

UO‘K: 669.873:669.053:622.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.32

O‘ZBEKISTONDA VISMUT ISHLAB CHIQUARISH XOMASHYO BAZASI VA ULARDAN VISMUTNI AJRATIB OLISH IMKONIYATLARINI TADQIQ QILISH



**Xasanov Abdirashid
Saliyevich**

“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ Innovatsion
texnologiyalarni ishlab chiqish va
tadqiq etish markazining
texnologiya bo'yicha direktor
o'rinbosari, t.f.d., professor,
Olmaliq, O'zbekiston

E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622



**Eshonqulov Uchqun
Xudaynazar o'g'li**

Qarshi davlat texnika universiteti
dotseni, PhD, Qarshi, O'zbekiston



**Saipov Xamza
Abdurashidovich**

“O'zbekgeologiyaqidiruv”
Toshkent markaziy geologiya-
qidiruv ekspeditsiyasi Olmaliq
geologiya-qidiruv ekspeditsiyasi
geologi, Olmaliq, O'zbekiston



**Xasanov Ulug'bek
Abdirashidovich**

“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ, yetakchi muhandis,
t.f.d., Olmaliq, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada tabiiy va texnogen manbalardan vismut (Bi) olish masalalari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy obyekti sifatida Toshkent viloyatidagi Ustarasoy koni hamda “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJda hosil bo'ladigan qo'rg'oshin–vismutli shlamlar o'rganildi. Ustarasoy koni yuqori devon davrining karbonat-alevrolitli jinslari orasida shakllangan vismut–arsenopiritli gidrotermal tomir-metasomatik shakllanish turiga mansub bo'lib, u yerda vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinait va boshqa vismutli minerallar aniqlangan. “Olmaliq KMK”da mis eritish jarayonida hosil bo'lgan qo'rg'oshin–vismutli shlamalarda Bi miqdori 0,19–2,0% gacha, konvertor changlarida esa 0,5–1,0% gacha aniqlangan. Shlamlardagi $PbSO_4$ ni eritish uchun NaCl eritmasidan foydalanish bo'yicha tajribalar natijasida 95°C da va 300 g/l konsentratsiyada qo'rg'oshinning eritmaga o'tish darajasi 85,3% ni tashkil etgani aniqlandi. Natijada vismutning konsentratsiyasi ikki baravar ortgan, qimmatbaho metallarning (Au, Ag) boyitilishi esa samarali kechgan. Tadqiqotlar vismutni ikkilamchi manbalardan qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: vismutin, Ustarasoy koni, Olmaliq KMK, qo'rg'oshin–vismutli shlam, xlorid eritmasi, qayta ishlash.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИСМУТА В УЗБЕКИСТАНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ

**Хасанов Абдирашид
Салиевич**

Заместитель директора по
технологиям Центра разработки
и внедрения инновационных
технологий, АО «Алмалыкский
горно-металлургический
комбинат», доктор технических
наук, профессор,
Алмалык, Узбекистан.

**Эшонкулов Учкун
Худайназар угли**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, PhD, Карши, Узбекистан

**Саипов Хамза
Абдурашидович**

«Узбекская геологическая
разведка», Ташкентская
центральная геологическая
разведывательная экспедиция,
Алмалыкская геологическая
разведывательная экспедиция,
геолог, Алмалык, Узбекистан

**Хасанов Улугбек
Абдирашидович**

АО «Алмалыкский горно-
металлургический комбинат»,
ведущий инженер, доктор
технических наук,
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрены научные аспекты извлечения висмута (Bi) из природных и техногенных источников. Объектами исследования являются Устарасайское месторождение в Ташкентской области и свинцово–висмутовый илам, образующийся при производстве меди на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (АГМК). Устарасайское месторождение относится к висмут–арсенопиритному гидротермальному жильному метасоматическому типу и приурочено к карбонатно–алевролитовым породам верхнего девона. Здесь выявлены минералы висмутин, кобеллит, козалит, висмутотинтинит и др. В илалах АГМК содержание Bi достигает 0,19–2,0%, а в конвертерной пыли — 0,5–1,0%. При растворении $PbSO_4$ раствором NaCl установлено, что при температуре 95 °C и концентрации 300 г/л степень извлечения свинца составляет 85,3%. При этом содержание висмута в остатках увеличивается в 2 раза, а также наблюдается обогащение благородных металлов (Au, Ag). Результаты показывают перспективность применения хлоридного выщелачивания для переработки техногенных отходов с целью извлечения висмута и сопутствующих ценных элементов. Полученные данные создают основу для разработки эффективных технологий вторичной переработки висмутсодержащего сырья.

Ключевые слова: висмутин, месторождение Устарасай, АГМК, свинцово-висмутовый илам, хлоридное выщелачивание, извлечение металлов.

