hüdudunda qarşısını tutmuş saplar, millər və s. ola bilər. İkincisi, hər hansı bir müstəviyə, səthə salınmış şəkilləri təsvir edə bilərlər. Belə şəkil də öz-özlüyündə heç nəyin qarşısını tutmur. Üçüncüsü, bunlar obyektin hissəsinin qurtardığı və ya bir tilin digəri ilə birləşdiyi yerlər ola bilər. Obyekt üzərində müşahidə apararkən elə kontur xətləri görmək olur ki, onlar bizim gözlərimiz üçün obyektin görünən sərhədləri olurlar. Lakin əslində, obyektin özündə belə xətlər yoxdur. Hər hansı bir xəttin proyeksiyada ya qismən və ya tam görünməməsinin səbəbi iki ola bilər: ya xəttin daşıyıcısı (səth, til, bütöv kütlə) müşahidəçiyə doğru «əks» tərəfi ilə dönüb. Ya da xətt obyektin müşahidəçiyə daha yaxın hissələri ilə meyl edib. Bununla əlaqədar olaraq, görünmənin nəzarət proqramları iki kriteriyaya dayaqлана bilər: səmt kriteriyaları və ekranlaşma kriteriyaları.

Hesab edək ki, obyekt xırda səth toplularından ibarət olan şişmiş çoxüzlü və da şişmiş səthdir.

Əgər çoxüzlü-bütöv kütlədirsə, onda aydındır ki, onun hər hansı bir üzünü yalnız bir-xarici tərəfdən görə bilərsiniz. Hesab edək ki, səthin bir hissəsi də belə bir xüsusiyyətə malikdir. Sual olunur: analitik olaraq necə inanmaq olar ki, səth hansı tərəfdən görünür? Fəndlərdən biri belədir: səth üzərinə üçbucaq əmələ gətirən üç nömrələnmiş nöqtə yerləşdirək. Bu nöqtələr elə yerləşdirilməlidir ki, bu üzə bayır tərəfdən nəzər saldıqda üçbucaqlı müsbət səmtə

malik olsun (yəni onun zirvəsinin dolanma istiqaməti müsbət olsun). Bu - üçbucağın proyeksiyasının müsbət səmtləşməsi üçün proyeksiyada xaric tərəfdən görünməsinin əlamətidir. Əgər nöqtələrin koordinatları ilkin fəza koordinat sistemində məlumdursa, onda cizgi sistemində onların koordinatlarını tapmaq olar. Bunun üçün üçbucağın səmtləşmiş sahəsini müəyyən edən sadə düsturdan istifadə etmək olar:

$$C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)$$

$C$  kəmiyyətinin nişanı üzün hansı tərəfdən görüldüyünə işarə edir. Bu üsulun düzgün işləməsi üçün istifadə edilən koordinat dəyişiklikləri fəza oxlarının səmtləşməsinin qorunub saxlanılmasını təmin etməlidir.

Digər üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, tədqiq edilən üzün və yaxud səthin hər hansı bir nöqtəsində ona normaldan «xaricə» istiqamətlənmiş vektor qurulur və onun proyeksiyasının görmə şüasına qiyməti təyin edilir. Əgər proyeksiyanın işarəsi mənfidirsə, onda vektorun sonu başlanğıcına nisbətən müşahidəçiyə daha yaxındır, üz isə xaricdən görünür və əksinə. Bu üsuldan istifadə edərkən, koordinatların dəyişilməsi izometrik olmalıdır (geniş mənada).

Lakin bu üsul görünməyən xətləri tam aradan qaldırmağa imkan vermir. Odur ki, burada həm də ekranlaşdırma üzrə nəzarətdən istifadə edilməsi vacibdir. Bu nəzarətin necə həyata keçirilməsi ilə maraqlananlar bir sıra dərc olunmuş mənbələrdən istifadə edə bilərlər (Foks, Pratf, 1972; Fol, Van Dem, 1985; Kottov, 1988; Ammeral, 1992).

### *Yaxın nöqtə və ya yaxın xəttin axtarışı məsələsi*

3D proqramlarında geoqoqun kompüterlə ünsiyyətinin interaktiv rejimi istifadə edilir. Bu rejimin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, burada gah kompüter çəkir, gah da siçanın kursorundan istifadə edərək displeyin ekranında istifadəçi çəkir-model yaradır. Məsələn, geoqoqa iki quyu arasında yerləşmiş iki geoloji cismin təmas xəttini keçirmək lazımdır. O, kursoru birinci quyu üzərinə qoyur və proqramdan tələb edir ki, (bu nə cür edilir biz izah



etmirik) quyu lüləsində iki geoloji cismin təmasıu tapsın. Geoloqun özünün displey ekranında kursoru üçölçülü fəza nöqtəsinə dəqiq şəkildə qoyması praktiki olaraq mümkün deyil, belə ki, ekranın hər bir pikseli reallıqda bir neçə metrdir. Odur ki, istifadəçi proqramdan tələb edir ki, tələb olunan keyfiyyətdəki «ən yaxın» nöqtəni tapsın və onu «tutsun». Bu əməliyyat növbəti quyuda da yerinə yetirilir. Bundan sonra təmas xətti çəkilir.

Belə məsələ həndəsi olaraq bir o qədər də çətin deyil, lakin digər tərəfdən, proqramı istifadəçi ilə əlaqələndirən aydın interfeysi yaratmaq nöqtəyi- nəzərdən bu məntiqi olaraq xeyli mürəkkəb ola bilər.

### *Rəng*

Müasir standartlar baxımından, hər bir qrafik paket müxtəlif rəng modellərinə müvafiq olmalıdır. RGB – modeli (Red, Green, Blue) daha çox tanınıb. Lakin bundan başqa daha digər modellər istifadə edilməlidir: CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black); HSB (Hule, Saturation, Brightness); CIE Lab Comission International d'Eclairage (L) komponentinin – parlaqlıq; (a) rənglilik komponenti – yaşıldan qırmızıya doğru, (b) rənglilik komponenti – göydən sarıya doğru; Grayscale.

İstifadəçi yadda saxlamalıdır ki, rənglər displeyin ekranında kağız üzərində və transparantda (şəffaf plyonka) müxtəlif cür verilir. Bu heç də ondan baş vermir ki, bəzi printerlərin və qrafikquran cihazların drayverlərlə əlaqəsi qaydasında olmur. Burada bəzi mexanizmlərin sif texniki məhdudyyətləri öz təsiri- ni göstərir. Misal üçün, Grayscale modeli displeyin ekranında boz rəngin 256 çalarını yaratmaq imkanına malikdir, printerdə isə boz rəngin yalnız 50-yə qədər rəngini almaq mümkündür.

### *İşıqlanma, işıq ləkələri (zolaqları) güzgülik, kölgələr*

3D proqramlarında həmişə işıqlanma mənbəyi olur (bəzi proqramlarda o – fonar, digərlərində – proyektor adlanır). İstifadəçi işıqlanmanın istiqamətini və intensivliyini dəyişə bilər. Əksər proqramlarda əlavə proyektor və nöqtəvi işıq mənbələri də qoşmaq olar. Bütün bu imkanlar modelin maksimal təsirliliyini əldə etməyə kömək edir.

Obyektin işıqlandırılmasının intensivliyi məsələsi həqiqətən də mürəkkəb – həndəsi məsələdir. Tutaq ki, düşən işığın istiqaməti müşahidə istiqaməti ilə üst-üstə düşür, yəni ekranın müstəvisinə perpendikulyardır. 3D proqramı deyilmədən belə istiqaməti seçir. İşığın əsas mənbəyi çox uzaq olduğundan işıq şüaları praktiki olaraq paraleldir. Bu işıq mənbəyindən başqa hesab edərkən ki, bir qədər səpələnmiş digər mənbə də var və bu mənbə obyektin əsas işıq mənbəyi tərəfindən işıqlandırılma bililməyən tərəfinin də mütləq qaranlıq olmayacağını təmin edir.

Səthdən əks olunan işığın intensivliyi üç tərkib hissədən ibarətdir:

1.  $I_a$  səpələnmiş tərkib hissə obyektin ətraf mühətdən işıqlanması, məsələn otağın divarından;
2.  $I_d$  diffuziyon tərkib hissə, - Lambertin kosinuslar qanununa uyğun olaraq düşən işığın istiqaməti ilə səthə normal arasında  $\theta$  bucağının kosinusuna mütənasibdir;
3.  $I_s$  güzgü tərkib hissə – xüsusən də hamar və güzgü kimi əks etdirən səthlərə tətbiq olunur. Tam əks etdirən səth üçün əksətdirmə bucağı düşmə bucağına bərabərdir.

Bu tərkib hissələrin hesablanma üsulu işıqlandırma modeli adlanır. Predmetin dərinliyinə varmayaraq, hesab edərkən ki, əksər hallarda Fonq modeli istifadə edilir. Əsasən aydınlaşdırmaq lazımdır ki, işıqlandırmanın intensivliyi modelin bütün hamar hissələri üçün hesablanır. Bəzi modellər on minlərlə mikroüçbucaqlardan ibarət olur. Modelin hər bir minimal dönməsində ani olaraq milyonlarla riyazi əməliyyatlar həyata keçirilməlidir ki, proqram bilsin ki, bu anda modelin hansı detalları görünür, hansı detalları görünmür, belə ki, o hər hansı bir üçbucağın işıqlanmasını hesablaya bilsin.

İstifadəçi həmçinin stereoeffekti yoxlamaq imkanına malik olur. Bu halda ekranda modelin orijinala müqayisədə bir qədər yerini dəyişmiş əvəçisi peyda olur.

Stereogörmə qabiliyyəti müxtəlif insanlarda çox fərqlidir. Stereoeffekti almaq üçün bəziləri xeyli məşq edirlər. Bunun nəticəsində onlar sonralar modelin həcmliyinin yüksək dərəcəli illüziyasını əldə etmək qabiliyyətinə malik olurlar.

Üçölçülü modelləşdirmə proqramlarının tətbiq edildiyi bəzi digər sahələrdə, misal üçün kinomatoqrafiyada, qrafik nüvənin daha müasir variantları istifadə edilir. Onlarda artıq yüksək

predmetlərin kölgələri iştirak edir, hansıları ki, bir neçə işıq mənbəi olduqca hesablamaq çox cətinidir.

Bir çox səthlərin güzgü, şüşə, cilalanmış mebel, güzgülüyünün nəzərə alınması 3D modelini bir daha reallığa yaxınlaşdırır.

Ətrafda yerləşmiş əşyaların belə səthlərdə əks olunması layihələşdirici həndəsənin olduqca mürəkkəb məsələsidir. Bunu həm də işıq ləkələri, zolaqları (bilik) və günəş ləkələri barədə də demək olar.

Faydalı qazıntı yataqlarının modelləşdirilməsinin üçölçülü 3D proqramı «canlı» reallığın qeyd edilmiş reallıqlarından hələlik ki, məhrumdur. Güman etmək olar ki, onlar yaxın zamanlarda bu proqramlarda peyda olacaqlar.

### 1.8. Üçölçülü modellərin yaradılma qaydaları

Üçölçülü model (bundan sonra qısaca olaraq 3D model adlandırılacaq) yatağın geoloji strukturunu ən əyani şəkildə göstərməyə imkan verir. Bu filiz obyektinin təkə həcmi görkəminə deyil, həm də ona müxtəlif işıqlanma dərəcələrində müxtəlif rakurslar altında baxmağa imkan verir.

Hazır modeli müxtəlif istiqamətlərdə kəsmək olar, müxtəlif koordinat sistemləri və həndəsi proyeksiyalarda müxtəlif blokdiqramlar qurmaq olar. Belə modelləşdirmənin son məqsədi filiz kütlələrinin bütün əsas parametrlərinin daha dəqiq fəza təsvirlərini almaq və son hesabda geostatistik üsulla ehtiyatı hesablamaq və yatağın işlənilmə layihəsini tərtib etməkdən ibarətdir.

3D modelinin tərtib edilməsinin ən mühüm addımlarını qısaca olaraq nəzərdən keçirək.

#### *İlkin məlumatlar*

İlk növbədə bu və ya digər üsulla yataq üzrə maksimum tam geoloji-kəşfiyyat məlumatları kompüterə yerləşdirilir – məlumat bazası yaradılır. Məlumatların minimal toplusu mövcuddur. O aşağıdakı fayllardan ibarətdir: bütün quyuların ağzının və dağ qazmalarının koordinatları faylı; inklinometriya faylı; geoloji sənədləşdirmənin faylı; sınaqlaşdırma məlumatlarının faylı. Bu faylların necə göründüyünə baxaq və onlara qısa izahat verək.

Birinci faylın (quyu ağzının koordinatları faylı) fraqmenti cəd. 1-də göstərib. Bu fayl strukturasına və sütunların mənasına görə ən sadə fayldır. Odur ki, şərhə ehtiyacı yoxdur.

Cədvəl 1.

**Quyu ağzının koordinatları faylının fraqmenti**

Qazmanın (quyunun) nömrəsi	Quyu ağzının koordinatları			Qyunun dərinliyi (uzunluğu), m
	X (şərq)	Y (şimal)	Z (mütləq qiymət)	
....	....	....	....	
166	181039,1	52592,7	225	225
168	181010	53040	240	
....	....	....	....	

İkinci zəruri fayl (cəd. 2) quyuların (və yaxud digər qazmaların) inklinometriya məlumatlarını saxlayır. Burada «ölçünün dərinliyi» sütununda quyu dibində sonuncu ölçmənin dərinliyi quyu ağzının koordinatları faylında saxlanılan quyunun ümumi dərinliyi ilə uyğun gəlməlidir.

Cədvəl .2

**Quyuların inklinometriya faylının fraqmenti**

Qyunun nömrəsi	Ölçmənin dərinliyi (M)	Azimut (dərəcə)	Bucaq (dərəcə)
....	....	....	....
166	225 (quyu dibi)	198	-86
168	0	200	-85
168	20	201	-85
168	40	202	-84
....	....	....	....
168	320	198	-80
168	340	199	-80
168	358 (quyu dibi)	199	-80
170	0	200	-85

Geoloqlar üçün bir o qədər də adət edilməyən zenit bucaqlarının işarələrinə fikir vermək lazımdır.

Aşağıdan yuxarıya doğru qazılan quyuların zenit bucaqları 0<sup>0</sup>-dən +90<sup>0</sup>-yə qədər müsbət işarələrə malik ola bilər. Quyu yuxarı-dan aşağıya doğru qazıldıqda onların zenit bucaqları 0<sup>0</sup>-dən -90<sup>0</sup>-yə qədər mənfi işarəli olar.

İlkin məlumatların növbəti faylı dağ qazmalarının geoloji sənədləşdirilməsi barədə məlumatlar saxlamalıdır (cə. 3). Əyani misal kimi, Rubcovski polimetal yatağında (Rusiyanın Altay vilayəti) qazılmış iki quyunun məlumatları göstərilir.

Cədvəl 3

**Geologiya faylının (geoloji sənədləşdirmə) fragmenti**

Qazmanın nömrəsi	Dərinlik (M)-dən	Dərinlik (M)-dək	Süxurun kodu
1	2	3	4
....	....	....	....
RuB-3	0,0	104,0	a
RuB-3	104,5	134,0	b
RuB-3	134,0	140,0	q
RuB-3	140,0	159,9	d
RuB-3	159,9	160,9	e
RuB-3	160,9	166,5	m
RuB-3	166,5	208,0	z
RuB-3	208,0	310,0	u
RuB-3	310,0	518,3	k
....	....	....	....
RuB-132	0,0	96,0	a
RuB-132	96,0	109,5	b
RuB-132	109,5	140,0	v
RuB-132	140,0	150,0	q
RuB-132	150,0	166,2	d
RuB-132	166,2	166,7	e
RuB-132	166,7	178,0	m
RuB-132	178,0	191,0	z
RuB-132	191,0	250,3	u
RuB-312	....	....	....

*Qeyd:* «Suxurların kodu» sütununda süxurların şərti kodu yazılıb. Bizim nümunəmizdə hərflər aşağıdakı mənə daşıyır:

*a* - kaynozoy yaşlı qumlu-gilli çöküntülər;

*δ* -alevrolitlər, argillitlər, qumdaşları;

*b* -filizüstü vulkanik süxurlar; *r*-turş tərkibli tuflar; *g*-turş tərkibli tuf horizontunun təması üzərində zona; *e*-filiz; *m*-kvars-serisit-xlorit metasomatitləri; *ζ* -metasomatit (karbonatlı); *u*-turş tərkibli vulkanitlər; *k*-subvulkanlar.

Mühüm fayllardan biri də sınaqlaşdırmanın məlumatları faylıdır. Nümunə kimi Rubtsovski yatağındakı yeraltı meyilli quyunun sınaqlaşdırma məlumatlarına baxılır (cədvəl 4).

Cədvəl 4

**Sınaqlaşdırma faylının fraqmenti**

Qazmaların nömrəsi	Sınaqların nömrəsi	Dan (M)	Dən (M)	Koordinatlar			Miqdar					
				X	Y	Z	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	S %	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2078	110197	34	36	52568,4	181006,5	108,9	0,0	0,1	0,2	6,1	3,7	
2078	110198	36	38	52569,5	181004,9	109,4	1,5	0,1	0,4	6,7	5,2	
2078	110199	38	39	52570,3	181003,7	109,7	6,8	4,1	21,2	20,8	35,4	
2078	110200	39	40	52570,9	181002,9	110,0	5,9	5,5	24,7	24,9	40,2	
2078	110201	40	41	52571,4	181002,1	110,2	4,8	10,3	26,4	21,1	34,6	
2078	110202	41	42	52572,0	181001,3	110,4	4,3	12,1	29,2	18,2	34,3	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

*Qeyd:* hər bir sınağın koordinatları həqiqətən də ilkin məlumat faylında olmur. Onlar müəyyən hesablamalardan sonra peyda olurlar. Burada onlar ona görə göstərilib ki, daha bir cədvəl tərtib edilməsin.

***İlkin məlumatların yoxlanılması***

3D modelinin qurulması işində ən mühüm mərhələlərdən biri ilkin məlumatların dəqiq yoxlanılmasıdır. Xüsusi proqram alətləri var ki, onlar bütün faylları bir-biri ilə müqayisə edirlər. Quyular bütün fayllarda rast gəlinirmi? Quyuların nömrələri səhv salınmayıb ki? İnklinometriyanın dərinliyi quyunun ümumi dərinliyinə uyğun gəlirmi? Sınaqların ardıcılığı pozulmayıb ki? Digər bu kimi suallar.

Yoxlanılıb düzəldilmiş məlumatlar üçölçülü fəzada baxıla bilirlər. Bunun üçün quyu və dağ qazmalarının istiqaməti müəyyən edilməlidir. İnklinometriya məlumatlarına əsasən quyu lülələrinin əyilməsi hesablanır. Onun trassı, məsələn hər 1 metr-dən ayrıca bir fayla yazılır. Hər bir sınağın intervalının ortasının koordinatları hesablanır. Bundan sonra quyuların qarşılıqlı yerləşməsini üçölçülü fəzada diqqətlə yoxlamaq olar. Müxtəlif süxurları və faydalı komponentin miqdarlarını müxtəlif rənglərlə əks etdirərək, müəyyən etmək olar ki, geoloji məlumatlar düzgün verilib, yoxsa yox.

## *Səthlərin karkası*

Geologiyada ən əsas yeri geoloji səthlər tutur. Onlar yataq məkanını ayrı-ayrı həcmi fiqurlara – geoloji kütlələrə parçalayır. Sonuncular bütövlükdə bütün yer təkinin həcmi təşkil edirlər. Odur ki, 3D modellərində səthlərin imitasiyası üsulları olduqca mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Səthlərin modelləşdirilməsinin (əks etdirilməsinin) bir çox üsulları vardır. Lakin biz 3 ölçülü fəzaya keçərkən onların hamısı praktiki olaraq eyni tipdə olurlar ki, bu da «səthlərin karkas modelləşdirilməsi» adlanır. İngilis dilində bu tip modellər üçün xüsusi termin işlədilir – *wireframe*. Bu sözün daha dəqiq tərcüməsi «məftil karkas» və ya «məftil skelet»-dir. Rus dilli proqramlarda «məftil» ifadəsindən o vaxt istifadə edirlər ki, karkas örtüklə örtülmüş olmayıb, hər hansı bir rəngli, qeyri-şəffaf «material» geydirilməyib və ona görə də işıqlandırılarkən onun bütün tilləri görünür. Digər hallarda sadəcə olaraq «karkaslar» və ya «bütöv karkaslardan» (*solid frame*) danışılır.

Beləliklə, üçölçülü variantda bütün səthlər karkaslarla təmsil olunurlar, belə ki, bütün səth bir qayda olaraq müxtəlif ölçülü üçbucaqlara bölünür.

Sahənin üçbucaqlara bölünməsi (digər sözlə, trianqulyatsiyası) müəyyən qaydalar üzrə həyata keçirilməlidir. Bütün dünyada trianqulyatsiyanı B.N.Deloneyə görə aparmaq qəbul olunub.

## *Delone trianqulyatsiyası*

Boris Nikolayeviç Delone (1890-1980), görkəmli rus riyaziyyatçısı, 1924-cü ildə Torontoda (Kanada) riyazi konqresdə «boş şar üsulunu» təklif etdi.