STUDY OF THE RAW MATERIAL BASE FOR BISMUTH PRODUCTION IN UZBEKISTAN AND THE POSSIBILITIES OF EXTRACTING BISMUTH FROM THEM

**Khasanov Abdirashid
Salievich**

Deputy Director for Technology of
the Center for Development and
Implementation of Innovative
Technologies, JSC “Almalyk
Mining and Metallurgical
Combine”, Doctor of Technical
Sciences, Professor,
Almalyk, Uzbekistan

**Eshonkulov Uchkun
Khudaynazar ugli**

Karshi State Technical University,
Docent, PhD, Karshi, Uzbekistan

**Saipov Khamza
Abdurashidovich**

Geologist of the Almalyk
Geological Exploration Expedition
of the Tashkent Central Geological
Exploration Expedition
“Uzbekgeologorazvedka”,
Almalyk, Uzbekistan

**Khasanov Ulugbek
Abdirashidovich**

JSC “Almalyk Mining and
Metallurgical Combine”, Leading
Engineer, Doctor of Technical
Sciences, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. This article provides a scientific analysis of the extraction of bismuth (Bi) from both natural and technogenic sources. The study focuses on the Ustarasoy deposit in Tashkent region and the lead–bismuth sludge generated at the Almalyk Mining and Metallurgical Complex (AMMC). The Ustarasoy deposit represents a bismuth–arsenopyrite hydrothermal vein–metasomatic formation type occurring within Upper Devonian carbonate–aleurolite rocks and hosts minerals such as bismuthinite, kobellite, cosalite, bismutotintinite, and others. The lead–bismuth sludge produced during copper smelting at AMMC contains up to 0.19–2.0% Bi, while converter dust samples contain 0.5–1.0% Bi. Experiments using NaCl solutions to dissolve $PbSO_4$ revealed that at 95 °C and 300 g/l concentration, the dissolution efficiency of lead reached 85.3%. Simultaneously, the bismuth concentration in solid residues doubled, and enrichment of precious metals (Au, Ag) was observed. These results demonstrate that chloride-leaching technology is a promising method for the recovery of valuable metals from secondary raw materials. The findings form a scientific basis for developing efficient recycling technologies for bismuth and associated metals from industrial wastes.

Keywords: bismuthinite, Ustarasoy deposit, Almalyk MMC, lead–bismuth sludge, chloride leaching, metal recovery.

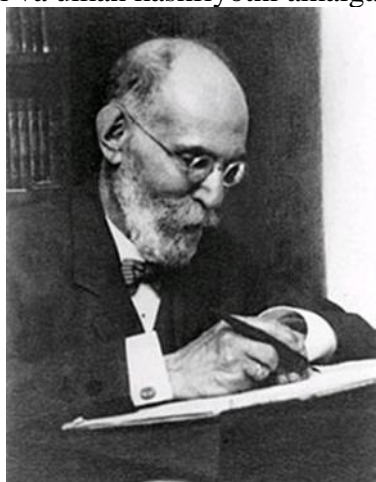
Kirish. Vismut garchi XVIII asrdan beri | tajribalar olib borgan. Uning kimyoviy
ma'lum bo'lsada, u haqida olimlar juda kam | individualligi 1739 yilda nemis kimyogari I.G. Pott

(1692-1777 y.) tomonidan kashf etilgan. Biroq, u haqida olimlarning qiziqishi oradan 200 yil o'tgach boshlandi. Qadimdan vismut metall sifatida ma'lum bo'lgan, ammo uni qo'rg'oshin, surma yoki qalayning birikmasi deb xisoblashgan.



1-rasm. Georgiy Agrikola (1494-1555).

Hatto 1494-1555 yillarda yashab ijod qilgan, birinchi bora "Konchilik ishi va metallurgiya" haqida 12 tomli kitobni yozib, nashr ettirgan Georgiy Agrikola (Bauer) ham 1546 yili o'z asarida vismut xossalari haqida yozib o'tgan. Olimlarning, ayniqsa XV asr alkimyogarlarning ta'rifi bo'yicha Yevropada bu metall haqida yozilgan va ancha baxslarga olib kelgan. Shulardan biri V.Valentindir (1394-1450), aynan shu kimyogar XV asr boshida xlorid kislotasini osh tuziga temir kuporosini ta'sir ettirib oladi va ulkan kashfiyotni amalga oshiradi.



2-rasm. E.O.Pippman (1857-1940).

Alkimyogar, shifokor va filosof G.Paratsels (taxminan 1493 yili, o'lgan yili aniq, 24.09.1541y.,

Avstriya) tibbiyotga kimyoni olib kirdi. Simob, oltingugurt, temir, mis kuporosi bilan insonlarni davolashni taklif etdi va sinovdan o'tkazdi.