Fəzada sərbəst diskret nöqtələr sistemi təsvir edək və ora sabun köpükləri kimi uçan şarlar buraxaq. «Boş» şar o mənada deyilir ki, bu sistemin bir dənə də olsa nöqtəsi onun üzərinə düşməsin. Qəbul edək ki, şar şişir. Onda onun bu nöqtələrdən hər hansı biri ilə toqquşması mütləqdir, lakin onu yenə də şişirtmək olar. Bunu o vaxta qədər etmək olar ki, onun üzərində o qədər nöqtə olsun ki, o artıq şişə bilməsin. Bu o vaxt baş verə bilər ki,

onun üzərində bir müstəviyə yerləşməyən dörd nöqtə olmuş olsun. Bu şar içərisində yerləşmiş tetraedrin zirvələri olacaq.

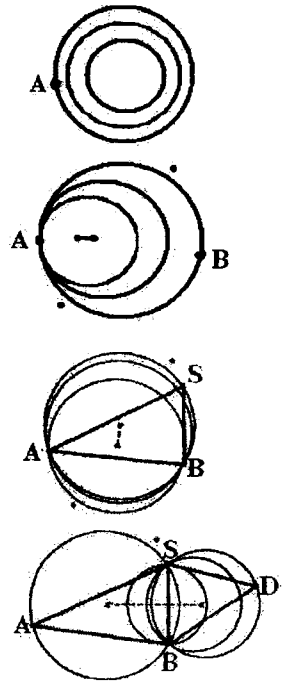
Bu mənzərəni fəzada təsvir etmək çətindir, onda ona daha münasib variantda baxaq: müstəvidə nöqtələr sistemi arasında *boş dairədə*. Dairəni hərəkət etdirib «şişirdək» (şək. 5). Daha sonra dairənin şişirdilməsi onun sərhədində B nöqtəsi peyda oluncaya qədər davam etdirilir. Nəticədə dairənin xaç ilə işarə edilmiş mərkəzi şəkildə sağa yerini dəyişir (şək. 5b). Növbəti mərhələdə dairə C nöqtəsi ilə toqquşur və bundan artıq şişə bilmir (şək.5v). Əgər indi dairəni CB kəsiyindən deşib keçməyə məcbur etsək, onda C və B nöqtələrindən sağa doğru şişərək, o D nöqtəsinə dirənəcək. Burada CB tərəfi ilə ortaqlıq olan iki ABC və CBD üçbucaqları almış olarıq (şək. 5 ,6). Bu yolla bütün müstəvi üçbucaqlara bölünür. Hamar halda bu bölünmə alqoritmi olub, *Delone trianqulyasiyası* adlanır.

### Məftil karkas

Hesab edək ki, yataqda qazılmış yerüstü quyuların ağızlarını əks etdirən nöqtələr xəritəmiz var. Bu nöqtələr sistemində Delone trianqulyasiyasını həyata keçirək. Bu – iki-ölçülü nöqtələr sahəsidir

Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, hər bir qazma quyusu ağzının öz yüksəklik qiyməti var. Əgər biz 3D proqramında işləyiriksə, onda biz modeli istənilən bucaq altında və istənilən istiqamətdə çevirə bilirik və bir daha arxayın olarıq ki, səthin məftil karkas şəkilində olan üçölçülü modeli hamar xəritədən nə qədər əyanidir.

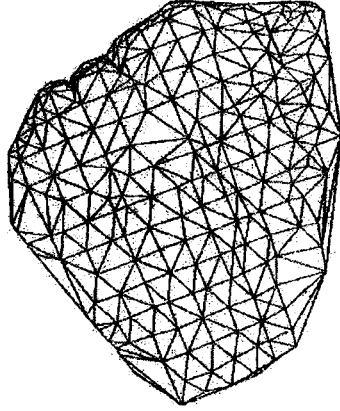
Şəkil 5. B.N Delone boş şar üsulu  
(Aleksandrova görə, 1980)





Mətil karkas halında onun tilləri işıqlanaraq görünür (şək.6), əgər o örtüklə örtülübse, onda biz səthin yalnız bizdən digər üz və tillərlə bağlı olmayan üz və tillərini görürük (şək.7).

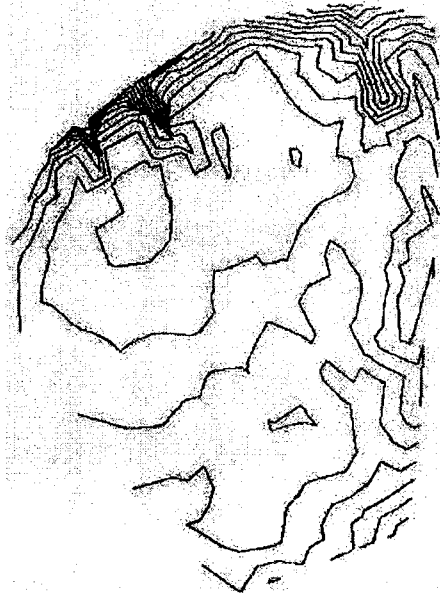
*Şəkil 6. Yer səthinin Delone trianqulyasiyası ilə qurulmuş mətil karkası*



*Şəkil 7. Yer səthinin bütöv karkası. Sahənin relyefi fəza üçbucaqlarının rəng çalarlarına görə təsvir olunub*

### *Səthlərin rəqəmli modelləri (SRM)*

Əgər səthin ilkin karkası qurulubsa, ona əsaslanaraq izoxətlər qurmaq olar. İzoxətli xəritələrin qurulmasının bu üsulundan bir çox onilliklər bundan qabaq (kompüter dövrünə qədər) geoloqlar istifadə edirdilər, yəni əl ilə üçbucaqlar qururdular və onların içərisində düz interpolyasiya xətləri keçirirdilər. Bu üsul *xətti interpolyasiya üsulu* adlandırılırdı. İndi isə bu başqa cürə – *səthlərin rəqəmli modelləri* adlanır. Məzmun elə əvvəlki kimi qalır. Yüksəklik nöqtələri olan sahədə Delone trianqulyasiyası aparılır, nöqtələri birləşdirən tillər karkas əmələ gətirir, onun hər bir zirvəsi özünün yüksəklik qiymətinə malikdir. Hər bir fəza üçbucağında müstəvi qurulur və izoxətlər keçirilir. *SRM prosedurası* ingilis dilində *DTM* (digital Terrain Model) adlanır. 8 sayılı şəkildə yatağın yer səthinin bu üsulla hazırlanmış izoxətlər xəritəsi göstərilmişdir.



*Şəkil 8. Yatağın yer səthi relyefinin SRM üsulu ilə qurulmuş izoxətlər xəritəsi*

Belə xəritənin çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, izoxətlər kəskin olaraq sınırlar. 3D proqramlarında bucaqlı - izoxətləri hamarlaşdırmaq imkanları vardır. Hər bir izoxət ayrı-ayrılıqda hamarlaşdırıldığından, yaxın yerləşmiş hamarlaşdırılmış izoxətlər kəsişə bilirlər. İzoxət xəritələrinin qurulmasının bir sıra digər üsulları da vardır. Oxucunu bu üsullardan bəziləri ilə tanış etməzdən əvvəl qrid və qridinq kimi yeni terminləri nəzərdən keçirək.

### *Qridlər və qridinqlər*

*Qridinq* (qridinq) – ilkin məlumat nöqtələrinin qeyri-bərabər paylanmadan şəbəkənin qovşaqlarında ölçüləri geoloq tərəfindən verilən düzgün (qrid) bərabər paylanmaya keçid prosedurudur.

*Qrid* – sadəcə olaraq şəbəkə deyil, həm də qridinqin nəticəsi – məlumatların düzgün şəbəkənin qovşaqlarında interpolyasiyasıdır. İnterpolyasiya nəticələrinin yazıldığı matrisa qrid adlanır. İnterpolyasiyanın bir-birindən olduqca fərqli nəticələr verən ən azı 15 üsulu mövcuddur: sadə sürüşkən orta; yaxın orta; real yaxın qonşu; əks məsafənin qüvvəti; Şepardin modifikasiyası; bazisli radial funksiyalar (5 funksiya); ən az əyrilik; polinomial reqressiyalar; lokal polinomial; xətti interpolyasiyalı trianqulyatsiya; kriqinq üsulları.

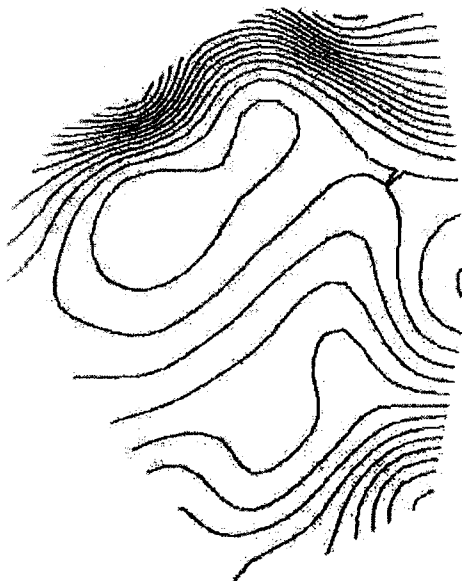
Əksər 3D proqramlarında bu üsulların yalnız yarısı reallaşdırılmışdır. Adı topla: ən az əyrilik üsulu; əks məsafənin qüvvəti üsulu; yaxın qonşu üsulu; kriqinq üsulu və SRM, xətti interpolyasiyalı trianqulyatsiya üsulu. Demək olar ki, polinomial reqressiya üsulu da istifadə edilir, lakin bu üsul interpolyasiya məqsədi deyil, tədqiq edilən əlamətin məkanca paylanmasında aşkar qanunauyğunluq trendini kənarlaşdırmaq məqsədi daşıyır.

İnterpolyasiyanın qeyd edilmiş hər bir üsulunun öz müsbət və mənfi tərəfləri var. Bizim məqsədimiz burada hər bir üsulun çatışmazlıqlarını araşdırmaq deyildir.

Daha bir üsulu – xətti interpolyasiyalı trianqulyatsiya üsulunun alternativini olan əks məsafələrin qüvvəti üsulunu misal göstərək.

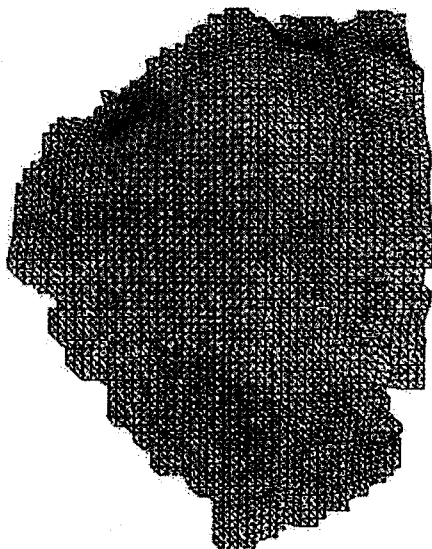
*Əks məsafələr üsulu* relyefin daha hamar naxışlarını verir (şək.9). Odur ki, o daha geniş istifadə edilir. Bu üsulda ilkin nöqtə-

lər qridin nəzərdə tutulmuş nöqtəsinə qədər olan məsafənin kvadratının əksinə olan çəkiyə malik olurlar. İzoxətlər xəritəsini, qovşaqları düzgün, requlyar şəbəkə ilə (bizim halda 50 x 50 m) göstərilmiş məftilli karkasa çevirmək çətin deyildir.



*Şəkil 9. Yer səthi relyefinin əks məsafələrin quvvəti usulu ilə qurulmuş izoxətlər xəritəsi*

Diqqət yetirmək lazımdır ki, bu məftilli karkasda (şək.10) hər bir kvadratda diaqonallar keçirilib. Bu səbəbdən də əks məsafələr üsulu ilə qurulmuş requlyar karkas da Delone trianqulyat-siyası üzrə qurulmuş karkas kimi (şək.6) fəza üçbucaqlarından ibarətdir, lakin onun hamarlaşdırılmış variantını təşkil edir.



*Şəkil 10. Yer səthində əks məsafələrin qüvvəti qridinqi üzrə qurulmuş məftil karkası. Qrid yuvalarının ölçüləri 100 x 100m-dir.*

Hər bir fəza üçbucağı işıq mənbəyinə və müşahidə xəttinə münasibətdə öz xüsusi səmtləşməsinə malikdir. Ona görə də, şəkl.7-də olduğu kimi biz displeydə karkası yarımton təsvirdə göstərə bilərik (şəkl.11). Hər bir üçbucağa onun təpələrinin orta yüksəklik qiymətlərini yazaraq, hər bir fəza üçbucağını coğrafi xəritələrdə olduğu kimi rəngləyə bilirik. Alınmış xəritə (şəkl.12), məftilli karkasdan və ya politon təsvirdən daha informativdir. Həcmi təsvirin əsl illyuziyası yalnız o vaxt əmələ gəlir ki, biz displeyin ekranında şəkilli fırladıriq. Modelləşdirdiyimiz səthə hətta altdan da nəzər sala bilirik. Təəssüf ki, şəkillərin dərsliklərdəki tipoqrafik yolla hazırlanmış animasiyaları hələlik əldə edilməyib.



*Şəkil 11 Yer səthinin əks məsafələrin qüvvəti qridinqi üzrə qurulmuş poluton rəngli bütöv karkası. Qrid yuvarlarının ölçüləri 50 x 50 m-dir.*



*Şəkil 12. Yer səthinin əks məsafələrin qüvvəti qridinqi üzrə qurulmuş bütöv karkası (originalda rəngli). Qrid yuvalarının ölçüləri 50 x 50 m.*

## *Geoloji cismin karkas modeli*

Həcmi geoloji cisim bir neçə üsulla qurula bilər. Üsullardan biri ondan ibarətdir ki, biz əvvəlcə geoloji cismin tavanının, sonra isə döşəməsinin karkas modelini qururuq. Daha sonra isə geoloji cismin tavanı ilə döşəməsini bir-birinə toxuyuruq. Nəticədə qapalı, həcmi, geoloji kütlə alınır, misal üçün filiz kütləsi. Bu üsuldə geoloqun yaradıcı iştirakı minimumdur.

Filiz kütləsi tavanı və dabanı karkasları avtomatik olaraq hesablanır. Demək olar ki, karkasların da birləşməsi «avtomatik» baş verir. Bu zaman geoloji kəsilişlərdən horizont planlarından və digər geoloji sənədləşdirmə materiallarından minimum dərəcədə istifadə edilir.

Ola bilsin ki, elə buna görə də geoloji kütlələrin karkas modellərinin stringlərin köməyi ilə qurulması üsulu əsas üsul kimi baxılır.

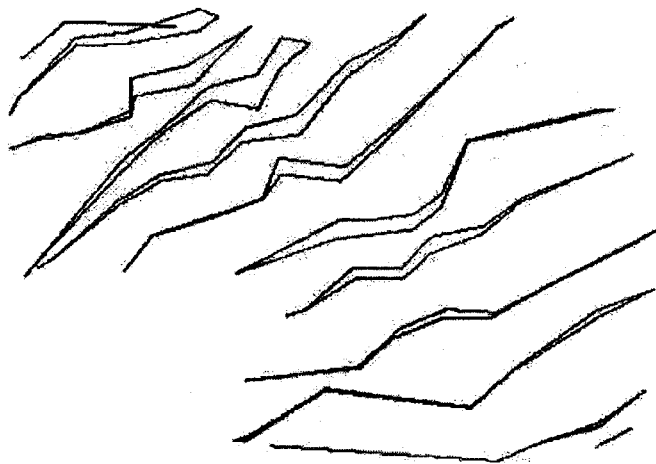
## *Stringlər*

*String* – ingilis sözü olub, tərcümədə «sap» deməkdir. O, stringin qurulması prosedurasının mahiyyətindən demək olar ki, geoloqa heç bir şey demir. Bununla belə, bir neçə string qurandan sonra, geoloq anlamağa başlayır ki, string (ən adi halda) – geoloji kütlənin kəsilişdə konturudur. Stringin qurulması geoloji kütlənin üfüqi və ya şaquli kəsilişlərdə qurulmasına çox oxşayır. Displayin ekranına kəşfiyyat planı yerləşdirilir, onun üzərində geoloq kompüter tərəfindən qurulacaq kəsiliş xəttini göstərir. Gələcək kəsilişin oxu boyu hər iki tərəfdən daha iki xətt (stringlərlə) keçirilir. Bu onu göstərir ki, kəsilişlər qurularkən bu zonaya düşən bütün quyular nəzərə alınacaq, məsələn  $\pm 50$  m (zonanın enini geoloq müəyyənləşdirir).

3D proqramı göstərilmiş sərhədlərə düşən bütün quyuları displayin ekranına çıxarır. O geologiyadan və ya seçilmiş faydalı komponentlərin miqdarından asılı olaraq quyuların lülələrini işıqlandırır. Bizim qarşımızda duran məsələyə nəzərdə tutulan filiz kütləsinin kəsilişdə «konturunu çəkmək» daxildir. Filiz kütləsinin konturunu displayin ekranında çəkərkən, string faylına avtomatik olaraq kontur daxilində yerləşmiş quyuların hamısının 3 koordinatı yazılır. Beləliklə, verilmiş kəsilişdə geoloji kütlənin string

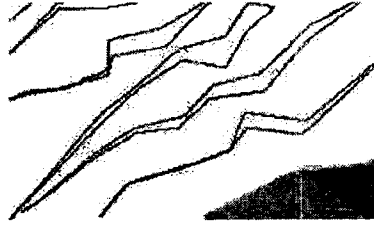
qi (konturu) alınır. Qeyd etmək lazımdır ki, konturların çəkilməsi həmişə bir istiqamətdə, ya saat əqrəbi istiqamətində ya da əksinə aparılmalıdır. Konturların çəkilməsinin bu üsulu yatağın model-ləşdirilməsinin bütün gedişində şabit saxlanılmalıdır.

Verilmiş geoloji kütlənin strinqlərini bütün kəsilişlər üzrə yerinə yetiririk. Bu kütlə üzrə qurulmuş strinqlərin hamısını birlikdə təsvir etmiş olsaq, onda geoloji kütlənin xarici konturlarının 3D fəzasında özünəməxsus blok-diaqramını almış olarıq (şək.13). Xüsusi proseduranın köməyi ilə bu qrup strinqləri həcmi geoloji kütləyə çevirmək olar. Belə proseduranı örtük çəkilmə və ya bəzəmə adlandırmaq olar. İfadəli olaraq desək, bu strinqlərdən ibarət karkasın üzərinə örtük çəkilməsi deməkdir (seçilmiş rəng materialı). Belə bir örtük çəkilmənin işçi momenti şək.14-də göstərilib, şək.15-də isə son nəticə - geoloji kütlənin müəyyən *solid*, yəni «bütöv» əlavəli həcmi karkas modeli təsvir edilib.

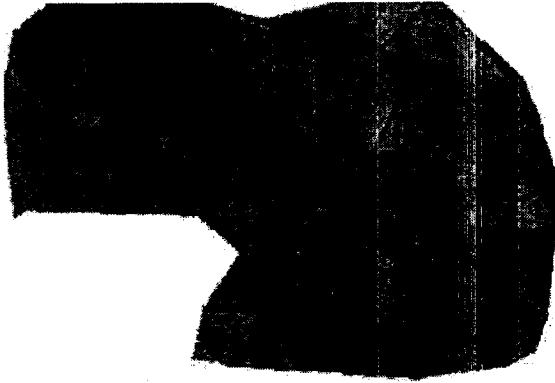


Şəkil 13. Strinq seriyalı – bütün kəsilişlərdə filiz kütləsinin konturları.





*Şəkil 14. Bütün kəsilişlərin stringlərinə örtüyün « çəkilməsi» epizodu.*



*Şəkil 15. Geoloji kütlənin stringlərdən qurulmuş bitmiş karkası.*

### *Tam karkas model*

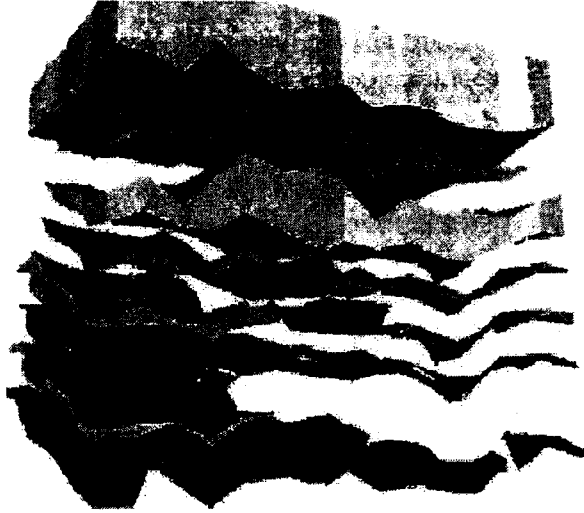
Strinqlərin köməyi ilə yatağın bütün geoloji kütlələrinin karkas modellərini quraraq onları tam karkas modelinə yığmaq olar (şək.16). Bu özünəməxsus blok-diaqramı fırladaraq ona müxtəlif tərəflərdən baxmaq olar.



*Şəkil 16. Rubtsovski yatağının tam karkas modeli*

Belə bir «Sıx» modelin ciddi bir çatışmamazlığı da var – belə ki, bu model yerin daxilinə baxmağa imkan vermir. Lakin 3D proqramlarında müxtəlif geoloji layları aralamaq imkanları var (şək.17). Belə aralanmış tam model xeyli əyani şəkildə yatağın modelləşdirilən sahəsinin geoloji strukturunun bütün əsas xüsusiyyətlərini əks etdirir. Məsələn, Rubtsovski yatağının aralanmış modelində metasomatik əmələgəlmələrin (altdan ikinci lay) yataqda heç də tam deyil, yalnız onun qərb hissəsində yayıldığı yaxşı görünür.