E.O.Pippman (1857-1940) o'zining taniqli "Geschichte des wismuts zwischen 1460 und 1800" asarida 1930 yili XV-XVII asrlarda olim kimyogarlardan tomonidan qayd etilgan 21ta metall haqida yozib o'tadi. Kitobning nomidan ham ma'lumki vismut haqida XV asrdayoq fikr yuritilgan. 1820 yillarda shved kimyogari Y.Y.Berselius (1779-1848) vismutga Bi kimyoviy element belgisi berdi va D.M.Mendeleyev jadvaliga 83 tartib raqami bilan kiritdi. Martin Ruland (1569-1611), 1612 yilda yozgan "Alkimyogarlarning lug'ati" nomli asarida vismutni "Har tomonlama yengillatuvchi, yaltiroqlovchi va arzon qo'rg'oshin" va "oq vismut" haqida yozib o'tadi. XVIII asrdan boshlab vismut boshqa metallar bilan past haroratda eriydigan qotishmalar olishda, tibbiyotda, ayollar kosmetikasida ishlatila boshladi. Va nihoyat XVIII asrga kelib I.G.Pott va kimyo va minerologiya sohasining yetuk professori Torbern Bergman (1735-1784) vismutni alohida metall sifatida qabul qilishni taklif etdi va u xech qanday qo'rg'oshin, surma yoki qalay birikmasiga aloqasi yo'qligini isbotlab berdi. Nima uchun ushbu yaltiroq kimyoviy element shunday atalishi haqida aniq ma'lumotlar yo'q. Biroq, E.O.Pippman bu konchilar so'zidan olinganligini, ya'ni "Wis va mat"(Weisse masse va weisse material) so'zidan kelib chiqqanligini, bu oq jins, oppoq material ma'nolaridan olingan, degan xulosaga kelgan.



3-rasm. Yons Yakob Berselius (1779-1848).

Shuningdek M.V. Lomonosov ham o'zining taniqli "Metallurgianing birinchi asoslari" kitobida

vismut haqida, uning xossalarini yoritib bergan. Va nihoyat XIX asr boshlarida chor Rossiyasining kitoblarida uni “Vizmut” gohan “Bismut” deb yozishgan.

Vismutin – kimyoviy tarkibi jihatidan vismut (Bi) va oltinugurt (S) birikmasidan tashkil topgan vismut sulfididir. Ushbu mineral o‘z nomini tarkibida vismut elementining ustun miqdorda mavjudligidan olgan. Ko‘plab adabiyotlarda u bismutinit (Bi_2S_3) yoki vismut yaltirog‘i nomlari bilan ham uchraydi.

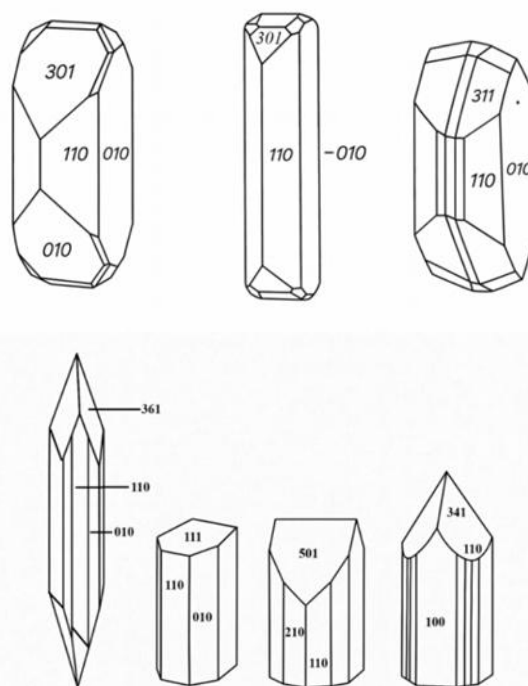
Kimyoviy tarkibi asosan Bi – 81,3% va S – 18,7% nisbatida bo‘lib, tarkibida qo‘shimcha ravishda qo‘rg‘oshin (Pb), surma (Sb) hamda temir (Fe) kabi aralashmalar ham uchrashi mumkin.

Kristall tuzilishi bo‘yicha vismutin rombik singoniya (rombik sistemasiga mansub) mineral bo‘lib, uning simmetriya tipi rombopiramidal ($D_{2h} = mmm, 3L_23PC$) shaklida ifodalanadi. Mineralning elementar hujayrasi (strukturaviy katakchasi) Bi_2S_3 formulali birikmadan iborat bo‘lib, fazoviy guruhi $D_{2h}^{11} - \text{Pbnm}$ tarzida aniqlangan. Kristall panjaraning parametrlariga ko‘ra: $a_0=11,15 \text{ \AA}$; $b_0=11,29 \text{ \AA}$; $c_0=3,98 \text{ \AA}$, ularning o‘zaro nisbati $a_0:b_0:c_0=0,9874:1:0,3523$ ni tashkil etadi.

Bunday tuzilish vismutinning antimonit (Sb_2S_3) minerali bilan o‘xshash kristallografik xususiyatlarga egaligini ko‘rsatadi, bu esa ularning umumiy sulfidli tabiatidan dalolat beradi.

Tahlil. Vismutinga odatda donador, zich birikkan agregatlar, shuningdek nurlanishsimon yoki cho‘zinchoq prizmal kristallar xosdir (4-rasm). Bunday kristallar yuzalarida, odatda, $\{110\}$, $\{301\}$, $\{101\}$ prizmalarning hamda $\{010\}$ pinakoidning tekisliklari aniqlanadi. Kristall yoqlari ko‘pincha nozik vertikal chiziqlar (yoki tirnalgan sirt) bilan qoplangan bo‘ladi. Bu xususiyatlar mineralning shakl hosil bo‘lish sharoiti va kristallik strukturasi o‘ziga xosligini ko‘rsatadi.

Vismutin tashqi ko‘rinish jihatidan qo‘rg‘oshin-kulrangdan tortib qalay-oq ranggacha bo‘lgan tuslarda uchraydi. Ba’zida uning sirtida sariq yoki ko‘p rangli oksidlanish pardasi kuzatiladi. Chizig‘i qo‘rg‘oshin-kulrang, jilosi esa kuchli metallik bo‘lib, mineral shaffof emas. Kristallning (010) yo‘nalishida mukammal yorilish xususiyati mavjud. Qattiqligi 2–2,5 oraliqida bo‘lib, pichoq bilan osongina kesiladi.



4-rasm. Antimonit kristallarining gabitusining tashqi ko‘rinishi.

Modda egiluvchan, zichligi 6,4 dan 6,8 g/sm³ gacha, va elektr tokini o‘tkazmaydi. Mikroskop ostida tekshirilganda silliqqlangan kesimlarda kuchsiz pleoxroizm hamda aniq anizotropiya kuzatiladi. Yorug‘likni qaytarish qobiliyati yuqori — taxminan 40% ni tashkil etadi.

Vismutinni boshqa o‘xshash sulfidli minerallardan ajratishda bir nechta diagnostik xususiyatlar muhim rol o‘ynaydi. Eng avvalo, uning sirtida sariq yoki rang-barang oksidlanish pardasi hosil bo‘lishi, shuningdek, (010) yo‘nalishdagi mukammal yorilishi, past qattiqligi va baland zichligi bilan ajralib turadi. Rentgenografik tadqiqotlarda mineral uchun xarakterli asosiy difraksion chiziqlar 3,50 Å, 3,08 Å va 2,79 Å da qayd etiladi.

Kimyoviy jihatdan vismutin nitrat kislota (HNO_3) ta’sirida oson eriydi, suyultirilgan suvli eritmalarda esa oq cho‘kma ($\text{Bi}(\text{OH})_3$) hosil qiladi. Ko‘mir ustida qizdirilganda esa vismutin oson eriydi, qaynaydi va sachraydi, natijada vismut donachasi (korolek) hosil bo‘ladi. Qaytaruvchi alangada esa ko‘mir yuzasida limon-sariq vismut oksidi qatlami paydo bo‘ladi — bu vismutinning eng muhim identifikatsion belgilaridan biridir.

Vismutin tashqi ko‘rinishi va ayrim fizik

belgilariga ko'ra antimonit, shuningdek sulfoantimonidlar hamda sulfovismutidlar guruhiga mansub minerallarga o'xshashlik ko'rsatadi. Biroq ularni bir-biridan fizik va kimyoviy belgilar asosida farqlash mumkin. Masalan, antimonit vismutga nisbatan kuchsizroq metallik yaltiroqlikka, pastroq zichlikka ega bo'lib, kaliy gidroksid (KOH) bilan reaksiyaga kirishganda uning sirtida sariq rangli oksid qoplama hosil qiladi. Vismutin esa bu xususiyatni ko'rsatmaydi va shu sababli uni sulfoantimonidlar hamda sulfovismutidlardan faqat kimyoviy tahlil yo'li bilan ishonchli ajratish mumkin.

Dunyo miqyosida vismutin konlarining eng yiriklari Boliviya hududida joylashgan bo'lib, ular sulfid-kassiterit formatsiyasiga mansub hisoblanadi. Shuningdek, muhim sanoat konlari Venesuelaning Shimoliy Dnepr–Pass mintaqasida (xususan, Varxos va Serro-de-Pasko tumanlarida) mavjud. Bundan tashqari, vismutin Ural tog'lari, Rossiyaning Sharqiy Sibir qismi va boshqa ayrim mintaqalarda ham aniqlangan.

Tabiatda oksidlanish jarayonlari kechadigan zonalarida vismutin kimyoviy jihatdan beqaror holatga o'tadi va natijada u vismut gidroksidi ($\text{Bi}(\text{OH})_3$) shaklida ikkilamchi hosilalarni vujudga keltiradi. Bunday o'zgarishlar, asosan, gidrotermal konlarning yuqori qismlarida yoki sirtga yaqin qatlamlarda kuzatiladi. Bu jarayon vismutinning oksidlanish muhitida parchalanishga moyilligini ko'rsatadi va natijada vismutning suvli birikmalari yoki oksid turlari hosil bo'ladi.

Vismutin tabiiy rudalar orasida vismut (Bi) olish uchun eng asosiy mineral manba hisoblanadi. Sanoat miqyosida foydali bo'lgan rudalar odatda kamida 0,5% vismut miqdorini o'z ichiga olishi lozim. Vismutin tarkibidagi vismut metallurgiya, kimyo, elektronika va farmatsevtika sohalarida keng qo'llanadigan vismut birikmalarini olishda xomashyo sifatida ishlatiladi. Shu bois ushbu mineral strategik ahamiyatga ega vismut resurslari tarkibiga kiradi.

Laboratoriya sharoitida vismutinni qizdirilgan vismut oksidi (Bi_2O_3) orqali vodorod sulfid (H_2S) gazini xlorid kislota (HCl) muhitida o'tkazish natijasida olish mumkin. Shuningdek, uni vismut va oltingugurtning qotishmasini eritish orqali ham sun'iy yo'l bilan sintez qilish mumkin. Ushbu jarayon natijasida tabiiy mineralning tarkibiga yaqin

bo'lgan vismut sulfid (Bi_2S_3) birikmasi hosil bo'ladi.