Yuxarıdan aşağıya: qumlu-gilli çöküntülər, alevrolitlər, argillitlər, qumdaşları; filizaltı və filiz yerləşdirici süxurlar arasında kontakt zonası; turş tərkibli süxurlar; turş tərkibli tuf horizonları; filiz kvars-serisit-xlorit metasomatitləri; karbonat metasomatitləri; turş tərkibli metasomatitlər; subvulkanlar.



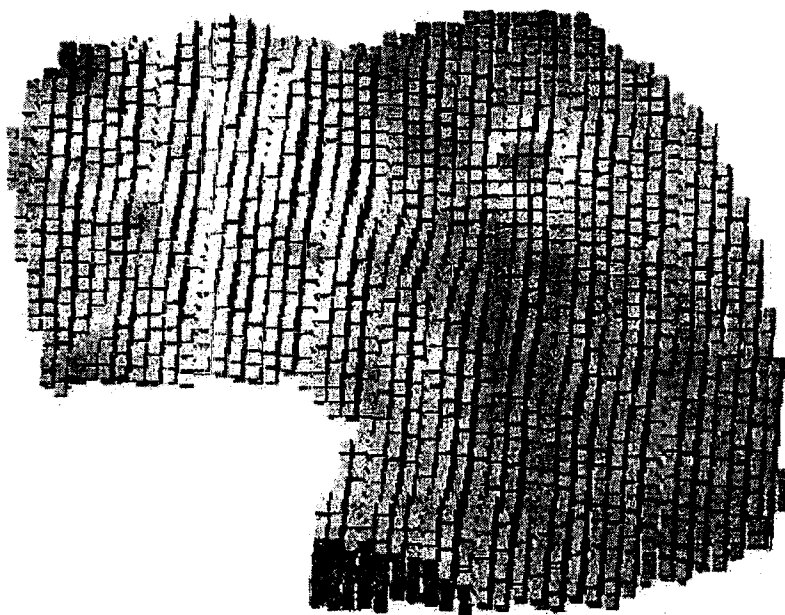
*Şəkil 17. Rubtsovski yatağının tam aralanmış karkas modeli*

### *Blok modelləri*

Yerin modelləşdirilən hissəsini mikrobloklara bölmək olar, məsələn 10 x 10 x 10 m. Hər bir bloku onun mərkəzində rast olunan süxura aid etmək olar. Bu, yatağın ən sadə blok modeli olacaq. Rubtsovski yatağı təmsalında belə model kifayət dərəcədə kobud olacaq, belə ki, filiz kütləsi bəzi hissələrində metrlik qalınlığa malikdir. Modelin nazik layıqları əks etdirməsi üçün blokların hündürlüyünü mütləq azaltmaq lazımdır.

Adətən bütün yatağın deyil, yalnız onun filizli hissəsinin blok modellərini- filiz kütlələrinin blok modellərini qururlar. Blokların ölçüləri dəqiqliklə hasilat üsülü və mədənin məhsuldarlığı ilə razılaşıdırılır. Yaxşı olardı ki, blokların ölçüləri gündəlik hasilatın 1/4 hissəsindən artıq olmasın. Məsələn, mədənin gündəlik hasilatı 1000 t filiz ( filiz sıxlığı  $2,8 \text{ t/m}^3$  ) planlaşdırılırsa, onda dörd hasilat quyu dibinin hər birindən 4,5 x 4,5 x 4,5 m ölçülü blokun hasil edilməsi lazımdır.

Blok modeli aşağıdakı ardıcılıqla qurulur. Əvvəlcə boş blok model qurulur – bütün modelləşdirilən həcm verilmiş ölçüdə boş bloklarla doldurulur. Daha sonra hər bir filiz kütləsi üçün müvafiq filiz kütlələrinin karkasları ilə kəşişən bloklar axtarılır. Modeldə yalnız bu bloklar saxlanılır, digərləri isə «tullanılır». Növbəti əməliyyatda interpolyasiya prosedurlarından biri seçilir və hər bir blok üçün filiz kütlələrinin bizi maraqlandıran parametrləri faydalı komponentin miqdarı, orta qalınlıq müəyyənləşdirilir. Əgər ehtiyatların qiymətləndirilməsinin geostratistik üsulu istifadə edilirsə, onda interpolyasiya proseduru kimi, kriqinq – qiymətləndirmənin minimal dispersiyasını təmin edən hamarlanmanın ixtisaslaşdırılmış əməliyyatı istifadə edilir. Şəkil 18-də nümunə üçün kolçedan-polimetal yatağının filiz kütlələrindən birinin blok modeli göstərilir.



*Şəkil 18. Kolçedan-polimetal yatağının blok – modeli. Bloklar onlarda Zn miqdarına görə rəngləniblər.*

## II. EHTİYATIN HESABLANMASININ GEOSTATİSTİK ÜSULLARI

Yatağın dəqiq kəşfiyyat mərhələsi başa çatdıqdan sonra nə etməli? Sponsor (və ya sponsorlar) axtarmaq lazımdır ki, əvvəlcə dağ-mədən müəssisəsini layihələşdirməyə razılıq versin, daha sonra isə layihəni reallaşdırmağa ciddi kapital qoymuş olsun. Bu andan başlayaraq yatağın tam istismarına qədər yatağın ehtiyatlarının qiymətləndirilməsinin geostatistik üsullarının tətbiq edilməsi tövsiyə edilir.

### 2.1. Bir qədər də geostatistikanın tarixi barədə

Geostatistika ilk dəfə olaraq keçən əsrin 60-cı illərində geoloqlardan yan keçməklə fransız alimi Jorj Materon və onun tələbələri A.Jurnel, M.David, A.Mareşal tərəfindən yaradılmışdır. J.Materon 1962-ci ildə dissertasiya müdafiə etmiş.1964-cü ildə o Fransada ikicildlik monoqrafiya şəkilində nəşr edilmişdir. Öz ideyalarını təbliğ edərək, J.Materon elmi jurnallarda bir neçə məqalə dərc etdirmiş, mühazirələrlə müxtəlif ölkələrə getmişdir. 1966-cı ildə J.Materon bir neçə mühazirə də Moskvada M.V.Lomonosov adına Universitetin Geologiya fakültəsində oxumuşdur. 1968-cı ildə onun monoqrafiyası SSRİ-də rus dilinə tərcümə edilmişdir.

1970-cı illərdə J.Materonun tələbələri müxtəlif tip faydalı qazıntı yataqları barədə külli miqdarda məlumatlar toplamış və emal etmişlər. Onlar öz müəllimlərinin ideyalarını daha da inkişaf etdirərək, bir sıra monoqrafiya və dərsliklər nəşr etdirdilər (Maresal, 1975; David, 1977; Jurnel və Xuybrext 1978). 1980-ci ilin ortalarına qədər riyazigeologiya jurnallarında ehtiyatların hesablanması məsələlərinin həllində geostatistik yanaşma çoxlu tənqidlərə məruz qalırdı. Lakin 80-ci illərin sonunda geostatistika demək olar ki, bütün dünyanı fəth etmişdi. O, SSRİ və onun davamcısı olan Rusiya istisna olmaqla bütün ölkələr tərəfindən qəbul edilmişdi.

Paradoksal bir situasiya yaranmışdı - Rusiya ilk dövlət olmuşdu ki, J.Materonun kitabı tərcümə edilərək nəşr edilmişdir və eyni zamanda Rusiya az qala sonuncu ölkədir ki, burada geostatistika rəsmi olaraq qanuniləşdirilməmişdir (Ehtiyatlar üzrə Dövlət Komissiyası səviyyəsində). Məsələnin kökü nədədir?

## 2.2. Filiz axınları və mikrobloklar

Məsələ ondadır ki, SSRİ-də dağmədən və metallurgiya sənayesi inkişaf etmiş kapitalist ölkələrindən fərqli olaraq həm təşkilat və həm də təsərrüfat prinsipləri baxımından tamamilə başqacürə qurulmuşdu. Burada çox nadir halda ola bilərdi ki, eyni şirkət yatağın həm kəşfiyyatını aparır və həm də filizi emal edir. Dağmədənçilər və emalçılar hətta bir korporasiyaya daxil olsalarda, onlar arasında qarşılıqlı əlaqələr müqavilələr əsasında qurulur. Məsələn, müqavilədə yazılır, mədən –filiz zənginləşdirmə fabrikinə hər sutka, misin miqdarı  $5,0 \pm 0,3\%$  olmaqla, min ton həcmində mis sulfid filizi verməlidir. Hətta sifariş olunmuş min tondan artıq (ya əskik) filizin göndərilmə variantı heç müzakirə olunmurdu. Mədən filizlə zənginləşdirmə kombinatına nə artıq, nə də əskik, düz 1 min ton filiz gətirməlidir. Bununla bərabər o həm də keyfiyyətinə görə misin  $4,7\%$ -dən  $5,3\%$ -ə qədər interval miqdarına cavab verməlidir. Əgər mədən daha kasıb filiz göndərsə, tutaq ki,  $4\%$  Cu, onda bir neçə tonn bahalı flotasiya agentləri (flotasiya zənginləşdirməsi halında) boş-boşuna istifadə ediləcək. Əgər mədən daha zəngin filiz ( $6\%$ ) gətirərsə,  $1\%$  Cu quyruqda qalacaq, belə ki, bu «artıq» faiz misi çıxarmaqdan ötəri məhlullarda flotasiya agentləri olmayacaq. Bu da öz növbəsində ziyandır.

Odur ki, *mədən filizaxınıni həm kəmiyyət və həm də keyfiyyət baxımından sabit saxlamalıdır*. Filiz isə yatağın müxtəlif yerlərində müxtəlifdir, ya zəngindir, ya da kasıbdır. Odur ki, ya bir zəngin ya da bir kasıb sahəni istismar etmək olmaz. Bu sahələrdən olan filizləri müəyyən nisbətdə qarışdırmaq lazımdır ki, filizaxını misin miqdarının müəyyən həddlərindən kənar çıxmasın. Filizin tərkibini dəyişdirməyə geniş imkana malik olmaq üçün daha yaxşısı odur ki, müxtəlif filizə malik olan bir neçə sahə eyni zamanda istismar edilsin. Təcrübədən məlumdur ki, eyni

zamanda 4 (və daha çox) sahə və ya blok işlənirsə bu yaxşıdır. Bu bloklar hansı ölçülərdə olmalıdır?

Tutaq ki, neçə deyilmişdi, mədən hər sutka 1 min ton filiz verməlidir. Tutaq ki, filizin həcm çəkisi  $3 \text{ t/m}^3$ -dir. Deməli 1 min ton filiz təxminən  $333,33 \text{ m}^3$  həcmi tutacaq (yer təkində doğranılana qədər). Əgər biz bu həcmi dörd blokda istismar etmiş olsaq, onda hər bir blok təxminən  $83,33 \text{ m}^3$  həcmə malik olmalıdır. Bu həcm tərəfləri  $5 \times 4 \times 4,17 \text{ m}$  olan düzbucaqlı paralelepipedin həcminə bərabərdir.

Əlbəttə, blokun ölçüləri yatağın hansı üsulla işlənəcəyindən asılıdır. Karxanada blokun ölçüsü istismar pilləsinin hündürlüyü ilə müəyyənləşdirilir. Əgər bu yeraltı istismardırsa onda o bir çox üsullarla yerinə yetirilə bilər: laylı uçurma, lava, laylı ştrek, maqazınlaşdırma sistemləri və s. üsullarla. Yeraltı dağ qazmasının tavanının hündürlüyü istismar blokunun mümkün ölçülərindən birini - onun yüksəkliyini müəyyən edir. Məsələn, en kəsiyi  $3 \times 3 \text{ m}$  olan dağ qazmasında (laylı ştrek istismarı)  $83,33 \text{ m}^3$  filizi çıxarmaq üçün ölçüləri  $3 \times 3 \times 9,26 \text{ m}$  olan bloklar kəsmək lazım gələcək. Bu uzunluqlu ( $9,26 \text{ m}$ ) bloku yalnız bir neçə sikl ərzində qazmaq olar: şpurların qazılması > otpalka > filiz və süxurların yığılması. Gün ərzində bir neçə belə sikllək keçirmək olmur. Onda istismar zaboylarının sayını artırmaq lazım gələcək və müvafiq olaraq blokların ölçüləri kiçildiləcəkdir.

Blokun ölçülərinə ümumilikdə: geoloji səbəblər - dağ şəraiti, zənginləşdirmə texnologiyasının xüsusiyyətləri, mövcud istismar və nəqliyyat avadanlıqları təsir göstərə bilər. Blokların ölçüləri gələcək mədənin layihəsi məsələləri geoloqlar, dağ-mədən işçiləri, texnoloqlar, avadanlıqlar üzrə mütəxəsislər və hətta maliyyə-iqtisadiyyat işçiləri tərəfindən birlikdə həll edilməlidir.

### 2.3. Filiz kütlələrinin blok modelləri

Müxtəlif ixtisasçıların blokların ölçüləri və onların səmtləşdirilməsi barədə diskussiyalarına müvafiq olaraq, yatağın hər bir filiz kütləsi (və ya qeyri-yekcins kütlənin hər bir *geoloji bloku*) üçün blok modeli qurulur. Blok modelinin qurulması *boş blok modelinin* yaradılmasından başlayır. Boş blok modeli filiz kütləsinin hər üç koordinatı üzrə ölçüləri nəzərə alınmaqla qurulur. Model filiz kütləsinin qərbdəki ucundan

şərqdəki ucuna qədər, filiz kütləsinin dərinlikdə pазlaşma nöqtəsindən onun uc səthindəki üst hissəsinə qədər və filiz cisminin ən ucqar şimal sərhədindən onun cənub sərhədinə qədər dartılır. Bir sözlə, düzbucaqlı paralelepipedin sərhədlərini elə vermək lazımdır ki, filiz kütləsi onun içərisinə tam yerləşmiş olsun. Hər üç istiqamətdə çoxlu sayda bloklar yerləşəcəyindən, odur ki, bu *makroblokun* ölçüləri müvafiq istiqamətdə filiz kütləsinin ölçülərinə nisbətən həmişə bir qədər artıq götürülür.

Sonra düzbucaqlı paralelepiped bloklara bölünür. Adətən belə blokların sayı yüzminlərlə olur, iri yataqlarda isə bəzən səhəbət milyonlarla bloklardan gedir. Xoşbəxtlikdən heç də bu blokların hamısı lazım olmur. Ancaq o blokların saxlanması vacibdir ki, onlar filiz kütləsini kəsirlər, sadəcə desək, yalnız o bloklar saxlanılır ki, onlarda filiz var. «Filizli» blokların seçilməsi, yataqların üçölçülü modelləşdirmənin bütün proqramlarında iştirak edən xüsusi prosedurlarla keçirilir. Bu prosedurlar filiz kütləsinin *karkas modelinin* boş blok modeli ilə qarşılıqlı kəsişmələrini axtarırlar.

Bir qayda olaraq, boş blok modelində filiz bloklarının sayı (yatağın geoloji strukturundan asılı olaraq) 10, bəzən hətta yüz dəfələrlə ümumi blokların sayından az olur. Buna baxmayaraq blok modelində on, yüz minlərlə filiz blokları olur. Bütün bu bloklar üzrə külli miqdarda informasiyanı saxlamaq lazım gəlir. Bu informasiyalar irəlində səciyyələndiriləcək. Burada isə qeyd edək ki, blok modelləri iki tipdə ola bilər: *faktorlu və subbloklu*.

*Faktorlu blok modeli* onunla fərqlənir ki, bu modeldəki bütün bloklar eyni ölçülərə malik olurlar. Lakin hər bir blok öz faktoru (əmsalı, vurğusu, payı) ilə səciyyələnir. Bu kəmiyyət blok həcmnin nə qədər hissəsinin filiz kütləsi ilə tutulduğunu göstərir. Əgər blok bütünlüklə filizdən ibarətdirsə, onda faktor vahidə bərabər olacaq ( $f=1,0$ ). Əgər blokda filiz tamamilə yoxdursa, onda faktor sıfıra bərabər olacaq ( $f=0,0$ ). Belə boş bloklar, qeyd edildiyi kimi, modeldən xaric edilir. Aşağı faktorlu bloklar filiz kütləsinin kənar sərhədlərində yerləşirlər. Vahidə yaxın qiymətə malik bloklar filiz kütləsinin mərkəzi hissələri üçün səciyyəvidir.

*Subbloklu model* onunla fərqlənir ki, onun blokları müxtəlif ölçülərdə ola bilər. Geoloq qabaqcadan ilkin blokun ölçülərinə görə özünün hər bir tərəfi üzrə hansı hissələrə diskretləşə (parçalanma) biləcəyi məsələsini həll etməlidir. Prinsipcə ana bloku is-



tənilən sayda subbloklara bölmək olar. Lakin bloku subbloklara bölərkən sağlam düşüncədən çıxış etmək lazımdır. Subblokların olduqca xırda ölçüləri mənasızdır. Bizim nümunədə söhbət ölçüləri  $5 \times 4 \times 4,17$  m olan bloklardan gedir. Əgər blokun hər bir tərəfi 10 hissəyə diskretləşdirilərsə, onda subblokların son ölçüləri  $0,5 \times 0,4 \times 0,4$  m olacaq. İnanılası deyil ki, kimsə ayrılıqda ölçüsü  $50 \times 40$  sm olan kubik mikrobloku istismar etsin. Mikrobloklara parçalamada bir sıra məhdudiyətlər kondisiyalar tərəfindən qoyulur. Məsələn, çox vaxt kondisiyalarda göstərilir ki, filiz kütləsi, tutaq ki, qalınlığı 1,2 m-dən yuxarı olduqda istismar oluna bilər. Odur ki, bloku qalınlığı istiqamətində subbloklara bölərkən, bu ölçüdən aşağı məsləhət deyil.

*Subblok* – elementar blok olub, verilmiş ana blok hüdudlarında sistem tərəfindən o vaxt yaradılır ki, karkas modelin səthi ana blokdan keçir. Digər sözlə, ana blok karkas modelə kəşşəkən blok kiçik ölçülü bloklara (subbloklara) bölünür. Subblokların və ya faktor modelinin istifadəsi ilə əlaqədar adətən belə sual yaranır. Hansı modelləri istifadə etmək daha yaxşıdır – faktorla, yoxsa subbloklarla?

Əgər layihədə qarşılıqlı kəşşmələri olmayan sadə karkas modellər istifadə olunursa, onda faktor modellərin yaradılması daha yaxşıdır. Əgər layihədə bir neçə qarşılıqlı kəşşən karkas modellər varsa, onda subbloklardan istifadə etmək daha sərfəlidir, belə ki, bu halda faktorlarla qarışıqlıq əmələ gəlmir və karkas modellərin kəşşdikləri yerlərdə blok faktorlarının hesablanması üçün düsturların yaradılması lazım deyil.

Subbloklı modellər filiz kütləsinin formasını daha dəqiq vermək imkanına malikdir. Xüsusən də filiz kütləsinin qalınlığı dəyişkən olduqda və filiz kütlələrinin qalınlıqlarının blokun ilkin ölçülərindən xeyli kiçik olduqda. Bundan başqa, subbloklı modellər filiz kütlələrinin kənarlarını daha dəqiq əks etdirirlər. Bu səbəbdən və bir sıra digər səbəblərdən bir çox geoloqlar subblok modelinə üstünlük verirlər. Bizim nümunədə ana blokun ölçüləri  $5 \times 4 \times 4,17$  m.-dir. Əgər proqrama blokun hər tərəfini 3 subbloka bölməyə icazə versək, onda ana blok ölçüləri  $1,67 \times 1,33 \times 1,39$  m olan 27 subbloka bölünmüş olacaqdır.

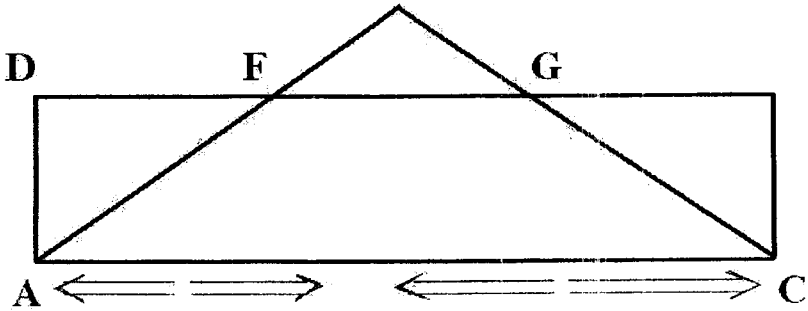
## 2.4. Ənənəvi ehtiyat hesablama üsullarının mikrobloklarda yararsızlığı

Keçmiş sovet, o cümlədən də azərbaycan geoloqları bir əsrlik təcrübələri əsasında belə qərara gəliblər ki, faydalı qazıntı yataqlarının ehtiyatlarının hesablanması ənənəvi üsulları – geoloji bloklar üsulu, kəsilişlər üsulu və s. qənaətbəxş nəticələr verir. Bütövlükdə bütün yataq üzrə (ya da onun ən böyük filiz kütləsi üzrə) müxtəlif növ faydalı qazıntılara görə ehtiyatın hesablanması xətası  $\pm 10\%$ -dir. Lakin indi yataqların müasir texnologiyalar üzrə istismarı zamanı ehtiyatın hesablanması dəqiqliyi təkcə bütün yataq üzrə deyil, həm də filiz kütləsinin kiçik bloklarında tələb olunur. Belə vəziyyətdə ənənəvi üsullar yararsız hesab olunur.