Vismutin gidrotermal jarayonlar natijasida shakllanadigan sulfidli rudalar tarkibida uchraydi. U ko'pincha kassiterit (SnO_2), molibdenit (MoS_2), sulfidli vismut minerallari, shuningdek kvars-volframit va sulfid-kassiterit formatsiyalar bilan assotsiatsiyalangan holda topiladi. Bunday konlar kvars-volframitli, sulfidli va kassiteritli geokimyoviy muhit uchun xosdir.



5-rasm.

Muhokama. O'zbekiston hududida vismutin minerallashuvi uchun eng tipik ob'ektlardan biri — Toshkent viloyatidagi “Ustarasoy” koni hisoblanadi. Ushbu konning geologik tuzilmasi va mineralogik tarkibi vismut-arsenopirit tipidagi gidrotermal tomir-metasomatik shakllanishga mansub bo'lib, unda vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinaït va boshqa vismut birikmalari aniqlangan. Konning asosiy rudali zonalarida kvarsli tomirlar bilan bog'liq bo'lib, bu yerda Bi, Pb, Cu, W, Ag, Se, Te kabi elementlarning assotsiatsiyasi kuzatiladi. Ustarasoy konidagi vismut minerallarining mavjudligi vismutning tabiiy paydo bo'lish sharoitlarini o'rganishda muhim amaliy ahamiyatga ega bo'lib, bu yerda olingan ma'lumotlar O'zbekiston vismutli konlarining metallogenik xususiyatlarini tavsiflashda asosiy manba sifatida xizmat qiladi



6-rasm. Ustarasoy koni Toshkent viloyatining Bo'stonliq tumani, dengiz sathidan balandligi 1162 metr. Joylashgan joyi : 41037'15" N 70 007'00"E.

Ustarasoy koni Toshkent viloyatining Bo'stonliq tumanida, Burchimulla va Yakkatut aholi punktlaridan taxminan 2 km sharqda, Koxu daryosining chap sohilida joylashgan. Mazkur kon O'zbekiston hududida sof vismutning birinchi bor aniqlangan joyi sifatida alohida ilmiy ahamiyatga ega. 1931 yilda geolog I.M. Yevfimenko tomonidan aynan shu kon hududida sof vismut minerali topilgan.



7-rasm. Ustarasoy koni G'arbiy Tyanshan tizmasi.

Geologik jihatdan Ustarasoy koni G'arbiy Tyanshan tizmasi doirasida joylashgan bo'lib, uning asosiy tog' jinslarini yuqori devon davrining famen bosqichiga oid ohaktoshlar tashkil etadi. Ushbu qatlamlar orasida uchta asosiy gorizont ajratiladi: krinoidli, braxiopodli va Ostansoy gorizontlari.

Konning geologik tuzilishi va rudali tanalari bir qator mutaxassislar E.P. Vorobyov, G.M. Vdrovlyanskiy, L.Z. Miroshnikov va boshqa olimlar tomonidan chuqur o'rganilgan. Ularning tadqiqotlari natijasida Ustarasoy konining shakllanish jarayoni vismut-arsenopirit (ya'ni vismut-mishyakli) gidrotermal tomir-metasomatik tipiga mansubligi aniqlangan.

Ustarasoy koni mineral tarkibiga ko'ra nihoyatda xilma-xildir; 50 dan ortiq birlamchi va ikkilamchi minerallar aniqlangan, ularning har biri aniq turlicha miqdoriy ahamiyatga ega. Birlamchi Bi minerallar guruhi ayniqsa o'ziga xosdir. Ushbu guruhi o'rganish natijasida konda nisbatan keng tarqalgan vismutinit va vismutdan tashqari, juda kam uchraydigan vismut sulfotuzlari ham mavjudligi aniqlandi.



8-rasm. Vismutit va tremolit.

Kondagi boshqa foydali qazilmalardan "vismut oxrasi" deb ataladigan ikkilamchi Bi minerallari ham e'tiborga loyiqdir. Ular, shuningdek, murakkab va kam o'rganilgan guruhi ifodalaydi. Konda o'zlashtirilgan pititsit-skorodit rudalari ham diqqatga sazovordir, ular 1937 yilda B.B. Tatarskiy tomonidan batafsil o'rganilgan.



9-rasm. Yaxlit pirit va pirrotin ma'dani.

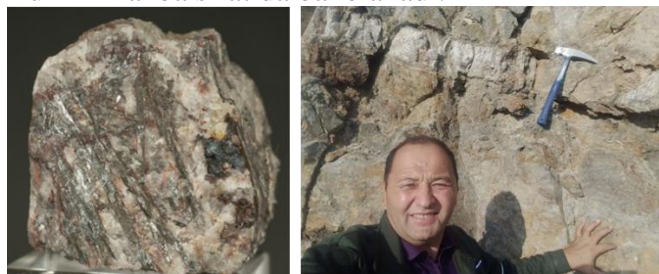
Ustarasoyning birlamchi minerallari orasida kon hosil bo'lish bosqichlariga mos keladigan turli yoshdagi to'rtta mineral assotsiatsiyani ajratib ko'rsatish mumkin: tremolit-kvarsli, kvars-vismutinli, arsenopiritli (asosiy sulfid kompleksi) va xlorit-karbonatli. Ustarasoyda bir xil turdagi minerallarning bir necha generatsiya mavjudligini qayd etish lozim.



10-ram. Ustarasoy konini 1215 gorizontida kvarsni muvofiq tomirlari vismutni prizmatik kristalli.

Mazkur konning mineralogik xususiyatlari shuni ko'rsatadiki, vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinaït va boshqa vismutli minerallar asosan kvars tomirlarida to'plangan. Bunday tomirlar tarkibida volfram (W), qo'rg'oshin (Pb), mis (Cu), kumush (Ag), selen (Se), tellur (Te), mishyak (As) va temir (Fe) elementlari bilan

birgalikda assotsiatsiyalangan holda uchraydi. Bu holat Ustarasoy konini vismutli sulfid rudalarining tipik namunasiga aylantiradi hamda O'zbekistonning vismut metallogeniyasi uchun muhim manba sifatida baholanadi.



11-rasm. Vismutinni ignasimon kristallari bornit Cu_5FeS_4 (qora rangda) bilan.

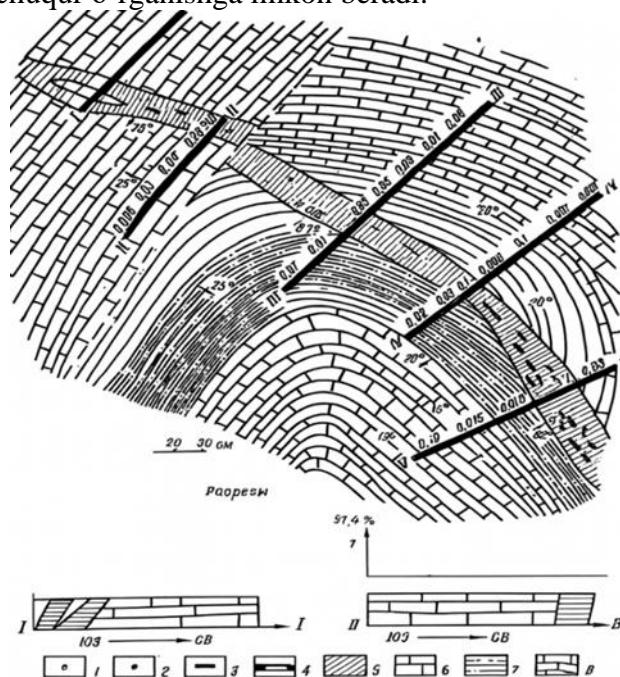
Ustarasoy konining geologik-sanoat tipi va rudali zonalarining morfologiyasi. Ustarasoy koni geologik tasnif bo'yicha vismut-arsenopiritli (vismut-mishyakli) gidrotermal tomir-metasomatik shakllanish turiga mansub hisoblanadi. Bu turdagi konlarda ruda tanalari asosan tektonik yoriqlar bilan bog'liq bo'lgan kvarsli tomirlar shaklida uchraydi. Tomirlarning konturlari aniq, ularning hosil bo'lishi D₃fr-fm yoshli karbonat-alevrolitli tog' jinslari gorizontlari bilan chambarchas bog'langan.

Tomirlar bilan chegaradosh hududlarda metasomatizm jarayonlari yaqqol namoyon bo'ladi. Ayniqsa, karbonatli va karbonat-alevrolitli jinslar orasida silisifikatsiya, dolomitlanish va qisman seritsitlanish belgilarini kuzatish mumkin. Ba'zi hollarda tomirlar D₃fm bosqichiga oid ohaktoshlar ichiga kirib boradi, bu esa ularning shakllanishi davomida geokimyoviy sharoitlarning o'zgaruvchan bo'lganligini ko'rsatadi.

Muvafiq tomirlar qatlamlanish yo'nalishiga mos ravishda joylashgan bo'lib, ular asosan D₃fr yoshli ohaktoshlar bilan chegaralanadi hamda D₃fr-fm davriga oid karbonat-terrigenn gorizontlar ichida rivojlangan. Ohaktoshlar ichida tomirlar yaqinidagi metasomatitlarning qalinligi odatda 5–20 sm, karbonat-alevrolitli jinslarda esa 0,2–1,5 m gacha yetadi. Bunday metasomatik o'zgarishlar tomirlarning rivojlanish bosqichida issiqlik va gidrotermal eritmalar ta'sirida sodir bo'lganini bildiradi.

Kesib o'tuvchi tomirlar esa odatda yirik tektonik yoriqlar bilan bog'liq bo'lib, ularning kesishuv joylarida muhim rudalanish to'planmalari

hosil bo'lgan. Bu hududlarda vismutli minerallar ko'proq miqdorda to'plangan bo'lib, kesishuvchi va muvofiq tomirlarning tuzilma tipi yuqorida qayd etilgan analoglarga mos keladi. Ushbu morfologik va litologik xususiyatlar Ustarasoy konining geologik shakllanish tarixini, shuningdek, gidrotermal jarayonlarning fazoviy-dinamik kechishini chuqur o'rganishga imkon beradi.