*İki misal nəzərdən keçirək.*

Misal 1. Şəkil 19-da bərabərtərəfli üçbucaq şəkilində olan sadə formalı filiz kütləsi təsvir olunub. Hesab edək ki, filiz kütləsi onlarca quyularla «qazılıb». Sonuncular şəklın mənasını itirmək məqsədilə göstərilməmişdir. Biz filiz kütləsi kəsiminin sahəsini qiymətləndirməliyik. Onun orta qalınlığını hesablayıb, cizgiddə əks etdiririk. Həndəsədən ümumi anlayışı olan hər bir kəsə məlumdur ki, orta qalınlıqlı düzbucaqlının sahəsi bərabər-böyükdür üçbucağa. Bu birmənalı şəkildə deyir ki, *orta qalınlıq filiz kütləsi kəsiminin sahəsini dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir.* Elə burada qeyd etmək lazımdır ki, orta qalınlıq bütün filiz kütləsi kəsiminin bütövlükdə dəqiq qiymətini almağa imkan verir. İşdir birdən bizə kəsilişin hansısa müəyyən hissəsində filiz kütləsinin orta qalınlığının qiymətini almaq istəsək? Onda bu məqsədlə orta qalınlıq yararımı? Heç vaxt.

Şəkil 19-a baxaq. Burada cəmi iki yer (iki nöqtə) var ki, onlarda orta qalınlıq dəqiq qiymətdir. Qalan bütün digər yerlərdə bu qiymət həqiqətə uyğun gəlmir. O bütün yerlərdə səhv verir. Həm də səhv bu iki yerlərdən müxtəlif istiqamətlərə artır. *Ənənəvi variasiya statistikasına* görə tədqiq edilən dəyişən kəmiyyətin əsas paylanma xarakteristikaları – *orta və dispersiya*, bütün öyrənilən məkanda sabit qəbul olunur. Lakin bu belə deyildir! Həm də öyrənilən dəyişən kəmiyyət məkanda nə qədər qanunauyğun dəyişirsə, qiymətlərin yararsızlığı bir o qədər çox nəzərə çarpacaq.



Şək. 19. Üçbucaq formalı filiz kütləsinin kəsilişi. Yüksəkliyi  $m$  orta qalınlığa malik düzbucaqlıya mübadil üçbucaq

Misal 2. Skarn polimetal yatağında üç qazma quyusunun hər birindən 1 metrlik 10 kerna sınağı götürülmüşdür. Bu sınaqlar qurğuşuna analiz edilmişdir. Alınmış nəticələr cədv. 5-də əks etdirilmişdir.

Cədvəl 5  
Qurğuşunun üç quyuda %-lə miqdarı

Quyuy №-si	Sınaqların sıra nömrəsi									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
2	2,0	1,0	4,0	7,0	3,0	6,0	9,0	5,0	10,0	8,0
3	1,0	4,0	8,0	1,0	9,0	3,0	5,0	10,0	3,0	6,0

Əyanilik məqsədilə bu məlumatlar üç şəkildə (şək. 20) göstərilib.

Şək 20-də  $Pb$ -nin miqdarı mütləq qanunauyğun olaraq birinci sınaqdan 10-cu sınağa qədər 1-dən 10%-ədək artır.

Şək 20 b-də qurğuşunun miqdarında birinci sınaqdan 10-cu sınağa doğru artmağa doğru tendensiya müşahidə edilir, lakin bu tendensiya trend şəklində (drift) təzahür edir. Şək. 20 b-də  $Pb$  miqdarı kifayət qədər təsadüfi şəkildə dəyişir.

Əgər biz bu halların hər biri üçün  $Pb$ -n miqdarının əsas statistik xarakteristikalarını hesablasaq:

- orta riyazi  $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i$  ;

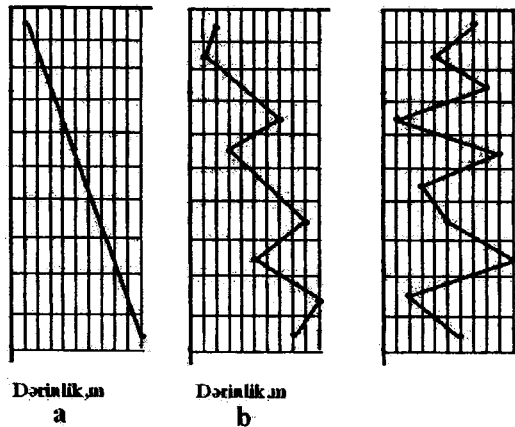
- standart meyl  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}$  ;

- variasiya əmsalı  $V = \frac{\sigma}{x} \cdot 100\%$

görərik ki, hər üç halda onlar mütləq olaraq eynidirlər:  
 $\bar{x} = 5,5$ ;  $\sigma = 3,35$ ;  $V = 61\%$ .

Bu birmənalı olaraq əsas kəşfiyyat parametrlərinin dəyişkənliyini səciyyələndirmək üçün orta, standart meyl və variasiya əmsalının yarasızlığını göstərir.

Deməli, geoloji kəşfiyyat parametrlərinin məkanca dəyişmələrinin qeydiyyatının hansısa bir başqa üsulunu axtarmaq lazımdır.



Şək. 20. Üç şaquli buruq qazmalarına görə qurğuşunun miqdarının dəyişmə qrafiki

### III. VARIQRAMMALAR

Filiz kütləsi sahəsinin qiymətləndirilməsinin variasiya statistikasını istifadə edərək biz əmin olduq ki, orta qalınlıq bütövlükdə bütün filiz kütləsinin sahəsinə kifayət qədər dəqiq hesablamağa imkan verir. Əgər bizə filiz kütləsinin kiçik hissələrində sahəni qiymətləndirmək lazım gələrsə, onda orta qalınlıq bu məqsədlə aydın yaramır. Filiz kütləsinin kiçik hissələrində sahənin hesablanması xətanın qiymətləndirilməsi üçün dispersiya da az yararlıdır. Variasiya əmsali da dəyişkənlik göstəricisi kimi əlverişli deyil, belə ki, o, kəmiyyətin qanunauyğun dəyişkənliyinə reaksiya vermir.

Variasiya statistikasını nöqtəyi nəzərdən dəyişkənliyin təsvirinə yanaşdıqda bütün ölçmələr orta kəmiyyətlə müqayisə edilir. Orta kəmiyyətdən meyllər cəmlənir və orta meyl hesablanır. Biz əmin olduq ki, bu üsul filiz kütləsinin kiçik bloklarında ehtiyatın qiymətləndirilməsinə yaramır.

Əgər biz dəyişkənlik göstəricisi kimi ölçülmüş parametrin qiymətini onun orta qiyməti ilə deyil, qonşu nöqtələrdə ölçülmüş parametrin qiyməti ilə müqayisə etsək nə olar?

#### 3.1. Filiz kütləsinin qalınlıq variqramı

Qalınlıq filiz kütləsinin ən davamlı və tədricən dəyişən parametrlərindən biridir. Dağ qazmasında biz qızıl damarının hansısa yerində qalınlığını ölçə bilərik. Biz bir 10 sm yana keçib yenedən damarın qalınlığını ölçsək, çox güman ki, qalınlığın bundan qabaqki ölçüsünə yaxın bir ölçü almış olarıq. Bir-birindən uzaqda yerləşmiş nöqtələr arasında damarın qalınlıq qiyməti xeyli fərqlənəcək. İki qonşu  $i$  və  $i+1$  nöqtələri arasındakı qalınlıq fərqi delta yunan hərfi ilə işarə edək;  $\Delta_{i,i+1} = m_i - m_{i+1}$ . Qalınlıq fərqi müsbət və ya mənfi ola bilər. Bu müxtəlif nöqtələr cütünü arasındakı fərqlərin qiymətlərini müqayisə etmək üçün münasib deyil. Odur ki, ya  $\Delta_{i,i+1} = |m_i - m_{i+1}|$  fərqlərinin mütləq qiymətini götürmək, ya da onu kvadrata yüksəltmək  $\Delta^2_{i,i+1} = (m_i - m_{i+1})^2$  lazım gələcək. Riyaziyyatçılar ikinci yolu seçiblər.

Əgər filiz kütləsinin müxtəlif yerlərində yerləşmiş nöqtələr arasında bərabər məsafədə qalınlığın qiymətlərindəki fərqi ölçmüş olsaq, aydın olar ki, bu fərq bir yerdən digərinə əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə bilər. Deməli biz hansısa bir ortalaşmış kəmiyyətdən istifadə etməliyik:

$$\gamma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta^2_{i,i+1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (m_i - m_{i+1})^2$$

Burada  $n$ - ölçmə nöqtələrinin sayıdır. Diqqət yetirin, qalınlıqlar arasındakı  $n-1$  fərqi ölçmə nöqtələrinin sayından bir vahid az kəmiyyətlə toplanır. Ümumi görünüşünə görə bu düstur dispersiyanın hesablanma düsturuna yaxındır. Yalnız dispersiya hesablanarkən qonşu nöqtənin qalınlıq qiyməti deyil, orta qalınlığın qiyməti çıxılır. Riyaziyyatda  $\Delta_{i,i+1}$  birinci ardıcıl fərqlər adlanır.

Əgər müqayisə olunan nöqtələr arasındakı məsafəni artırmış olsaq, onda qalınlıqlar arasındakı fərq də çox güman ki, böyük olacaq. *Bu – acar anıdır.*

Elə bu istiqamətdə də biz hərəkət edərək öyrənəcəyik ki, ölçmə nöqtələri arasında məsafə artıqca fərq necə dəyişəcək.

Hesab edək ki, 21-ci şəkildə filiz kütləsinin üfiqi müstəvi üzərində kəsilişi təsvir edilib. Bərabər məsafədə yerləşmiş buruq quyuları seriyasında filiz kütləsinin qalınlığı ölçülüb. Bir-birindən  $d$  məsafədə yerləşmiş yaxın quyular arasındakı birinci fərqi hesablayaq:

$$\gamma_d = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta^2 d_{(i,i+1)};$$

$$\gamma_{2d} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-2} \Delta^2_{2d(i,i+2)};$$

Eyni əməliyyatı məsafənin üç misli  $3d$  üçün edək:

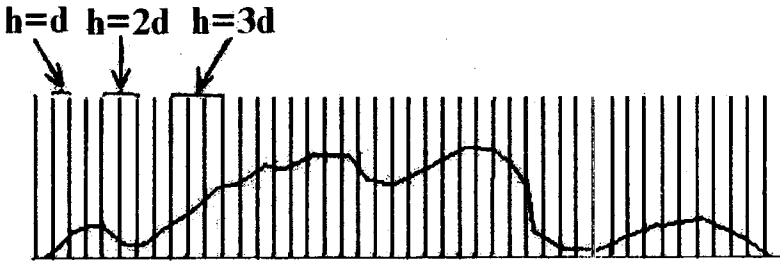
$$\gamma_{3d} = \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^{n-3} \Delta^2_{3d(i,i+3)}$$

Analoji əməliyyat  $4d$ ,  $5d$  və s. artan məsafələr üçün də edilir. Qəbul edək ki:

$$h = \{d, 2d, 3d, \dots, kd\}, N = \{(n-1), (n-2), (n-3), \dots, (n-k)\}$$

Onda  $h$  dəyişkən məsafəsi üçün ümumiləşdirilmiş düsturu belə yazmaq olar:

$$\gamma_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta^2_{h(i,i-k)}$$



Şək.21. Dövrələnmiş filiz kütləsinin 51 kəşfiyyat quyuları nəticələrinə görə kəsilişi

İndi də bu funksiyanın qrafikini qurmağa cəhd edək. Ordinat oxu üzrə  $h$ , absis oxu üzrə isə  $\gamma$  kəmiyyətini yerləşdirək.  $h$  oxunu  $d$  addımlarına bölək. Ardıcıl olaraq  $d$ ,  $2d$ ,  $3d$ ,  $\dots$ ,  $kd$  məsafələri üçün  $g$  qiymətlərini qrafikə salaq. Bizdə, təxminən şək. 22-də göstərilən kimi qrafik alınacaq. Sınıq əyri kifayət qədər sərt şəkildə yuxarı qalxacaq, sonra isə düzələrək ordinat oxuna sub-paralel yerləşib, müəyyən sabit səviyyəyə çıxacaq. Maraqlıdır, bu nə səviyyədədir?



Şək. 22. Bundan qabaqkı şəkil məlumatları əsasında qurulmuş varioqramma

Əgər qalınlığın bütün  $n$  ölçmə nöqtələri üzrə adi dispersiyanı hesablasaq:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2 \quad \text{və onun qiymətlərini qrafik üzünə sal-}$$

saq, məlum olar ki, o qrafikin qalxdığı sabit səviyyəyə cavab verən  $g$  qiymətinin yarısına bərabər olacaq.

Çəkdiyimiz qrafik J.Matteron tərəfindən *varioqramma* adlandırılmışdır. O sübut etdi ki, varioqrammanı əlamətin ümumi dispersiyası ilə müqayisə etmək rahatdır. Odur ki, o yuxarıda qeyd edilmiş tənliklərin hamısının sürətinə iki qoymuşdur və o bu qrafiki yarımvarioqramma adlandırmışdır. İndi çox vaxt «yarım» ön şəkilçisini atıb yarımvarioqrammanı sadəcə olaraq *varioqramma* adlandırırlar.

Baxılmış nümunə biri-birindən bərabər məsafədə yerləşmiş nöqtələrdə kütləvi ölçmələr aparılmasının azreal halına aiddir. Bəs məsafələr müxtəlif olduqda nə etməli? Bu hallarda elə etmək lazımdır ki, nöqtə müəyyən intervala düşsün. Adətən öyrənilən  $d$  məsafələrindən ən kiçiyinin yarısına bərabər olan *gonyck* (tole-



rance) götürülür. Aralarındakı məsafə  $h \pm d/2$  intervalına düşən bütün nöqtələrə şərti olaraq dəqiq  $h$  məsafəsi yazılacaqdır.

### 3.2. Miqdarın varioqramması

Tədqiqat üçün adətən ən dəyişkən kəşfiyyat parametri seçilir. Filiz yataqlarında belə parametərə faydalı komponentin (ya da zərərli) miqdarıdır. J.Matteron və onun tələbələri filizlərin tədqiq edilən bu parametrini (hazırkı halda metalın miqdarı)  $Z$  hərfi işarə etməyi təklif edirlər. İlk əvvəl izotrop yataq halını götürək. Belə yataqda metalın miqdarının dəyişkənliyi bütün istiqamətlərdə eynidir. Bu vəziyyəti olduqca sadələşdirir, belə ki, bir koordinatla kifayətlənmək olar, daha doğrusu nöqtələr arası məsafə ilə.

Bizim məkanca dəyişən kəmiyyətimizi – yəni metalın miqdarını –  $x$  nöqtəsində  $Z(x)$ -lə işarələndirək.  $x$  nöqtəsindən  $h$  məsafəsində yerləşmiş  $x+h$  nöqtəsində metalın miqdarını  $Z(x+h)$  ilə işarələndirək. Bizi, qalınlıq halında olduğu kimi, bu iki nöqtələrdə  $[Z(x) - Z(x+h)]^2$  metalın miqdarındakı fərq maraqlandıracaq. Təbii ki, iki qonşu nöqtədə fərq qiyməti müxtəlif nöqtə cütlükləri üçün fərqli olacaq. Bir-birindən  $h$  məsafədə duran iki nöqtədə fərqlin qiyməti haqqında mükəmməl təsəvvür əldə etmək üçün bütün  $N$  müqayisə olunan cütlüklərin orta riyazi fərqi hesablanmalıdır:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2$$

Burada:  $N(h)$  nöqtələr arasında  $h$  məsafəli cütlüklərin sayını işarə edir.

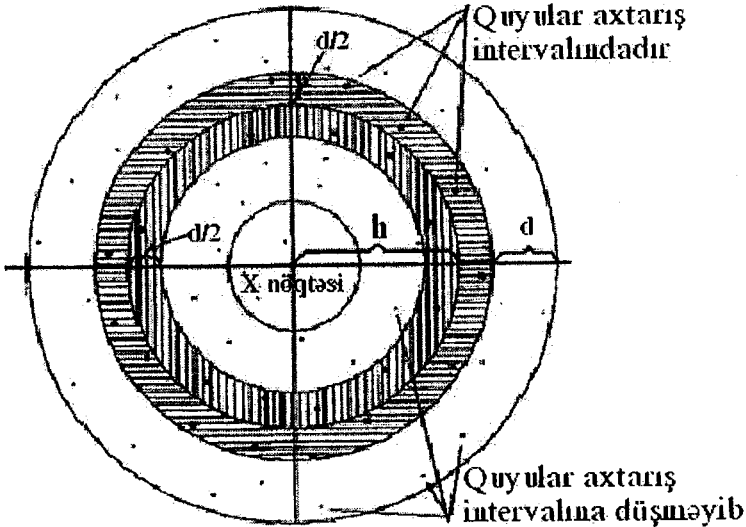
Əgər biz  $h$  məsafəsini seçilmiş addım qiymətində tədricən artırısaq və düsturla növbəti orta qiyməti hesablayıb, onu grafikdə yerləşdirsək biz, metalın miqdarının dəyişkənliyinin nöqtələrarası məsafənin artması ilə əlaqədar necə dəyişəcəyini əks etdirən varioqramı alacağıq.

Şək.23-də izotrop verilmiş  $h$  məsafəsində  $x$  mərkəzi nöqtəsinə cütlüklərin axtarışının necə aparılması göstərilib.  $h$  radiu-

sundan hər iki istiqamətə  $h - d/2$  və  $h + d/2$  radiusları nişanlanır, burada  $d$  – varioqrammanın qurulma addımıdır. Ştrixlənmiş dairəvi intervala düşən bütün nöqtələr, mərkəzi  $x$  nöqtəsindən təxminən  $h$  məsafəsində yerləşmiş hesab olunurlar.

Yataqda metalın öyrənilən miqdarının dəyişkənlik anizotropiyası halında, hər şey nəzərə çarpacaq dərəcədə mürəkkəbləşir. Varioqramma tənliyində  $h$  məsafəsi  $\bar{h}$  vektorial kəmiyyətə çevrilir:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2N(\bar{h})} \sum_{i=1}^{N(\bar{h})} [Z(x) - Z(x + \bar{h})]^2$$

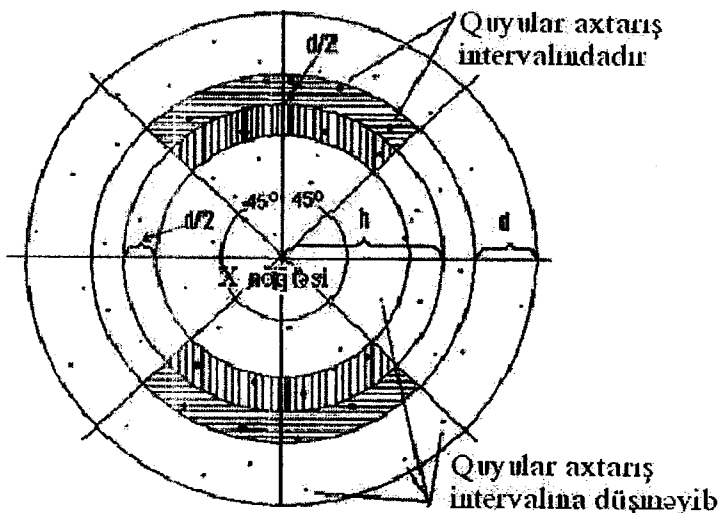


Şək. 23. Dəyişkənliyə görə izotrop olan yataqda varioqramma qurulmasının axtarış dairəsi sxemi

Bu halda nöqtəni müxtəlif istiqamətlərdə ilkin nöqtəyə müxtəlif məsafələrdə cüt olan nöqtəni axtarmaq lazım gələcəkdir. Bu o qədər mürəkkəbdir ki, geostatistik olaraq bütün qüvvə ona yönəldilir ki, koordinatların müxtəlif növ çevrilmələri nəticəsində yenidən izotrop varianta qayıdılınsın. Lakin anizotropiyanın yataqda olub-olmamasını bilmək yalnız metalın miqdarının müxtəlif istiqamətlərdə dəyişilməsi varioqramını hesabladıqdan sonra mümkündür.

Axtarışın seçilmiş istiqamətinə müvafiq düz xətt keçirək. Müəyyənlik üçün bu şimal istiqaməti olsun. Çətin ki, bir nöqtə bilavasitə bu düz xətt üzərinə düşmüş olsun. Burada biz yenidən gəzəndən istifadə edək, lakin bu dəfə bucaq üzrə. Hesab edəcəyik ki, bu istiqamətdə  $h$  məsafəsinin bərabərliyinə tələbə bütün nöqtələr cavab verir və bu nöqtələr üçün  $h - d/2 \leq r \leq h + d/2$  şərti ödənilir. Burada  $r$  – mərkəzi və növbəti yoxlanılan nöqtə arasındakı məsafədir. Bundan başqa nöqtəyə olan istiqamət  $North-45^\circ$  və  $North+45^\circ$  və yaxud  $\{315^\circ-45^\circ\}$  şərtinə cavab verməlidir (şək. 24). Bucaq üzrə buraxılış qiyməti  $\pm 45^\circ$  məsələ üçün şərti qəbul olunub. Ümumiyyətlə, buraxılışın qiyməti seçilərkən – nöqtə nə qədər çoxdursa, bucaq bir o qədər kiçik götürülür - qaydasına əməl olunur. Və əksinə – nöqtələr nə qədər azdır, bir o qədər bucaq böyükdür. Bucaq üzrə buraxılış  $+90^\circ$  halında axtarışda bütün nöqtələr iştirak edir. Ona diqqət yetirin ki, (şək. 24), nöqtə axtarışında təkcə şimal sektoru deyil, həm də cənub sektoru iştirak edir, yəni şimal və cənub istiqamətləri eyni hüquqludurlar.