12-rasm. Ustarasoy konining mineralogik xaritasi va vismutning tarqalish xususiyatlari:

1 – pirit, 2 – sheelit, 3 – vismutinit, 4 – borozdali namunalalar va ularning Bi miqdori (raqamlar bilan ifodalangan), 5 – kvars tomirlari, 6 – aleurolitli va dolomitli ohaktoshlar zonasi, 7 – pelitolitsimon jinslar, 8 – dolomitli ohaktoshlar bo'ylab rivojlangan metasomatitlar.

Ustarasoy konining kvarsli tomirlarida asosan vismutin (Bi_2S_3) va kobellit minerallari ustunlik qiladi. Ular bilan bir qatorda kamroq miqdorda kozalit, vismutotintinait hamda saharovait minerallari ham aniqlangan. Ushbu asosiy birikmalarga qo'shimcha tarzda ikkilamchi darajadagi vismutli birikmalar — jozeit, galenobismutit va boshqa sulfo- yoki oksidli minerallar kiradi. Bunday tarkib konning vismutga boy rudali zonalarini xarakterlaydi.

Kvars tomirlarining paragenetik elementlari orasida volfram (W), qo'rg'oshin (Pb), mis (Cu), kumush (Ag), selen (Se), tellur (Te), oltingugurt (S), mishyak (As), temir (Fe), oltin (Au) hamda platina

guruhi metallari aniqlangan. Bu elementlar o'zaro genetik bog'liq bo'lib, gidrotermal sharoitda vismut bilan birgalikda cho'kkanligi kuzatiladi.

Elementlar o'rtasidagi nisbiy miqdoriy munosabat o'rta hisobda $Bi : Pb : Cu : W = 1 : 0,4 : 0,4 : 0,01$ ni tashkil etadi. Qo'rg'oshinning miqdori turli namunalarda bir necha mingdan 6,3% gacha o'zgaradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, namunalarning uchdan bir qismida Pb tarkibi 1% dan yuqori bo'lib, bu vismutning yuqori konsentratsiyasi bilan bevosita bog'liq.

Bunday paragenetik komplekslar Ustarasoy konining vismut-arsenopiritli gidrotermal shakllanish tipiga xos bo'lib, rudalarning metallogenik rivojlanish bosqichlarini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

12-rasmda Ustarasoy konidagi kvars–vismutli tomirlarning mineralogik xaritasi hamda vismut elementining tomir va unga tutash metasomatik zonalarda taqsimlanish xarakteri aks ettirilgan.

Ustarasoy konining ma'danlarni qamrab oluvchi tog' jinslari va ularning yoshi. Ustarasoy konining ma'danli maydoni Koksuv antiklinal tuzilmasi doirasida joylashgan bo'lib, u Chavota gumbazini o'z ichiga oladi. Antiklinal strukturaning yadrosi C_{1-2} davriga oid diorit–monzonit–granodiorit intruziyalari bilan to'lgan bo'lib, ba'zi joylarda diabazli porfir daykalari ham uchraydi. Ushbu intruziv kompleks konning geologik rivojlanishida asosiy magmatik omil sifatida qaraladi.

Maydonning pastki qatlamlari Pz_1 davriga oid slanets va qumtoshlardan iborat bo'lib, ularning ustki qismi yuqori devon (D_3) davriga mansub yotqiziqlar bilan almashinadi. Bu qatlamlar tarkibida konglomeratlar, qumtoshlar, aleurolitli qumtoshlar hamda karbonatli qumtoshlar gorizontlari ajratilgan. Shu jumladan, o'tish bosqichi sifatida D_3fr-fm gorizonti aniqlangan.

Bundan tashqari, kon kesimida D_3fm yoshli ohaktoshlar, gil tasmlari bilan boyitilgan ohaktosh qatlamlari (C_{1tost}), qumtosh–karbonatli yotqiziqlar (C_{1tibr}) hamda dolomitlar (C_{1trv}) qatlamlari kuzatiladi. Bu qatlamlarning navbatma-navbat joylashuvi kon hududida litologik va fasiyal murakkablikning yuqori darajasini ko'rsatadi.

Tog' jinslarining bunday stratigrafik ketma-ketligi kon hududining metasomatik o'zgarishlarga moyilligini, shuningdek, gidrotermal rudalanish

jarayonlarining tarqalish chuqurligini belgilovchi asosiy geologik omil sifatida ahamiyat kasb etadi.

Ustarasoy konining strukturaviy-geologik xususiyatlari. Ustarasoy konining asosiy strukturaviy elementlari uchta yirik uzilma (tektonik buzilish zonasi)dan iborat bo'lib, ular shimoli-g'arb yo'nalishda cho'zilgan va tik yo'nalishda joylashgan normal yoriqlar tizimini tashkil etadi. Ushbu yoriqlar kon maydonini turlicha darajada mineralizatsiyalangan uchta asosiy uchastkaga — shimoliy, markaziy va janubiy zonalarga ajratadi.

Shimoliy Ustarasoy yorig'i konning shimoliy chegarasini belgilab beradi. O'rta Ustarasoy yorig'i esa shimoliy va markaziy qismlarni ajratib turuvchi asosiy boshqaruvchi struktura sifatida katta geologik ahamiyatga ega. Aynan shu zonaga tutash hududlarda eng intensiv rudalanish jarayonlari kechgan bo'lib, konning deyarli barcha mineral komplekslari shu qismda shakllangan.