Varioqrammanı hesablarıkən  $x$  mərkəzi nöqtəsinin yerini ardıcıl olaraq bütün nöqtələr tutduğundan, hər bir cütlük özündən asılı olmayaraq iki dəfə hesablanır. Əgər müqayisə edilən nöqtələr  $i$  və  $j$  hərfləri ilə indeksləşdirilirsə, onda biz əvvəlcə  $(z_i - z_j)^2$ , sonra isə  $(z_j - z_i)^2$  cütlüklərini alır. Odur ki, varioqramma tənliyinin məxrəcində 2 alınır.



Şək. 24. Müəyyən istiqamət üzrə (cənub-şimal və ya şimal-cənub istiqamətləri üzrə) varioqramma quruluşunda axtarış sektorunun sxemi

### 3.3. Varioqramma tipləri

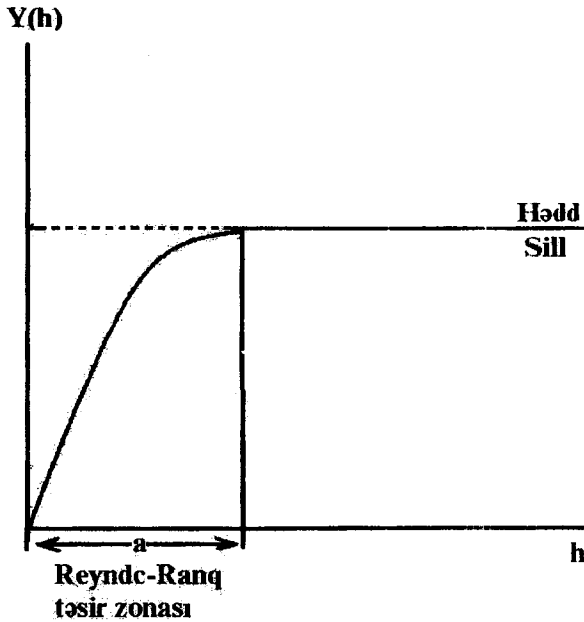
Varioqramma - tədqiq edilən məkanca dəyişən kəmiyyətin dəyişkənliyini dispersiya şəkilində əks etdirən qrafik olub, məsafə böyüdükcə dəyişir. Şək. 25-də varioqramın ümumi görünüşü təqdim edilib. Şaquli ox boyu  $\gamma(h)$  ilə işarələnmiş varioqramın qiyməti yerləşdirilir. Üfqi ox boyu  $h$  məsafəsi yerləşdirilir. Varioqramın əsas parametrləri *hədd və təsir zonasıdır*.

Hədd ədədi olaraq  $Z$  dəyişkən kəmiyyətinin ümumi dispersiyasına bərabərdir:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2$$

burada  $n$  - müşahidələrin (sınaqların) sayı;  $Z_i$  -  $i$  müşahidəsində dəyişən kəmiyyətin qiyməti;  $\bar{Z}$  -  $n$  saylı müşahidələrə görə dəyi-

şən kəmiyyətin orta qiyməti. Həddin ingilis dilinə tərcüməsi «*sill*» -dir. Bəzi tərcümə işlərində hədd birbaşa *sill* adlanır. Yada salmaq lazımdır ki, geologiyada laylı trapp intruzivləri *sill* adlanırlar (intruzivlərin morfoloji tipi). Bu və ya digər üsulla *həddə çıxan varioqramlar hədd varioqramları*, bunun əksinə, *qrafiki həddi kəsib və yuxarı gedən varioqramlar hədsiz varioqramlar* adlanır.

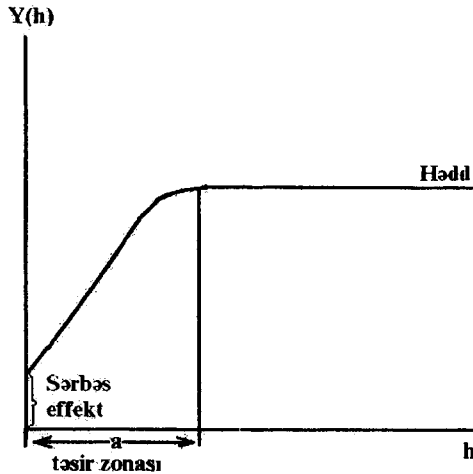


Şək. 25. Tipik hədd varioqramu

Təsir zonası (təsir vilayəti) – bu varioqramın hüduda çatdığı məsafədir. Başa düşülür ki, bu məsafədə bir-birindən bu məsafə qədər aralanmış ölçülmə nöqtələrində dəyişən kəmiyyətin (məs., filizdə elementin miqdarı) qiymətlərinin qarşılıqlı təsiri hiss olunmur. İngilis dilli geostatistika ədəbiyyatlarında təsir zonası *range* adlanır. Rus ədəbiyyatında indi təsir zonası çox vaxt *reyndj* termini ilə əvəz olunur.

### *Külçələrin effekti*

Miqdarın güclü dəyişdiyi yataqlarda müəyyən xüsusiyyət yarana bilər ki, o, J.Matteron tərəfindən *külçələrin effekti* adlandırılmışdır. Bu halda bir-birinin yanından götürülmüş iki sınaq faydalı komponentin miqdarına görə kəskin şəkildə fərqlənə bilərlər. Belə ki, qızıl yataqlarında sınaqlardan birinə külçə düşə bilər, digər sınaq isə olduqca kasıb görünə bilər. Bu variant şək.26-da əks etdirilib. Burada əyri varioqramma koordinat başlanğıcından deyil,  $C_{or}$  şaquli ox üzrə müəyyən məsafədən başlayır.  $C_{or}$ - *külçə effekti* adlanır.

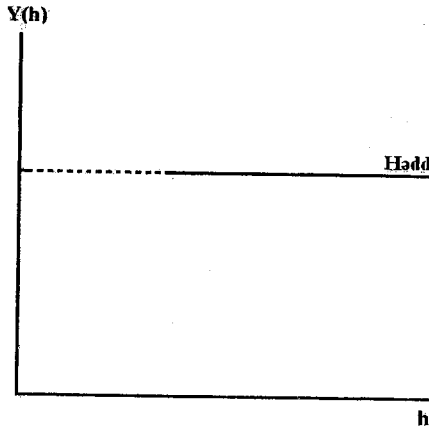


*Şək.26. Külçə effekti hədd varioqramı*

### *Külçələrin təmiz effekti*

Təcrübədə şək.27-də əks olunmuş variantlar rast olunur. Bu tip varioqramlar *külçələrin təmiz effekti* adlanır. Varioqramma bütün öyrənilmiş məsafədə hədd səviyyəsində qalır və koordinat başlanğıcı rayonunda enmə tendensiyası təzahür etdirmir.

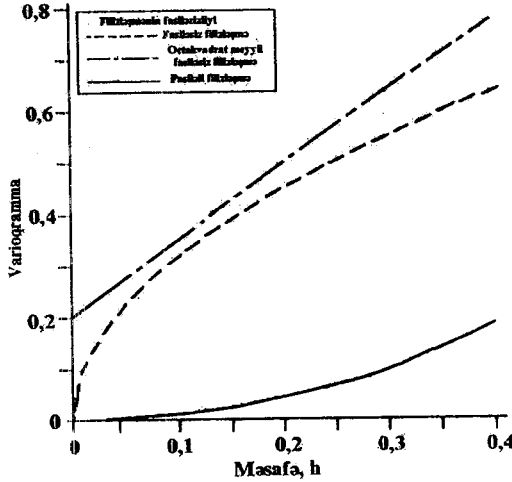
Bu tip varioqram təcürbi olaraq istismar kəşfiyyatı mərhələsində rast olunmur. O ilkin kəşfiyyat və qismən də dəqiq kəşfiyyat mərhələsi üçün səciyyəvidir. Bu qrafik bir mənalı olaraq deyir ki, yataq tam kəşfiyyat olunmayıb və kəşfiyyat şəbəkəsi sıxlaşdırılmalıdır. Əks halda ehtiyatın hesablanması geostatistik üsullarının istifadəsi faydasızdır.



*Şək.27. Külçələrin «təmiz» effektiv hədd varioqramı*

### *Qrafiklərin koordinat başlanğıcı yaxınlığında davranışı*

Varioqramın sıfıra yaxın özünü necə aparmasını bilmək çox vacibdir (şək.28). Qrafikin koordinat başlanğıcı yaxınlığında zəif, necə deyərlər, parabolik qalxması (28-ci şəkildə bütöv xətt) sabit, tədrici dəyişməyə malik dəyişən kəmiyyət üçün səciyyəvidir. Belə qrafiki gördükdə, geoloqun *fasiləsiz filizləşmə* deməyə haqqı var. Əgər əyri tez qalxırsa və sıfırdan çıxırsa, onda *fasiləsiz ortakvadratik filizləşmədən* söhbət gedir (şəkil28-də punktir xətt). 26 və 27-ci şəkillərdə təsvir olunmuş qrafiklərin görünüşü filizləşmənin fasiləli xarakteri haqqında nəticə çıxarmağa imkan verir (ştrix-punktir xətt).



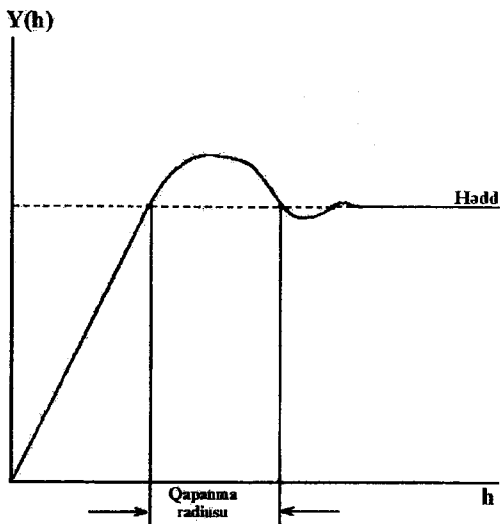
Şək. 28. Varioqramın başlanğıc koordinatı yaxınlığında davranışının üç forması

### Qoşulmaq effekti

Əgər varioqramma əyrisi həddi kəsirsə, onun üzərində müəyyən hündürlüyə qalxırsa və sonra hədd səviyyəsinə enirsə (şək. 29) belə halda deyirlər varioqramda qoşulma effekti yaranıb. Bu effekti ilk dəfə belə J.Matteron adlandırmışdır. Lakin indi qərb ölkələrində bu effekti *dəlik effekti* (*hole effect*) adlandıırmağa üstünlük verirlər. Belə varioqramlar deyirlər ki, tədqiq olunan filiz kütləsində faydalı komponentin miqdarı ilə zəngin və ya əksinə – bu elementin az miqdarı ilə səciyyələnən sahə və sahələr var (onların ölçülərini bilavasitə qrafikdə müəyyənləşdirmək olar). Çox güman ki, elə buradan da dəlik effekti yaranır. Bütün hallarda varioqrama filiz kütləsindəki qeyri yekcinsliyi aşkar edir. Əgər qoşulma filiz kütləsinin üçdən birini və daha artığını təşkil edirsə, bu sahəni yekcins geoloji blok kimi ayırmağa dəyər. Sonra varioqramma yenidən hesablanır. Prinsipcə, yeni varioqramma həddi kəsmədən onun səviyyəsinə çıxmalıdır. Qoşulma effektinin olması ondan xəbər verir ki, geostatistikanın tələblərindən biri pozulub, belə ki, geostatistik tədqiqatlar yalnız yekcins geoloji bloklarda aparılmalıdır (heç olmazsa geoloji mənada).



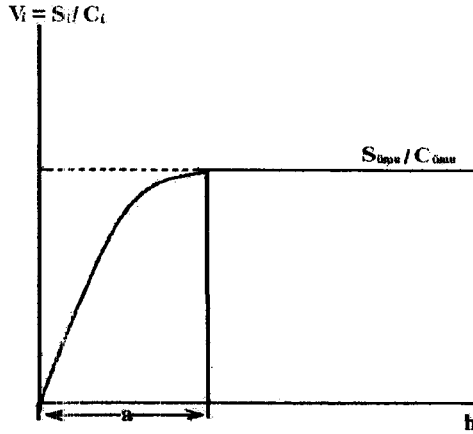
Qoşmaların olması ondan xəbər verir ki, geoloq nəyi isə nəzərə almayıb və yekcins geoloji blokları düzgün ayırmayıb.



Şək. 29. Qoşma effektli varioqramma (dəlik effektli)

### *Kvaziperiodik varioqrammalar*

Elə hallar olur ki, varioqramma bir neçə dəfə həddən ya yuxarı, ya da aşağı olur (şək. 30). Məsafədən asılı olaraq rəqsin amplitudası azalır və varioqramma iki tərəfdən, belə demək olarsa, həddə çıxır. Bəzi geostatistiklər bu hadisəni *dalğa effekti* (wave effect) adlandırırlar, digərləri – onu *dəlik effekti* adlandırmağa üstünlük verirlər, hesab edirlər ki, struktura böyük məsafələrdə sönən özünəməxsus qoşulma effektidir. Dalğa effekti çox vaxt çökmə filizlərdə (dəmir, manqan, vulkanogen-çökmə kolçədan) laylığa perpendikulyar qazılmış quyuların lüləsində alınır. Bu istiqamətdə çökmə filizlərdə təbii şəkildə zəngin və kasıb laylar növbələşirlər. Bu ritmik növbələşmə öz əksini varioqramın dalğalı strukturunda tapır.



Şək. 30. Dalğa effektiv varioqramma (kvaziperiodik varioqram)

### Hüdudsuz varioqrammalar

Hüdudsuz varioqramlarda əyri sakitcə hədd səviyyəsini kəsərək öz qiymətini yuxarıya doğru artırmağa davam edir (şək. 28 və 29). Belə varioqrammalar o hallarda alınır ki, tədqiq olunan dəyişən kəmiyyətin qiymətinin məkanca dəyişməsində güclü şəkildə qanunauy-ğunluq təzahür etmiş olsun. Məsələn, bizim qarşımızda müəyyən istiqamətdə olduqca məili batan kömür layı üzərində üstü açılma həcmnin qiymətləndirilməsi məsələsi durur.

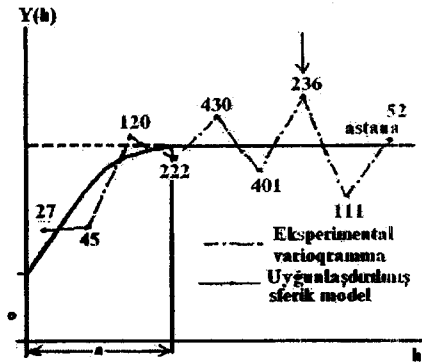
Əgər biz kömür layının tavanının dərinliyi varioqrammasını qursaq, o mütləq hüdudsuz olacaq. Bu əlamətə görə biz birmənalı şəkildə müəyyən edirik ki, mütləq trend və ya drift (qanunauyğun tərkib) hesablanması və bu trendin kənar edilməsinə cəhd edilməlidir. *Trend-analiz* - bu, izahı dərslinin məzmununa daxil olmayan xüsusi statistik proseduradır (coğrafi koordinatlara çoxluq reqressiyası).

### 3.4. Anizotropiya

Bizi maraqlandıran əsas məsələ tədqiq edilən kəşfiyyat parametrlinin yer təkində dəyişkənliyidir. Müəyyənlik üçün faydalı komponentin miqdarının dəyişkənliyi barədə danışaq.

Elə yataqlar var ki, onlarda komponentin miqdarı müxtəlif istiqamətlərdə eyni cür dəyişir. Belə yataqlar *izotropdurlar*. Geostatistikada yalnız izotrop yataqlar üçün ehtiyat hesablanma üsulları işlənmişdir. Bəs yataq anizotrop olduqda nə etməli?

Bu suala cavab verməzdən əvvəl aydınlaşdırmaq lazımdır ki, yataqda anizotropiya varmı və o hansı tipə aiddir? Tutaq ki, biz qalınlıqlarının nisbəti, uzunluğu və eni 1:60:160 olan linzavarı filiz kütləsini öyrənirik. Təcrübədən bilirik ki, filiz kütləsində ən böyük dəyişkənlik onun qalınlığı boyu müşahidə edilir. Əgər biz filiz kütləsinin qalınlığı, eni və uzunluğu istiqamətində varioqramma qursaq, onda şək. 31 təsvirini almış olarıq.



Şək. 31. Həndəsi (affin) anizotropiyalı varioqrammalar

Hər üç varioqramma eyni hədd səviyyəsinə malikdir. Belə ki, ümumi dispersiya ilə ifadə olunmuş ümumi dəyişiklik bütün istiqamətlərdə eynidir. Lakin onların təsir zonaları müxtəlifdir. Ən az təsir zonası  $a_1$  - qalınlıq üzrədir. Filiz kütləsinin eni üzrə təsir zonası  $a_2$  - orta ölçüyə malikdir. Filiz kütləsinin uzununa olan təsir zonası -  $a_3$  ən böyükdür. Deməli, ümumi dəyişkənlik hər üç istiqamət üzrə eynidir. Təkcə dəyişkənlik amplitudası müxtəlifdir. Belə anizotropiya həndəsi və yaxud *affin anizotropiya* adlanır. Bu ona görə affin adlanır ki, koordinatların sadə affin çevrilmələri nəticəsində anizotrop yataq geostatistik prosedurların tətbiq edilməsi mümkün olan izotrop yatağa çevrilir.

Qalınlıq üzrə yüksək dəyişkənliyi iki üsuldən biri ilə aradan götürürlər.

1-ci üsul – əgər bu mümkündürsə, filiz kütləsini qalınlığı üzrə 2-3 sərbəst istismar oluna biləcək kütlələrinə bölürlər. Filiz Altayda polimetal və barit filizlərini ayrı-ayrılıqda çıxarırlar. Ayrılmış filiz kütlələrində dəyişkənlik xeyli azalır.

2-ci üsul (ən çox işlənən) – filiz kütləsi bütün qalınlığı boyu çıxarılır, filiz qarışdırılır və ortalaşdırılmış şəkildə zənginləşdirməyə gedir. Bu halda quyular üzrə filiz kütləsinin uzununa və eninə orta miqdarın dəyişkənliyinə nəzarət edirlər.

Nəticədə məsələ üçölçülükdən ikiölçülüyə keçir. İstisna deyil ki, orta miqdarların dəyişkənliyi müxtəlif istiqamətlərdə təxminən eyni olacaq, yəni müəyyən dərəcə arxayınlıqla filiz kütləsinin İzotrop olduğunu hesab etmək olar. Bu halda 1 və 2 sayılı nöqtələr arasında  $h$  nisbi məsafəsi aşağıdakı tənlik üzrə hesablanır:

$$h = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{a},$$

Burada  $\Delta x = x_1 - x_2$ ;  $\Delta y = y_1 - y_2$ ;  $a$  - təsir zonası (sferik və kvadrat funksiyalar üçün).

Əgər dəyişkənliyin anizotropiyası aydın təzahür edərsə, nöqtələr arasındakı nisbi məsafə aşağıdakı matrisalı tənliklə hesablanacaq:

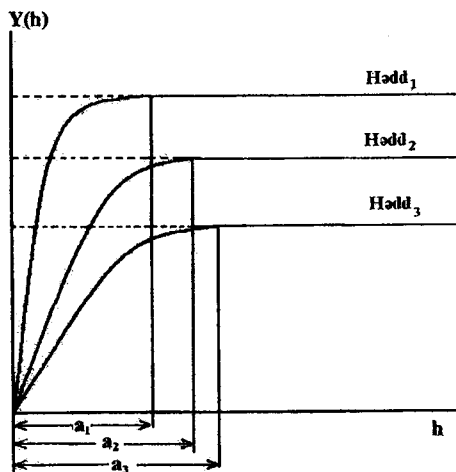
$$h = \sqrt{[\Delta x \ \Delta y] \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (1/a)^2 & 0 \\ 0 & (\rho/a)^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}}$$

Burada  $[\Delta x \ \Delta y]$  - xəritə koordinatlarında bölücü vektor;  $\theta$ -anizotropiya bucağı;  $\rho = a_1 / a_2$ ;  $a_1$  - bir istiqamətdə təsir zonası;  $a_2$  - birinciyə perpendikulyar digər istiqamətdə təsir zonası.

Anizotropiya ellips şəklində təsvir olunur. Ellipsin qısa oxu, tədqiq edilən əlamətin ən çox dəyişkənlik istiqamətinə, uzun ox isə – ən az dəyişkənlik istiqamətinə uyğun gəlir.  $\theta$ -anizotropiya bucağı  $x$  koordinat oxunun müsbət istiqamətində şərqdən saat əqrəbinin əksinə olaraq ellipsin qısa oxu istiqamətinə qədər he-

sablanır, yəni heç də geologiya və coğrafiyada olduğu kimi hesablanmır.

Bu, həndəsi anizotropiya təzahür etdikdə izotrop modelə keçmək üçün koordinatların affin çevrilməsidir. Lakin məsələ ondadır ki, affin anizotropiyasından başqa *zonal və ya stratifikasiya anizotropiyası* da aşkar edilə bilər. Bu halda müxtəlif istiqamətlər üçün qurulmuş varioqrammalar müxtəlif səviyyəli həddlərə çıxırlar (şək. 32). Bu tip anizotropiya ona görə zonal adlanır ki, o, əsas komponentləri miqdarlarının aydın zonallığa malik olduğu yataqlar üçün səciyyəvidir. Məsələn, Norilsk likvasiyon mis-nikel yataqlarında mis və nikelin miqdarı yuxarıdan aşağıya doğru tədricən artır: kasıb möhtəri filizlərdən massivin aşağı hissələrindəki bütöv zəngin filiz qatlarına qədər.



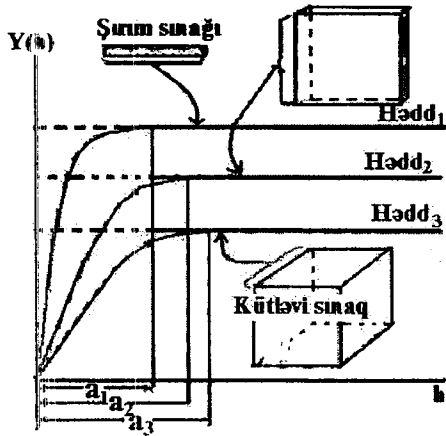
Şək. 32 Zonal anizotropiyalı varioqramma

Bu mürəkkəb hadisədir. Zonal anizotropiya ilə mübarizə daha mürəkkəbdir, nəinki həndəsi anizotropiya ilə. İrəli getmiş oxucu A. Jurnel və Ç. Xuybrextin (1978) fundamental monoqrafiyasından bir sıra üsullarla tanış ola bilər. Burada məsələ onunla mürəkkəbləşir ki, həddin müxtəlif səviyyələrinə çıxan varioqrammaların aşkara çıxması ola bilsin ki, zonal anizotropiya ilə deyil, digər iki hadisə ilə əlaqədardır.

## Müxtəlif həcmli sınaqlar üzrə qurulmuş varioqrammalar

Yaddan çıxarmaq olmaz ki, hər bir yataqdan müxtəlif həcmli sınaqlar, məsələn yeraltı qazmalardan şırım, sıyırma, həcmi sınaqlar götürülür. Onlar müxtəlif həndəsi formaya malik olurlar: xətti (şırım); müstəvili (sıyırma); həcmi. Bundan başqa, bu sınaqlar bir-birindən bir tərtib (kiloqram, sentner və ton) fərqlənən müxtəlif çəkilərə malikdirlər.

Hər bir tip üzrə varioqrammalar qurulmuş olsaq, onlar bir-birindən kəskin fərqlənən həddlərə çıxarlar (şək. 33). Aydın ki, çoxtonlu kütləvi sınaqlar daha az dispersiyaya malik olacaqlar, nəinki kiloqramlıq şırım sınaqları.



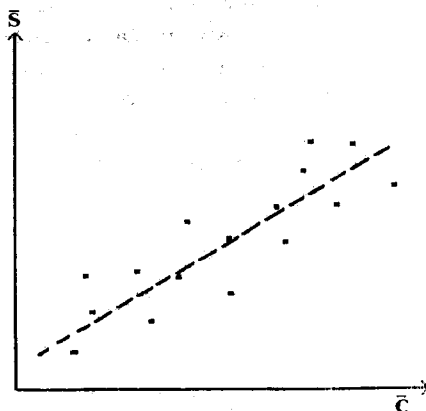
Şəkil 33. Müxtəlif tip sınaqlar üzrə qurulmuş varioqrammalar

Bilavasitə buna görə geostatistikada ən mühüm tələblərdən biri mövcuddur – varioqrammaları yalnız *eyni tipli sınaqlara*, digər sözlə, özülə görə qurmaq olar. Şırım sınağı  $10-30\text{sm}^2$  en kəsiyinə malikdir. Sıyırma sınaqlarda özül çox vaxt  $100000\text{sm}^2$  –ə çatır. Həcmi kütləvi sınaqlar çox vaxt dağ qazmasının tam en kəsiyi qədər ( $100000\text{sm}^2$ ) özülə malik olur.

### *Proporsionallıq effekti*

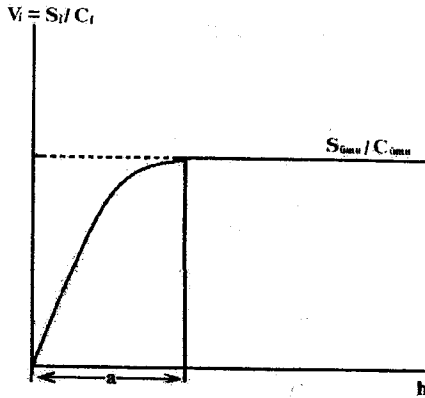
Varioqramın müxtəlif səviyyələrə çıxmasını daha bir fenomenlə – *proporsionallıq effekti* ilə izah etmək olar. Demə, elə ya-taqlar var ki, onlarda faydalı komponentin miqdar dispersiya ilə əlaqədardır. Şək. 34-də nöqtə qrafikində belə bir asılılıq göstərilib. Nümunə üçün şəkildə *birbaşa asılılıq* göstərilib, lakin bir neçə dəfə də miqdarın artması ilə dispersiya azaldıqda *əks proporsionallıq* effekti təsvir edilib.

Proporsionallıq effektini aşağıdakı kimi aşkar edirlər. Tədqiq edilən sınaq toplusu intervallara bölünür. Məsələn, seçim Cu miqdarından asılı olaraq 0-dan 0,5%-ə qədər, 0,5%-dən 1%-ə qədər, 1-dən 1,5%-ə qədər və s. qruplara bölünür. Hər bir interval üçün misin orta miqdarı və dispersiya hesablanır. Müvafiq nöqtə qrafikə salınır (şək. 34). Nöqtələr dumanlığı asılılığın olub-olmamasını deməlidir. Bizim nümunəmizdə o açıq-aydın görünür.



*Şək. 34. Dispersiyanın orta miqdarlardan asılılığı*

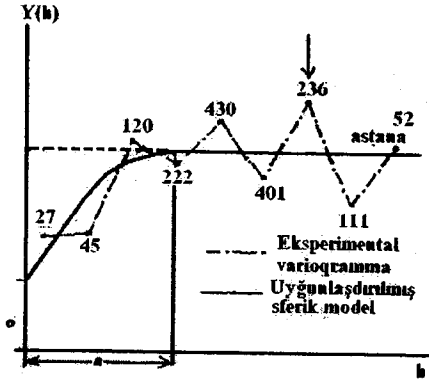
Bu halda, adi varioqramma əvəzinə dispersiyası şaquli ox üzrə göstərilmiş *nisbi varioqramma* qurulur. Burada dispersiya əvəzinə özünəməxsus variasiya əmsalı – metalın verilmiş intervalda dispersiyasının orta miqdara nisbəti salınır (şək.35). Ədəbiyyatlarda nisbi varioqramların qurulmasının uğurla bitməsi barədə misallar göstərilir. Müxtəlif istiqamətlər üçün olan belə nisbi görkəmli varioqramlar həddin eyni səviyyəsinə çıxırlar.



Şək. 35. Proporsional varioqramma

### 3.5. Varioqrammaların model funksiyaları

Yuxarıda qeyd edilmiş üsulla qurulmuş varioqramma *eksperimental* adlanır. Onun üçün qrafikin güclü sınıması səciyyəvidir (şək. 36). Bu sınıq əyrinin hansısa hamar, müntəzəm dəyişən xətlə əvəz edilməsi sərfəlidir. Geostatistiklər təcrübi yolla müəyyən ediblər ki, eksperimental varioqrammalar neçə sinif funksiyalarla uyğunlaşdırılmışlar. Onlar varioqrammaların model funksiyaları və ya da varioqrammaların modelləri adlanır. Modellər *hədlili* və *hədsiz* olurlar.



Şək. 36. Eksperimental varioqrammanın model funksiyası ilə hamarlanması



### Hədd modelləri

Varioqrammanın həddi tədqiq edilən parametrin bütün filiz kütləsi və ya onun böyük hissəsi (geoloji blok) üzrə dispersiyasına bərabərdir. O, müxtəlif cürə işarə edilə bilər: ya  $\sigma_{\text{ümumi}}^2$ , ya  $\sigma_{\infty}^2$  ya da  $\gamma_{\infty}$ . Elə riyazi funksiyalar var ki, onlar bu və ya digər yolla hədd səviyyəsinə çıxırlar. Onlar varioqrammaların hədd modelləri adlanır.

*Külçələrin təmiz effekti modeli (şək. 27):*

$$\gamma(h) = C_0 = \gamma_{\infty}$$

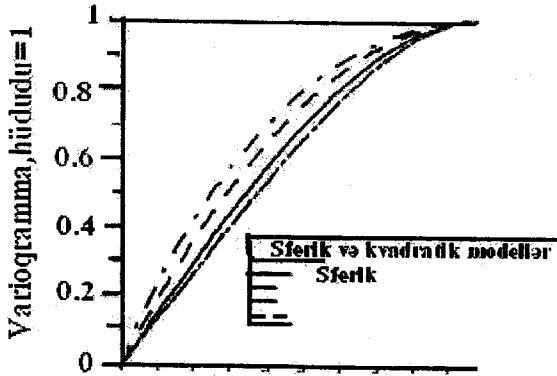
Bu modeldə varioqramma, tədqiq edilən filiz kütləsinin bütün uzunluğu boyu sabitdir. Bu model ayrılıqda tətbiq edilmir, ona görə ki, o tam təsadüfi tip varioqrammanı əks etdirir, lakin çox hallarda digər modellərlə kombinasiyada istifadə olunur.

*Sferik model (şək. 37, bütöv xətt):*

$$\begin{cases} C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) + C_0, & h < a; \\ C + C_0, & h \geq a; \\ 0 & h = 0 \end{cases}$$

Varioqrammanın ən çox istifadə edilən modelidir. Model 2 parametərə malikdir:  $\alpha$  – qarşılıqlı təsirə malik sınaqların (ölçmə nöqtələrinin) radiusu (interval, zona) və hədd -  $\gamma(\infty) = C + C_0$ , əlamətin ümumi dispersiyasına bərabərdir. Yüksələrək, funksiya  $h=a$  məsafəsinə həddə çıxır. Bu bölmənin şəkil 38-də və hədd funksiyasının bütün qalan şəkillərində sadələşdirmək məqsədilə qəbul olunub ki, hədd  $a=1$ .

Funksiyaya koordinat başlanğıcından keçirilmiş toxunan hədd xəttini  $h = \frac{3}{2}a$  məsafəsində kəsir. Riyazi olaraq bu funksiya ellipsin üst sol kvadrantını təsvir edir.



Şək. 37 Sferik və kvadratik model funksiyaları

*Kvadratik model* (şək.37-də punktir xətt):

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left( \frac{2h}{a} - \frac{h^2}{a^2} \right) + C_0, & h < a; \\ C + C_0, & h \geq a; \\ 0, & h = 0 \end{cases}$$

Bu funksiya sferik modelə çox oxşayır, lakin sıfırın yaxınlığında 0, daha sərt artır. Əgər bu iki modeldə qüvvət göstəricisini üçüncü  $\lambda$  parametri etsək, onda funksiyanın əsas hissəsini belə ifadə edə bilərik:

$$C = \left( \frac{\lambda h}{(\lambda-1)a} - \frac{h^\lambda}{(\lambda-1)a^\lambda} \right). \text{ Yoxlayırıq:}$$

$$\lambda = 3, \quad C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) - \text{bu sferik modeldir;}$$

$$\lambda = 2, \quad C \left( \frac{2h}{a} - \frac{h^2}{a^2} \right) - \text{bu kvadratik modeldir.}$$

Kvadratik model riyazi baxımdan çevrənin sol üst kvadratını təmsil edir.

Əslində  $\lambda$  qüvvətinin tam rəqəm olması vacib deyildir. Məsələn,  $\lambda = 1,5$  ola bilər. Bu funksiya (şək. 37, strixpunktir xətt) sferik və kvadratik funksiyalardan daha sərt olaraq həddə qalxır. Yadda saxlamaq lazımdır ki,  $\lambda > 1$  şərtinə riayət edilməlidir.  $\lambda > 3$  ola bilər. 37-ci şəkildə dördüncü adlanan  $\lambda = 4$  qüvvətli funksiya göstərilib.

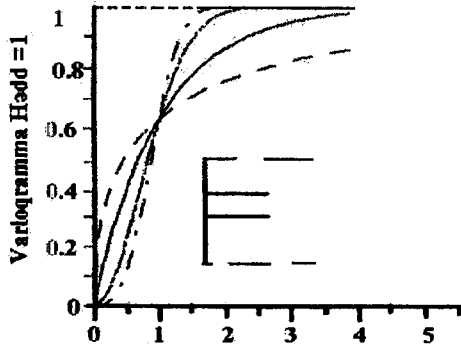
Daha böyük qüvvətlərdə funksiya düz xəttə çevrilir.

Beləliklə,  $\lambda > 1$  halında sferik və kvadratik funksiyalar mürəkkəb qüvvətli (yuxarıdan məhdudlaşmış) bir ailəyə daxildirlər.

*Ekspensial model (38ci şəkildə bütöv xətt):*

$$\gamma(h) = C \left( 1 - e^{-h/a} \right)$$

Bu model əyrisi formasına görə sferik modelə oxşayır, lakin koordinat başlanğıcı yaxınlığında o əvvəlcə daha sərt qalxır, nəinki sferik model, sonra isə əksinə, - daha az meyilli qalxmaya malik olur və həddə yalnız şərti olaraq çıxır və ona  $h=3a$  məsafəsində çatır. Hesab olunur ki, funksiya koordinat başlanğıcından çəkilmiş toxunan həddi  $h=a$ -da kəsir.



Şəkil 38. Eksponensial model funksiyaları, o cümlədən də Qauss funksiyası

Qauss modeli (ştrixpunktir xətlərindən biri, şəkl. 38):

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h/a})$$

Görünüşünə görə, Qauss modeli, haradasa, eksponensial modelə yaxındır, lakin o koordinat başlanğıcında olduqca ləng inkişaf edir və bununla filizləşmənin fasiləsizliyini əks etdirir. Funksiya hədd səviyyəsinə  $a$  radiusu qiymətində deyil, asimptotik olaraq çıxır. Qauss modeli formaca cadə olan filiz kütlələrində qalınlıq tipli fasiləsiz əlamətlərin məkanca davranışını təsvir etmək üçün istifadə edilir.

Eksponensial və Qauss modellərinin oxşarlığı göz önündədir. Üçüncü parametri -  $\lambda$  qüvvətini də bura daxil etsək bu funksiyaların ümumi tənliyini ala bilərik:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-|h^\lambda|/a^2})$$

$\lambda=1$  halında biz eksponensial,  $\lambda=2$  halında isə Qauss modeli funksiyasına malik oluruq. Qüvvətin tam ədəd olmağı bir o qədər də vacib deyil. Əsas odur ki, o sıfırdan böyük olsun:  $2 > 0$

Bundan qabaqkı halda biz sferik və kvadratik funksiyalar ailəsinə malik idik. Burada isə biz fasiləsiz filizləşmənin və ortakvadratik fasiləsiz filizləşmənin dəyişkənliyini təsvir etmək üçün modellərin geniş intervalını bağlayan eksponent funksiyalara malikig.

### *Kvaziperiodik modellər*

Kvaziperiodik effektin iştirakı halında üç tip nəzəri modellərdən istifadə etmək olar: sönən sinus modeli, eksponensial-kosinus modeli, Paddinqtonun qarışıq modeli. Biz burada adı çəkilən modellərdən yalnız birincisinə baxacağıq.

*Sönən sinus modeli (şək. 30):*

$$\gamma(h) = C \left( 1 - \frac{\sin wh}{wh} \right)$$

Burada  $wh = 1,4\pi / H$  - dövrü komponentin tezlik karakteristikası,  $H$  - sinus dalğasının yarım dövrünün qiyməti.

Bu qoşulma effekti modeli müxtəlif tərkibli ritmik növbələşən filizlərin təsviri üçün və yuvacıq paylanmalı minerallaşmaya malik filiz kütlələrinin təsviri üçün uyğun gəlir. Bu modeldə hədd, digər modellərdən fərqli olaraq başqa mənə daşıyır, belə ki, varioqramma qrafiki ya hədddən aşağı, ya da yuxarı olur.

### *Hədsiz modellər*

Bəzən hesablanmış və qurulmuş varioqrammalar həddi ötürüb keçərək ondan yuxarı olurlar. Belə varioqrammaları təsvir etmək üçün *hədsiz* adlanan funksiyalara müraciət edilir.

*Xətti model (şək. 39-da bütöv xətt):*

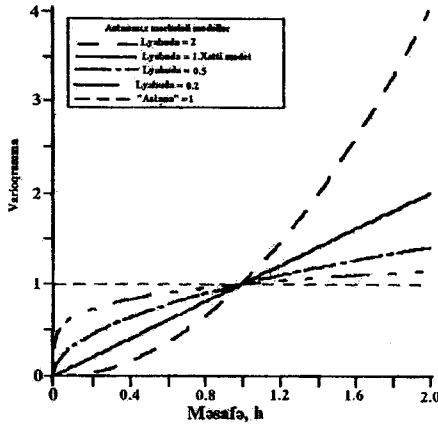
$$\gamma(h) = \begin{cases} Bh + C_0 & h > 0; \\ 0 & h = 0 \end{cases}$$

Burada:  $B$  –düz xəttin meylinin bucaq əmsalıdır. Ən sadə funksiya bir çox topoqrafik səthləri kifayət qədər məqbul təsvir edir.

Üstlü funksiya (şək. 39-da ştrixli və ştrixpunktirli xətlər):

$$\gamma(h) = \begin{cases} Bh^\lambda + C_0, & h > 0; \\ 0, & h = 0 \end{cases}$$

Burada:  $B$  - öyrənilən parametrin vahid məsafəyə artımının orta kvadratına bərabər müsbət əmsal,  $\lambda$  -üstün göstəricisi, hansı ki,  $0 \leq \lambda \leq 2$  olmalıdır. Müxtəlif nisbətli qanunauyğun və xaotik tərkibli dəyişən kəmiyyətlərin təsviri üçün yararlıdır.

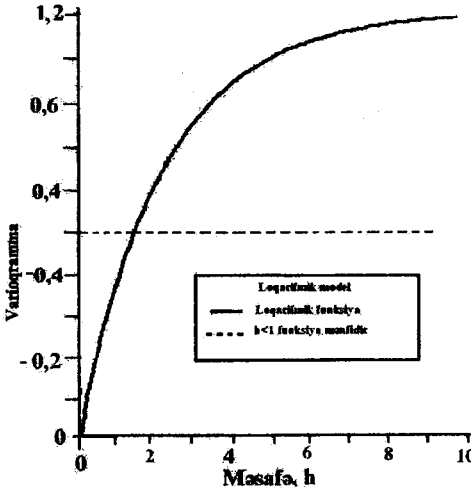


Şək. 39. Müxtəlif üstlü model funksiyaları

Loqarifmik model (şək.40):

$$\gamma(h) = B \ln h$$

Burada  $B$ - bucaq əmsalıdır. Bu model məsələlərin həllində geniş istifadə edilib. Düstur  $h < 1$  halında mənasız (mənfi) nəticələr verir. Odur ki, ehtiyatın hesablanması kompüter variantlarında istifadə edilmir.



Şək.40. Loqarifmik model funksiyası (məsafə 1-dən az olduqda mənfə qiymətə malik olur)

*Daxil edilmiş (yerləşdirilmiş) strukturaya malik varioqramma modelləri*

Baxılmış bu model funksiyalarından başqa, digər modellər də vardır: səmərəli kvadratik model, kubik model, pentasferik model. Ola bilsin ki, geoloqun sərəncamında olan faydalı qazıntı yataqlarının üçölçülü modelləşdirmə proqramlarında onların hamısı reallaşdırılmasın.

Müxtəlif modelləri eksperimental varioqrammalara tətbiq etmək vərdişlərinə yiyələnərək, modellərin bu, çox az istifadə edilən variantını da yoxlamaq olar.

Lakin sonda elə bir an gələ bilər ki, bu modellərdən heç biri modelin eksperimental varioqrammalara məqbul şəkildə uyğunlaşdırılmasına imkan verməsin. Onda, *daxil edilmiş (yerləşdirilmiş)* strukturlar adlanan texnologiyanın mənimsənilməsi vaxtı gələcəkdir. *Daxil edilmiş (yerləşdirilmiş)* strukturlar haqqında geostatistikanın bu tanışlıq kursunda ətraflı izahat vermək kifayət qədər çətinidir.

Bu bölmənin öyrənilməsi geostatistikanın sərbəst dərindən öyrənilməsinin sonrakı mərhələsidir.

### 3.6. Struktur analiz

Bizim burada varioqramma adlandırdığımız anlayış riyazi statistikada *struktur funksiya* adlanır. Müxtəlif əsaslar üzərində və müxtəlif istiqamətlərdə qurulmuş varioqrammaların ətraflı tədqiqinə əsaslanaraq A.Jurnel və Ç.Xuybrext (1979) onları *struktur analiz* adlandırmışlar. İndi ehtiyatın hesablanması geostatistik üsullarının tam kompüterləşdirilməsi ilə əlaqədar olaraq belə analizi çox vaxt *yataqların varioqrafiyası* adlandırırlar. Biz burada onu elə əvvəlki kimi *struktur analiz* adlandıracağıq.

Struktur analizin çoxsahəli olmasını təmin etmək üçün öyrənilən filiz kütləsinin bütün əsas kəşfiyyat parametrlərinin (filiz kütləsinin qalınlığı, filizüstü örtüyün qalınlığı, bütün əsas faydalı qazıntuların miqdarı, o cümlədən zərərliyə də), yanaşı komponentlərin miqdarı, filizin həcm kütləsi, məsaməlilik, nəmlik və digər göstəricilər) varioqrammalarının qurulması və tədqiqi vacibdir.

Bu zaman geostatistik tədqiqatların aparılmasına olan əsas tələblərə əməl olunmasına diqqət yetirmək lazımdır.

Birinci növbədə, varioqrammalar filiz kütləsinin yekcins (heç olmazsa geoloji baxımdan) blokunda qurulmalıdır.

İkincisi, varioqrammalar *bir əsas* üzərində qurulmalıdır (sınaqlar məkanca eyni cürə səmtləşdirilməli, eyni həcmə, eyni uzunluğa malik olmalı, eyni laboratoriyada, eyni üsulla analiz olunmalı, yaxşı olardı ki, az vaxt intervalında).

Həcmə görə fərqlənən kifayət qədər sınaqların olduğu halda, yaxşı olardı ki, varioqrammalar hər tip sınaq üçün ayrılıqda qurulsun və bir-biri ilə müqayisə edilsin (şək. 33). Bu, öyrənilən böyük həcmli sınaqlarda *tənzimləmə* fenomeninin məkanca dəyişkənliyini əyani şəkildə səciyyələndirməyə imkan verir. Əgər ilkin sınaqların uzunluğu böyük intervalda dəyişirsə, onda *kompozit* sınaqları hesablamaq lazımdır ki, sınaqların uzunluğunun varioqrammalara təsiri yox edilsin. Filiz kütləsi böyük qalınlığa malik olduqda varioqrammaları müxtəlif uzunluqlu kompozitlər üzrə qurmaq faydalıdır. Bu varioqrammaları bir qrafik üzərində qurub, əyani olaraq inanmaq olar ki, sınağın uzunluğu artdıqca varioqrammanın tənzimlənməsi baş verir, yəni həddin qiyməti keyli artır.



Tədqiq edilən əlamətin məkan dəyişkənliyində anizotropiyanın olub-olmaması sualına qəti cavab vermək üçün varioqrammalar müxtəlif istiqamətlərdə qurulmalıdır.

Əgər anizotropiya varsa, onun tipini müəyyən etmək lazımdır. Əgər bu affın anizotropiyasıdırsa, bütün koordinatları çevirmək lazımdır. Daha sonra yenidən, artıq izotop məkan dəyişikliyinə varioqramma hesablanmalıdır. Yuxarıda «Anizotropiya» bölməsində izah edilmiş üsuldən istifadə edilə bilər.

Əgər müxtəlif istiqamətlər üzrə müxtəlif hədli zonal anizotropiyaya oxşar mənzərə aşkar edilərsə, onda əvvəlcə yoxlamaq lazımdır ki, bu proporsionallıq effektinin sədası deyilmi? Əgər bu proporsionallıq effekti ilə əlaqəli deyilsə, onda burada ancaq onu tövsiyə etmək olar ki, ədəbiyyatda buna oxşar misal axtarılsın və burada təklif olunmuş üsullardan öz məlumatları üzərində istifadə etməyə cəhd edilsin.

Hədsiz trendli varioqramma alınan halda, ilk növbədə daha təcrübəli geostatistiki köməyə çağırmaq lazımdır ki, *trendi çıxarsın*.

Nəhayət ən sonda qurulmuş varioqrammaya model funksiyasını uyğunlaşdırmaq tələb olunur. Ümumi tövsiyə ondan ibarətdir ki, ən sadə modellər seçilsin, çoxstrukturalı modellərdən uzaqlaşılınsın, külçələrin effektinin azalmasına canfəşanlıq edilməsin.

Seçilmiş modellərin bütün parametrləri diqqətlə sənədləşdirilməlidir (jurnala yazılmalıdır). İki və ya üç model funksiyaları *gözəyari* olaraq demək olar ki, eyni olduqları hallarda ən yaxşı model məsələsinin həllini *kəşimə yoxlaması* mərhələsinə qədər təxirə salmaq lazımdır. Bütün qurulmuş varioqrammalar mütləq printerdə çap edilməlidir.

Əgər yataq polimetall qrupuna aiddirsə, onda hər bir metal üçün ayrılıqda varioqramma qurulmalıdır. Yaxşı olar ki, bütün metallar üçün eyni uyğunlaşdırıcı model istifadə edilsin.

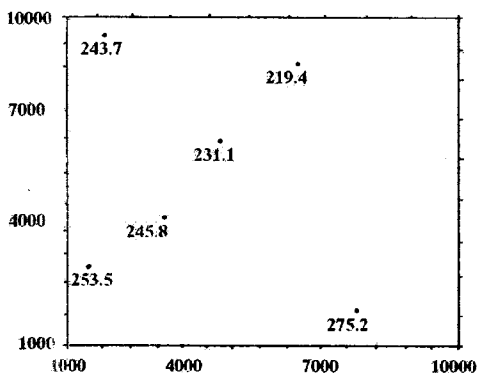
Qurmanın addımının (laqa) məsafə və bucaqlara görə buraxılış qiymətlərini varioqramların formasını yaxşılaşdırmaq istiqamətində vaxta qənaət edilməməlidir. Bu kəmiyyətləri dəyişərək, çox vaxt model funksiyalarının uyğunlaşdırılmasının keyfiyyətini xeyli yüksəltmək olar, o cümlədən də filiz və metalların ehtiyatlarının hesablanmasının etibarlılığını.

## IV. İNTERPOLYASIYA MƏSƏLƏLƏRİ

### 4.1. Qridinq

İnterpolyasiya məsələləri birölçülü (profilər üzrə məlumatlar), ikiölçülü (xəritələr) və üçölçülü (həcmdə) ola bilər. Bütün bu variantlar yataqların geoloji-kəşfiyyat işləri təcrübəsində rast gəlinir. Çox vaxt geoloq müstəvi üzərində interpolyasiya məsələləri ilə üzləşir, daha doğrusu ikiölçülü interpolyasiya ilə. Sadələşdirilmiş məsələyə baxaq.

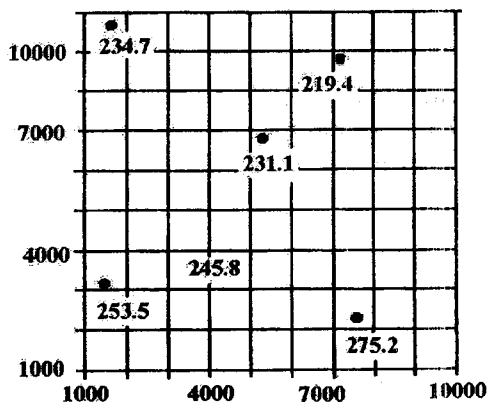
Hesab edək ki, yer səthində məlum koordinatlı 6 şaquli quyu qazılıb. Quyu ağızlarının mütləq qiymətləri məlumdur. Nöqtələr sahədə qeyri-bərabər səpələniblər (şək. 41). Bizə sahənin yer səthinin izoxətli topoqrafik xəritəsini qurmaq lazımdır.



Şək. 41. Yüksəklik qiymətləri məlum olan qeyri-bərabər yerləşmiş 6 nöqtə

İzoxətli xəritələrin çəkilməsinin ən geniş yayılmış üsullarından biri aşağıdakıdır. Bizi maraqlandıran sahə düzgün dördbucaqlılara və yaxud kvadratlara bölünür (şək. 42). Qədimdən qrid adlanan düzgün requlyar şəbəkə alınır. Biz hansısa yolla qridin qovşaqlarında nöqtələrin yüksəklik qiymətlərini müəyyənləşdiririk. Qovşaqların sayı şaqul üzrə 10, üfük üzrə də 10-dur. Odur ki, 100 qovşaqda yüksəklik qiymətləri təyin edilməli və onlar matrisaya (qrid-matrisa) yazılmalıdır. Nöqtələrin bu *müntəzəm*

*şəbəkəsi üzrə standart qrafik proqramların köməyi ilə biz izoxətli topoqrafik xəritə almış oluruq.*



*Şəkil 42. Qridinq 6 qeyri-bərabər yerləşmiş nöqtələri requlyar şəbəkənin qovşaqlarında yerləşmiş 100 bərabər yerləşmiş nöqtəyə çevirir.*

Beləliklə də biz 6 qeyri-bərabər yerləşmiş nöqtədən qrid qovşaqlarında yerləşmiş 100 requlyar yerləşmiş nöqtələrə keçməsinə yerinə yetirik. Qridin hər bir qovşağında yüksəklik nöqtəsinin qiymətini təyin etmək seçilmiş *interpolyasiya* üsulu ilə yerinə yetirilir. Qeyri-müntəzəm kəşfiyyat şəbəkəsindən şəbəkənin hər bir qovşağında dəyişən kəmiyyətin qiymətini təyin etməklə requlyar şəbəkəyə keçidin bütün bu prosedurası qridinq adlanır.

#### 4.2. İnterpolyasiya üsulları

20-dən çox interpolyasiya üsulu məlumdur. Biz burada mahiyyətini açmadan ən çox istifadə edilən üsulları qeyd edək:

- sürüşkən orta;
- üstlü əks məsafə;
- minimal ayrilik;
- real qonşu;
- yaxın qonşu;
- polinomial reqressiya;

- lokal polinomial reqressiya;
- radial bazis funksiyaları;
- Şepardin modifikasiya olmuş üsulu;
- xətti interpolyasiyalı trianqulyasiya;
- kriqinq.

Qeyd edilmiş üsullardan hər biri öz üstün və çatışmayan cəhətlərinə malikdirlər. Onları ancaq təcrübi yolla aşkar etmək olar. Bunlardan *kriqinq* ən aşağı dispersiyalı interpretasiya üsulu olub, J.Materon tərəfindən kəşfiyyatçı geoloqların istifadəsinə verilmişdir. Bu üsul J.Materonun müəllimi Cənubi Afrika geoloqu Deni Kriqenin şərəfinə adlandırılmışdır. Kriqinq, sözsüz ki, interpretasiyanın ən yaxşı üsullarından biridir. Lakin onu tətbiq etməzdən əvvəl geoloq çoxlu qabaqlayıcı işlər görməlidir, o cümlədən çoxlu sayda izoxətli xəritələr tərtib etməlidir. Odur ki, istər-istəməz geoloq digər interpretasiya üsullarından da istifadə etməlidir.

İnterpolyasiya üsullarının əksəriyyətində, ən az əyrilik və polinomial reqressiya üsulları istisna olmaqla, hansılardakı bütün nöqtələr istifadə olunur, əvvəlcə axtarış çevrəsinin və ya ellipsin diametri verilir.

Axtarış çevrəsinə düşən bütün nöqtələr növbəti qrid qovşağına aid ediləcək çəkilmiş ortanı hesablamağa istifadə edilir. İlk nöqtələrin çəkilişi bu və ya digər dərəcədə qovşağdan bu nöqtəyə qədərki məsafədən asılı olur. İnterpolyasiyanın müxtəlif üsulları ilkin məlumatların məsafədən asılı olaraq müxtəlif ölçü üsullarıdır.

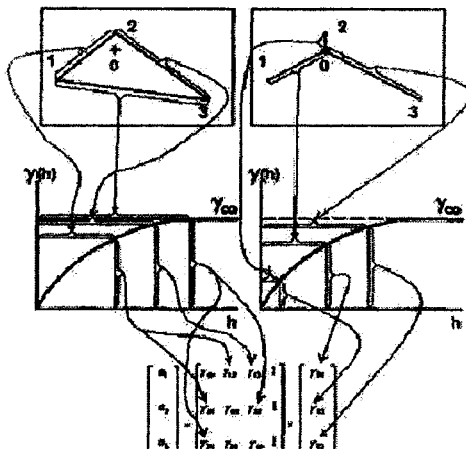
### *Kriqinq*

Kriqinqdə, interpolyasiya üsulu olaraq, demək olar ki, digər üsulların hamısından mürəkkəbdir. Şək. 43. bu prosesi qismən əks etdirir.

Tutaq ki, bizim axtarış dairəmizə 1,2 və 3-dən ibarət 3 nöqtə düşüb. Üst sol düzbucaqlıda onların qarşılıqlı yerləşməsi və onların xaç işarəsi ilə nişanlanıb qiymətləndirmə nöqtəsi ətrafında mövqeyi göstərilib.

Üst sol düzbucaqlıda 1,2 və 3 nöqtələri öz aralarında birləşdirilib. Üst sağ düzbucaqlıda da həmin nöqtələr göstərilib. Lakin onlar qiymətləndirilən O nöqtəsi ilə birləşiblər. Şəklin orta hissə-

sinə eksperimental varioqrammaya uyğunlaşdırılmış sferik model funksiyası iki dəfə təkrar olunub.



*Şək. 43. Xətti tənliklərin matrisa sisteminin nöqtələr arasındakı məsafənin və model varioqrammanın onlara müvafiq qiymətlərinin köməyi ilə əmələgəlmə sxemi*

Şəkilin alt hissəsində xətti matrisalı tənlik göstərilib, onun sol hissəsində (sütunda) hesablanması tələb olunan  $a_1, a_2$  və  $a_3$  nöqtələrinin çəkilişləri durur. Bundan ötrü,  $\gamma_{i,j} \{i=1,2,3 \quad j=1,2,3\}$  matrisası və  $\gamma_{0,i} \{i=1,2,3\}$  sütunu doldurulmalıdır. Bu aşağıdakı kimi yerinə yetirilir: 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə qədər olan məsafəni götürüb, sol varioqrammaya salırıq (oxlara nəzarət edin). Model funksiyasının 1 və 2 nöqtələri arasındakı məsafəyə uyğun gələn qiymətini matrisanın  $\gamma_{1,2}$  və  $\gamma_{2,1}$  ilə işarələnmiş iki yerinə salırıq. Matrisa simmetrikdir və onun bu üzvləri bir-birinə bərabərdir. Elə bu qayda ilə də növbəti nöqtələr cütlüyü ilə davranırıq. 1 və 3 nöqtələri arasındakı məsafəyə görə varioqrammanın qiymətini tapırıq və onu  $\gamma_{1,3}$  və  $\gamma_{3,1}$  yerlərinə qoyuruq. Analogi yolla  $\gamma_{2,3}$  və  $\gamma_{3,2}$  -nin qiymətləri-

ni tapıb müvafiq yerlərə yazırıq. Bu matrisanın diaqonalı boyu  $\gamma_{\infty}$  qiymətləri durur. Onlar öyrənilən dəyişən kəmiyyətin ümumi dispersiyasına bərabərdir:

$$\gamma_{\infty} = \sigma^2$$

İndi biz matrisa tənliyinin sağ sütununu doldurmalyıq. Bura  $\gamma_{01}, \gamma_{02}, \gamma_{03}$  model varioqramının mərkəz O nöqtəsi ilə 1,2 və 3 nöqtələri arasındakı məsafəyə uyğun gələn qiymətləri yerləşdirilir.

Matrisa tənliyi xətti tənliklər sisteminin əmsallarının çoxsaylı tapılma üsullarından birinin köməyi ilə həll edilir. Məsələn J.Materon tərəfindən seçilmiş üsul ilə həll edərkən qiymətcə kiçik olan  $\mu$  ədədi (Laqranj hasili) ortaya çıxır. Hasil nə qədər az olarsa xətti tənliklər sistemi bir o qədər yaxşı həll olunar, kriqinq əmsalını tapmaq üçün tənliklər sistemindən istifadə edilir. Kriqinq qiyməti:

$$\bar{Z}_k = \sum_{i=1}^n a_i Z_i$$

Burada:  $\bar{Z}_k$  - öyrənilən dəyişkən kəmiyyətin kriqinq interpolyasiya qiymətidir;  $Z_i$  - axtarış dairəsinə düşən dəyişkən kəmiyyətin  $n$  nöqtələrdə qiymətidir. Bizim nümunədə axtarış dairəsinə cəmi 3 nöqtə düşüb. Adətən təcrübədə axtarış dairəsinə onlarla sınaq düşür. Müvafiq olaraq, matrisa tənliyində onlarca səth və sütun genişlənir.

Hesab edilir ki, kriqinq – ən az dispersiya verən interpolyasiya prosedurasıdır. Kriqinqin dispersiyası bərabərdir:

$$\sigma_k^2 = \sigma_{\infty}^2 - \sum_{i=1}^n a_i \sigma_{0i} - \mu$$

burada  $\sigma_{\infty}^2$  - hədd;  $a_i$  - kriqinqin əmsalları (çəkisi);  $\sigma_{0i}$  - qiymətləndirilən nöqtə ilə  $i$  nöqtəsi arasında kovariasiya;  $\mu$  - Laqranj hasili. Kriqinq dispersiyasının qiyməti ümumi dispersiya ilə müqayisədə nə qədər azdırsa, alınan qiymətin keyfiyyəti bir o qədər yaxşıdır.

### *Nöqtəvi kriqinq*

Kriqinqin bir neçə növü vardır: nöqtəvi (və ya ordinar kriqinq); bloklu kriqinq (və ya bloklar kriqinqi); universal kriqinq; indikator kriqinqi; poliindikator kriqinqi; ko- kriqinq.

Bu dərslikdə geostatistikanın yalnız tanışlıq kursu - ən mühüm və başadüşülən prosedurlar haqqında ilkin məlumatlar verilir, xüsusən də nöqtəvi və bloklu kriqinqlər barədə. Qalanlar haqqında oxucu özü geostatistika barədə təcrübə topladıqca tədricən məlumatlanacaq.

***Nöqtəvi və ya ordinar kriqinq.*** Nöqtəvi termini işlətmək daha məqsədəuyğundur, belə ki, o bu üsulun mahiyyətini, yəni tədqiq edilən məkəncə dəyişkən kəmiyyətin nöqtədə interpolyasiya qiymətini ifadə edir. Alternativ «ordinar» adı, belə baxanda, heç bir şey ifadə etmir. İngilis sözü olan «*ordinary*» bir çox mənələrdə tərcümə olunur (adətən, adi, sadə, bilavasitə və s.) və bu üsulun mahiyyəti barədə heç bir şey demir.

Bu üsulun mahiyyəti elə ondadır ki, dəyişən kəmiyyətin tapılmış qiyməti tam müəyyənləşmiş üç -  $x$ ,  $y$  və  $z$  koordinatları olan nöqtəyə aiddir. Bunun necə edildiyi əvvəlki səhifədə ətraflı olaraq izah edilir.

***Kəşimə yoxlaması.*** Kəşimə yoxlaması - ingiliscə *cross validation* - bir neçə alternativ model olduqda varioqramın ən yaxşı model funksiyalarını seçmək üçün fikirləşilib. Kəşimə yoxlaması üsulunu sadə misalda mənimsəməyə çalışaq.

Tutaq ki, misli-qumdaşları filiz kütləsinin kəşfiyyatında  $100 \times 100$  m şəbəkəsi üzrə 100 quyu qazılıb. Filiz kütləsi subüfqə yatıb. Filiz kütləsinin qalınlığı kifayət qədər davamlıdır. Filiz kütləsinin ən dəyişkən parametri Cu miqdarıdır. Filiz quyudan çıxmış kernaya görə sınaqlaşılıb. Sınaqların orta uzunluğu 1 m-dir. Hər quyu üzrə misin orta miqdarı hesablanıb. Orta miqdarlara görə 100 quyuda filizdə misin miqdarının müxtəlif istiqamətlərdə

varioqramı qurulub. Yataq izotrop olub. Bilmək olarmı ki, model sferik varioqramma nə qədər düzgün seçilib (külçələrin kiçik effekti və təsir zonasının radiusu – 200 m-ə yaxın)? Bəli, olar. Bu suala *kəşimə yoxlaması* cavab verməlidir.

O aşağıdakı kimi aparılır. Hər bir quyu üçün nöqtəvi kriqinq sxemi üzrə misin miqdarı hesablanır. Burada hesablama aparılan quyular istisna olmaqla bütün quyular üzrə məlumatlar istifadə edilir. Beləliklə, burada misin miqdarının 2 həqiqi və hesablanmış sütunları vardır (cəđ. 6). Onları hərtərəfli müqayisə etmək lazımdır.

Cədvəl 6

Kəşimə yoxlanmasının nəticələri

Sıra №-si	Misin miqdarı		
	Həqiqi $Z_i^u$	Hesablanmış $Z_i^p$	Meyl $x_i = Z_i^u - Z_i^p$
1	5,53	5,41	+0,12
2	4,98	5,05	-0,07
...	...	...	...
$i$	3,66	3,40	+0,26
...	...	...	...
99	4,82	5,13	-0,3
( $n$ ) 100	5,12	5,01	+0,11

Burada  $Z_i^u$  - misin  $i$  quyusunda həqiqi miqdarı;

$Z_i^p$  - misin  $i$  quyusunda hesablanmış miqdarı;

$n$  - quyuların sayı (bizim nümunədə  $n=100$ );

$$\bar{Z}^u = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i^u}{n} - \text{misin orta həqiqi miqdarı};$$

$$\bar{Z}^p = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i^p}{n} - \text{misin hesablanmış orta miqdarı};$$



$\delta_i = Z_i^u - Z_i^p$  - meyl işarəsi nəzərə alınmaqla, misin miqdarının  $i$  həqiqi miqdarı ilə  $i$  hesablanmış miqdarı arasında meyl;

$\Delta_i = |Z_i^u - Z_i^p|$  - meyl işarəsi nəzərə alınmamaqla, misin miqdarının  $i$  həqiqi miqdarı ilə  $i$  hesablanmış miqdarı arasında meyl;

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_i^n \delta_i}{n} - \text{orta mütləq sistemətik xəta};$$

$$\bar{\delta}_{\text{meyl}} = \frac{\bar{\delta}}{\bar{Z}^n} 100\% - \text{orta nisbi sistemətik xəta};$$

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_i^n \Delta_i}{n} - \text{orta mütləq təsadüfi xəta};$$

$$\bar{\Delta}_{\text{nisbi}} = \frac{\bar{\Delta}}{\bar{Z}^n} 100\% - \text{orta nisbi təsadüfi xəta};$$

$$K_0 = \frac{\bar{\delta}}{\bar{\Delta}} - \text{yekcinslilik əmsalı}.$$

Kəsişmə yoxlamasının nəticələri cədvələ yazılır (cədv. 6). Bu cədvələ görə,  $\bar{\delta}$ ,  $\bar{\delta}_{\text{nisbi}}$ ,  $\bar{\Delta}$ ,  $\bar{\Delta}_{\text{nisbi}}$ ,  $\bar{K}_0$  hesablanır. İdeal halda  $\bar{\delta}$  və  $\bar{\delta}_{\text{nisbi}}$  kəmiyyətləri sıfıra bərabər olmalıdır. Bu o deməkdir ki, kriqinq sistemətik dəyişkənlik vermir və hesablanmış miqdarların həqiqi miqdarlarıdır, mənfi meyllərinin cəmi müsbət meyllərin cəminə bərabərdir. Bu halda həqiqi və hesablanmış miqdarlar üzrə orta miqdarlar bir-birinə bərabər olmalıdır, yəni  $\bar{Z}^u = \bar{Z}^p$ . Əgər  $\bar{\delta} \neq 0$ , lazımdır ki, kriqinqin nisbi xətası qabaqcadan geo-loq tərəfindən verilmiş xətanın qiymətindən çox olmamalıdır, məsələn,  $\bar{\delta}_{\text{nisbi}} < 5\%$  misin bütün yataq üzrə orta miqdarından.

Əgər bu kriteriya yerinə yetmirsə, bu o deməkdir ki, kriqinq misin miqdarının sürüşmüş qiymətini verir. Buna yol vermək olmaz. Deməli, model düzgün uyğunlaşdırılmayıb. Model funksiyasının bütün parametrlərini yoxlamaq lazımdır: külçələrin

effektinin qiyməti –  $C_0$ ; təsir zonasının radiusu –  $a$ ; həddin qiyməti –  $\sigma^2$ . Ola bilsin ki, modelin tipi düzgün seçilməyib.

Təsadüfi xəta sistemətik xətdən fərqli olaraq o qədər də təhlükəli deyil, lakin o, kriqinq hesablanmış miqdarların keyfiyyətinin digər tərəfini səciyyələndirir. Prinsipcə belə situasiya mümkündür. Orta sistemətik xəta sifra bərabərdir:  $\bar{\delta} = 0$ , yəni, müsbət meyllərin cəmi mənfi meyllərin cəminə bərabərdir. Lakin meyllərin özləri böyük ola bilər. Burada da kriteriyanı elə götürmək lazımdır ki, orta nisbi meyl müəyyən qiymətdən yuxarı olmasın. Elə kriteriya vardır ki, o sistemətik və təsadüfi xətələrin nisbətini birlikdə yoxlayır, bu – yekcinslilik əmsəlidir.  $K_0 \leq \frac{2,45}{\sqrt{n}}$  olmalıdır. 2,45 kəmiyyəti 99% etibarlılıq

ehtimalı üçün standart normal paylanma nöqtəsinin qiymətinə cavab verir və ya 1%-li mənə səviyyəsi üçün. İki qrafikin qurulması daha sərfəlidir – meyllər histoqramı və hesablanma və həqiqi miqdarların asılılıq diaqramı.

Meyllər histoqramı belə olmalıdır: 1) simmetrik; 2) birtəpəli; ikitəpəli; 3) histoqramın piki 0-a uyğun gəlməlidir; 4) ayrı-ayrı böyük meyllər olmamalıdır.

«Hesablanmış miqdarlar - həqiqi miqdarlar» nöqtəvi diaqramm-mada nöqtələr diaqonalın yaxınlığında – 45° bucaq altında keçən xəttin yaxınlığında yerləşməlidirlər. Hesablanmış və həqiqi qiymətlər arasında korrelyasiya əmsəlinin hesablanması arzu ediləndir. O tək cə yüksək etibarlılıq ehtimalı (99% və yüksək) deyil, həm də öz qiymətinə görə 0,90 – dan aşağı olmamalıdır.

Bu kriteriyalar varioqrammaların alternativ model funksiyaları arasında seçim zamanı tətbiq edilə bilər. Ümumi halda iki müqayisə edilən modellərdən o model yaxşıdır ki, onun təsadüfi və sistemətik xətası az olsun və həmçinin korrelyasiya əmsəli böyük olsun.

### *Bloklar kriqinqi*

Nöqtəvi kriqinq məkanca dəyişkən kəmiyyətin qiymətini *nöqtədə* tapır. Bizim misalda filiz kütləsi min bloka parçalanıb. Blok – həcmi məkan fiqurası olub, ümumi halda düzbucaqlı paralelepiped formasına malikdir. Kriqinqin köməkliyi ilə məsələn, blok üzrə metalın miqdarını necə qiymətləndirməli?

Geostatistiklər burada bir balaca hiyləgərliyə müraciət edirlər. Onlar metalın miqdarını blokun 8 künc nöqtələrində və blokun mərkəzində 9 dəfə hesablayırlar. Bu 9 nöqtə üzrə orta miqdar hesablanır:

$$\bar{Z} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 Z_i$$

Miqdarın 9 dəfə hesablanmasından istifadə edərək, həm də blokda metalın miqdarının dispersiya qiyməti:

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^9 (Z_i - \bar{Z})^2$$

və həm də orta kvadratik meyl hesablanır:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_z^2}$$

Yaddan çıxarmaq olmaz ki, hər bir nöqtə üçün kriqinq təkcə tədqiq edilən məkanca dəyişkən kəmiyyətin qiymətini deyil, həm də kriqinqin dispersiyasını hesablamağa imkan verir. Bunun sayəsində biz blokda kriqinq qiymətlərinin orta dispersiyasını hesablaya bilərik:

$$\sigma_z^{-2} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \sigma_{k_i}^2$$

Bundan başqa biz həm də *dispersiyalar dispersiyasını* hesablaya bilərik:

$$\sigma_{\sigma}^{-2} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^9 (\sigma_{k_i}^2 - \sigma_k^{-2})$$

*Dispersiyalar dispersiyası* bir qədər qeyri-adi səslənir, lakin buna baxmayaraq, geostatistiklər (Materon, 1968, Jurnal və Xuybrext, 1978) bu parametərə böyük əhəmiyyət verirlər.

İlk anlarda qeyd edilmiş kəmiyyətlərə böyük diqqət yetirməmək də olar. Lakin sonrakı daha dərin geostatistik tədqiqatlarda onlar lazım olacaq. Buna görə də yadda saxlamaq lazımdır ki, hər bir blok üçün hesabatda hər bir faydalı komponent üçün aşağıdakı informasiya yazılır: blok üzrə metalın orta miqdarı, miqdarın kriqinq qiymətinin orta miqdardan orta kvadratik meyli və dispersiyalar dispersiyası.

### *Ehtiyatların kriqinq qiymətləndirilməsi*

Filizlərdə bütün komponentlərin (həm faydalı, həm də zərərli) miqdarı qiymətləndirildikdən sonra hesab etmək olar ki, artıq ehtiyat hesablanıb. Yada salaq ki, filiz kütlələrinin 2 tip blok modelləri olur. Faktorlu blok modellərdə bütün blokların həcmi eynidir. Burada faktor blokun hansı həcmnin filiz olduğunu göstərir. Blokun həcmi faktora və filizin həcm çəkisinə vursaq filizin blokda ehtiyatını almış olarıq. Daha sonra filizin ehtiyatını metalın blokda miqdarına vursaq, metalın blokda ehtiyatını almış olarıq.

Filiz kütləsinin subblok modelində «böyük»; lakin blokların bütün boş hissələrinin kənarlaşdırılması hesabına, qalan subbloklar 100% filizli olurlar. Onların həcmi filizin həcm çəkisinə və komponentin miqdarına vurmaqla, biz onun ehtiyatını almış olarıq.

Filiz kütləsinin bütün qiymətləndirilmiş və hesablanmış parametrləri nəhəng bir cədvələ salınır. Nəyə görə nəhəng? Ona görə ki, hətta orta ölçülü yataqlarda on minlərlə bloklar alınır. Hər bir blok – bu cədvəldə bir sətirdir. Bundan başqa, bu cədvəldə sütunların da sayı bir neçə onluqlardadır.

Misal kimi, Rubtsovski kolçedan-polimetal yatağının (Filiz Altay) ehtiyat hesablanma cədvəlinə baxaq. Bu yataqda 3 əsas faydalı komponent var: Cu, Pb, Zn. Bundan başqa, işlənmiş

kondisiyalara görə aşağıdakı yanaşı *qiymətli* komponentlərin də ehtiyatlarının hesablanması tələb olunurdu: Au, Ag, Bi, Te, Cd, Se, Ga, S.

Beləliklə, hesablama matrisasına külli miqdarda məlumatlar yazılır. Rubtsovski yatağının ehtiyat hesablanma cədvəlinə 50 sütun daxildir. Birinci 11 sütun bütün faydalı komponentlər üçün ümumidir:

- 1 – blokun identifikatoru (fərdi nömrə);
- 2 – blokun mərkəzinin  $x$  koordinatı;
- 3 – blokun qərb və şərq divarlarına qədər olan məsafə  $\pm \Delta x$  ;
- 4- blokun mərkəzinin  $y$  koordinatı;
- 5 – blokun şimal və cənub divarlarına qədər olan məsafə  $\pm \Delta y$  ;
- 6 - blokun mərkəzinin  $z$  koordinatı;
- 7 - blokun dibinə və tavanına qədər olan məsafə  $\pm \Delta z$  ;
- 8 – hesablanmış 9 nöqtədən axtarış ellipsinə düşən nöqtələrin orta sayı;
- 9 – blokun həcmi;
- 10 – həcm çəkisi;
- 11 – blokda filizin ehtiyatı.

Cədvəldə daha sonra hər bir faydalı komponent üçün 4 sütun olmaqla qruplar gedir. Mis üçün:

- 12 – blokda Cu orta miqdarı;
- 13 – Cu miqdarının kriqinq dispersiyası;
- 14 – blokda Cu miqdarının standart meylli;
- 15 – Cu –n blokda ehtiyatı.

Analoji sütunlar qrupu 4 ədəd olmaqla Pb (16-19-cu sütunlar) və Zn (20-23 sütunlar) üçün gedir. Növbəti sütunlar qrupu (24-33) ehtiyatları çoxluq reqressiyası tənliyi ilə hesablanma biləcək qiymətli yanaşı komponentlər barədə məlumatları əks etdirir. Hər bir kimyəvi element üçün 2 sütun ayrılıb. Məsələn, kadmium üçün:

- 24 – blokda Cd orta miqdarı;
- 25 – blokda Cd ehtiyatı.

Analoji məlumatlar həmçinin Se, Ag, Bi və Te üçün də göstərilir. Onlardan sonra qiymətli yanaşı komponentlər barədə məlumatlar saxlayan sütunlar gedir (34-36 sütunlar). Bunlar üçün reqressiya tənliyi tərtib etmək mümkün olmayıb. Bunlar – Ga,

Au,  $S_{pir}$  –dir. Onlar bütün yataq üzrə sadə orta miqdara görə qiymətləndirilir. Odur ki, onların hər birinə 1 sütun ayrılır. Bu sütunda verilmiş elementin blokda ehtiyatı yazılır.

37-49-cu sütunlarda blokların çıxışlığı barədə məlumatlar saxlanılır. Çıxış dedikdə nə başa düşülür? Bizdə kondisiyalar var. Bu kondisiyalara müvafiq olaraq hesablanma blokunda sulfid və qarışıq filizlər üçün şərti misin minimal sənaye miqdarı 6%-dən yuxarı olmalıdır. Şərti sinkə keçmək əmsalları: Cu-1,3; Pb-1,4. deməli, blokları şərti misin miqdarına yoxlamaq lazımdır. Əgər  $Z_n \text{ şərti} > 6\%$  yerinə yetirsə, şərti olaraq «İndeks» adlanan sütuna 1 (vahid) qoyulur. Əgər  $Z_n \text{ şərti} < 6\%$ -sə, onda blok zay hesab olunur və «İndeks» sütununda 0 yazılır.

Filizin və ayrı-ayrı elementlərin ehtiyatları yerləşdirilmiş sütunları «İndeks» sütununa vurmuş olsaq, onda indeksi=0 olan bloklarda ehtiyat sıfırlaşdırılır. 38-49-cu sütunlarda ehtiyatlar sütunlarının «İndeks» sütunu ilə hasilərinin nəticələri yerləşdirilir: 38-filizlərin ehtiyatları; 39 – Cu ehtiyatları; 40 – Pb ehtiyatları; 41- Zn ehtiyatları; 42 – Cd ehtiyatları; 43 – Se ehtiyatları; 44 – Ag ehtiyatları; 45 – Bi ehtiyatları; 46 - Te ehtiyatları; 47 – Au ehtiyatları; 48 – Ga ehtiyatları; 49 –  $S_{pir}$  ehtiyatları.

Əgər biz hər sütun üzrə 20 mindən artıq blokları (1 №-li filiz kütləsinin subblok modelində bu qədər blok alınmışdır) toplasaq, onda lazımı kimyəvi elementin yataq üzrə ehtiyatlarını almış olarıq.

Blokların çıxış əməliyyatı – faydalı proseduradır. Kasıb blokların seçimli çıxarılması filizin keyfiyyətinin ümumi yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

Cədvəlin hər bir sütununun tutumu vizuallaşdırıla bilər – 3D modelinə çevrilə bilər. Burada hər bir blok müvafiq rənglə rənglənir, məsələn, blokda Cu miqdarına müvafiq.

Lakin bilmək vacibdir ki, bu şəkilə nə qədər etibar etmək olar. Hesablanmış kəmiyyətlərin etibarlılığını yoxlamaq üçün, filiz kütləsinin blok modelini qurmaq olar. Hər bir blok onun parametrlərini qiymətləndirərkən axtarış dairəsinə düşən nöqtələrin sayından asılı olaraq müvafiq rəngdə rənglənir.

Az miqdarlı nöqtələrə malik sahələr, ola bilsin ki, kəşfiyyatı davam etdirməyi tələb edirlər.

Kriqinqin dispersiyası xəritəsində yatağın o hissələri narahatlıq təşkil edir ki, orada kriqinqin dispersiyası çox böyükdür.

Onu misin varioqramı ilə müqayisə etmək lazımdır. Əgər kriqin-qin dispersiyası qiymətcə varioqrammanın hüdud qiymətinə yaxınlaşarsa, onda bu qiymətləndirmənin etibarlılığı şübhə yaradacaq.

Miqdarların standart meyli xəritələrində standart meylin yüksək olduğu sahələrə diqqət yetirmək lazımdır. Blokun 9 kriqinqli qiymət yerlərində, çox ehtimal ki, qiymətlər geniş səpələnməyə malik olurlar.

Çıxdaş edilmiş bloklar xəritəsi qeyri-zəngin və az qalınlıqlı filiz kütlələrinin yerləşdiyi yerləri aydın şəkildə göstərir.

Əgər xəritələşdirilən parametr kimi bir kub metr filizin dəyəri çıxış edirsə və bütün materialın ondan çıxarılacağı güman edilirsə, onda çox maraqlı 3D modeli alınır. 13 oktyabr 2006-cı il üçün Rubtsovsk yatağının əsas metallarının London birjasında dəyəri belədir (\$ 1 kq-a: Cu – 3,4117; Pb – 0,7230; Zn – 1,7282.

Müvafiq yenidən hesablamalar aparılmışdır. Nəticələr göstərdi ki, yatağın kəşfiyyat aparılmış hissəsi ən yaxşı və ən zəngindir. 1 m<sup>3</sup> filizdə saxlanılan metalların qiyməti 2000\$-a çatır. Periferiya sahələrində qiymət 100\$-dan aşağı düşür (65\$-a qədər). İnanmaq olmaz ki, kimsə tapılsın ki, bu kasıb filizi öz ziyanına olaraq hasil etsin.

Ehtiyatın hesablanması geostatistik üsulu ənənəvi üsullar qarşısında müqayisə olunmaz üstünlüyə malikdir, bu da əldə edilmiş nəticələrin etibarlılığının qiymətləndirilməsinə imkan verir. O, hər blokda filizin onlarca parametrini əks etdirməyə imkan verir. O cümlədən də filizin maliyyə-iqtisadi göstəricilərini əyaniləşdirmək olar.

## ӘДӘБИҮҮАТ

1. Александров А.Д., Делоне Б.Н. // Природа. 1980. №3. с. 25-35.
2. Аммерал Л. Интерактивная трехмерная машинная графика. М.: Сол Систем, 1992, 318 с.
3. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л.: Недра, 1980, 360 с.
4. Котов Ю.В. Как рисует машина. М.: Наука. Гл. ред. мат. лит. 1988, 224 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968, 408 с.
6. Трофимов А.А. Основы горной геометрии. М.: Изд-во МГУ, 1980, 224 с.
7. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия, применение в проектировании и на производстве. М.: Мир, 1972, 304 с.
8. Фоли Дж., Ван Дэм А. Основы интерактивной машинной графики. 4.1,2. М.: Мир, 1985
9. Авдонин В.В., Ручкин Г.В., Шатагин Н.Н., Лыгина Т.И., Мельников М.Е. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Фонд «Мир», 2007, 540 с.
10. Ioumel A.G., Huijbregts Ch. J. Mining geostatistics. L; N.-Y.; S.F.: Academic press, 1979, 600 p.



# MÜNDƏRİCAT

	səh.
<b>GİRİŞ</b> .....	3
<b>I. YATAQLARIN ÜÇÖLÇÜLÜ KOMPÜTER MODELƏS- DİRİLMƏSİ</b> .....	6
1.1. Üçölçülü məkanda koordinatlar.....	8
1.2. Müşahidə nöqtəsi və perspektiv təsvir.....	12
1.3. Qrafik primitivlər (sadə elementlər).....	15
1.4. Səthlər və kütlələr.....	17
<i>Səthlər</i> .....	17
<i>Həcmi geoloji kütlələr</i> .....	18
1.5. Dağ qazmaları.....	19
<i>Quyular / şurflar</i> .....	19
<i>Yeraltı dağ qazmaları</i> .....	19
<i>Karxanalar</i> .....	19
<i>Tranşeylər</i> .....	20
<i>Xəndəklər</i> .....	20
<i>Buldozer təmizləmələri</i> .....	21
1.6. Qrafik sənədləşdirmə.....	21
1.7. Yataqların üçölçülü modeləşdirilməsinin bəzi riyazi məsələləri.....	21
<i>Yaxın nöqtə və ya yaxın xəttin axtarışı məsələsi</i> .....	24
<i>Rəng</i> .....	25
<i>İşıqlanma, işıq ləkələri (zolaqları) güzgülik, kölgələr</i> .....	25
1.8. Üçölçülü modellərin yaradılma qaydaları.....	27
<i>İlkin məlumatlar</i> .....	27
<i>İlkin məlumatların yoxlanılması</i> .....	30
<i>Səthlərin karkası</i> .....	31
<i>Delone trianqulyatsiyası</i> .....	31
<i>Məftil karkası</i> .....	32
<i>Səthlərin rəqəmli modelləri (SRM)</i> .....	34
<i>Qridlər və qridinqlər</i> .....	35
<i>Geoloji cismin karkas modeli</i> .....	39
<i>Stringlər</i> .....	39
<i>Tam karkas model</i> .....	42
<i>Blok modelləri</i> .....	43
<b>II. EHTİYATIN HESABLANMASININ GEOSTATİSTİK ÜSULLARI</b> .....	45
2.1. Bir qədər də geostatistikanın tarix barədə.....	45
2.2. Filiz axınları və mikrobloklar.....	46

2.3. Filiz kütlələrinin blok modelləri.....	47
2.4. Ənənəvi ehtiyat hesablama üsullarının mikrobloklarda yararsızlığı.....	50
<b>III. VARIQRAMMALAR.....</b>	<b>53</b>
3.1. Filiz kütləsinin qalınlıq varioqramı.....	53
3.2. Miqdarın varioqramması.....	57
3.3. Varioqramma tipləri.....	60
<i>Külçələrin effekti.....</i>	62
<i>Külçələrin təmiz effekti.....</i>	62
<i>Qrafiklərin koordinat başlanğıcı yaxınlığında davranışı..</i>	63
<i>Qoşulmaq effekti.....</i>	64
<i>Kvaziperiodik varioqrammalar.....</i>	65
<i>Hədsiz varioqrammalar.....</i>	66
3.4. Anizotropiya.....	66
<i>Proporsionallıq effekti.....</i>	71
3.5. Varioqrammaların model funksiyaları.....	72
<i>Hədd modelləri.....</i>	73
<i>Kvaziperiodik modellər.....</i>	77
3.6. Struktur analiz.....	80
<b>IV. İNTERPOLYASIYA MƏSƏLƏLƏRİ.....</b>	<b>82</b>
4.1. Qridinq.....	82
4.2. İnterpolyasiya üsulları.....	83
<i>Kriqinq.....</i>	84
<i>Nöqtəvi kriqinq.....</i>	87
<i>Bloklar kriqinqi.....</i>	91
<i>Ehtiyatların kriqinq qiymətləndirilməsi.....</i>	92
<b>ƏDƏBİYYAT.....</b>	<b>96</b>