Janubiy Ustarasoy tashlamasi esa konning markaziy qismini janubiy tomondan chegaralaydi va butun ma'danli maydonni ajratib turadi. Bu zona ikki xil mineralogik tipdagi rudalarni o'z ichiga oladi:

1. Ustarasoy tipidagi — kvarsli tomirlar tarkibida sheelit ($CaWO_4$) va qo'rg'oshin–vismutli sulfotuzlar bo'lgan vismutinit–arsenopirit–pirrotit–kvars assotsiatsiyasi;

2. Burchimulla va Kulma tipidagi — vismutinit–arsenopirit rudalari.



13-rasm. Perudagi San-Gregorio koni.

Bu ikki shakllanish turi gidrotermal sulfidli sistemalar evolyutsiyasining turli bosqichlarini ifodalaydi va Ustarasoy konining metallogenik rivojlanish tarixini aniqlashda muhim ilmiy ahamiyatga ega. Mazkur konlar Perudagi San-Gregorio koni (rudadagi vismut miqdori 3% gacha) bilan o'xshash geologik-genetik xususiyatlarga ega bo'lib, O'zbekistonning Burchimulla–Ustarasoy

kon tizimi ham shu turdagi shakllanishlarga mansubdir.

Tabiiy vismut manbalari bilan bir qatorda, sanoat ishlab chiqarish jarayonida ham vismut tarkibli chiqindilar hosil bo'ladi. O'zbekiston sharoitida bunday ikkilamchi vismut manbalarining eng muhimlaridan biri "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ hisoblanadi. Kombinatda mis ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan qo'rg'oshin-vismutli shlamlar va konvertor changlari vismut olish uchun istiqbolli texnogen xomashyo manbasi bo'lib xizmat qiladi (1-jadval).

1-jadval.

Qo'rg'oshin-vismutli shlam va konvertor changlarining o'rtacha kimyoviy tarkibi

T/r	Mineral	Pb, %	Cu, %	Zn, %	Au, %	Ag, %	Sum, %	Bi, %
1	Qo'rg'oshin vismutli shlam	35-42	3-7	0.2-0.5	8-20	250-360	10-13	0.19-2
2	Konvertor changi	45-51	1-1.9	7-9	2-3	180-202	0.1-0.3	0.5-1

Qo'rg'oshin-vismutli shlam (QVSh) tarkibida qo'rg'oshin, mis, oltin, kumush, vismut va boshqa qimmatbaho elementlarning yuqori miqdorda mavjudligi ularni qayta ishlashni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq qiladi. Ushbu komponentlarning konsentratsiyasi ba'zan tabiiy rudalardagi tarkibdan ham yuqori bo'lgani sababli, ularni metallurgik jarayonga jalb etish dolzarb masala hisoblanadi.

QVSh tarkibidagi qo'rg'oshin sulfatini erituvchi reaktiv sifatida natriy xlorid eritmalaridan foydalanish imkoniyati o'rganilgan. Tadqiqotlar $\text{PbSO}_4 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ tizimida olib borilgan bo'lib, quyidagi kimyoviy o'zgarish asosida jarayon amalga oshadi:



Natriy xloridli eritmalar bilan yuvish jarayonida hosil bo'lgan filtrlash qoldiqlari tarkibida mis ($\text{Cu} = 0,39\%$), rux ($\text{Zn} = 0,45\%$), vismut ($\text{Bi} = 0,46\%$), oltin ($\text{Au} = 12,4 \text{ g/t}$) va kumush ($\text{Ag} = 330 \text{ g/t}$) kabi komponentlar aniqlangan. Bunday sharoitda kimyoviy reaksiyalar kompleks ravishda kechadi, bu esa reaktiv sarfini oshiruvchi omil bo'lishi mumkin.

Qo'rg'oshinni eritmaga o'tkazishning maksimal darajasi 95°C haroratda va 300 g/l konsentratsiyadagi natriy xlorid eritmasi ishlatilganda kuzatilgan. Eritmaning konsentratsiyasini 150 g/l gacha kamaytirib, jarayonning ikkinchi bosqichi o'tkazilganda qo'rg'oshin ajralish darajasi $85,3\%$ ni tashkil etgan. Bu bosqichda

qo'rg'oshin asosan xlorid komplekslari shaklida eritmaga o'tadi.

Kimyoviy tahlillar shuni ko'rsatadiki, xloridli eritma bilan qayta ishlash jarayonida harorat va eritma konsentratsiyasi oshgani sari qattiq qoldiqlarda qo'rg'oshin miqdori kamayadi, biroq vismut konsentratsiyasi ikki baravar ortadi. Shu bilan birga, qoldiqlarda oltin va kumush miqdorining oshishi kuzatilgan, bu esa qimmatbaho metallarning boyitilishi uchun qo'shimcha imkoniyat yaratadi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, xloridli eritmalar yordamida QVSh ni qayta ishlash texnologik jihatdan istiqbolli yo'nalish bo'lib, u qo'rg'oshin va vismutni ajratib olish bilan birga qimmatbaho metallarning konsentratsiyasini oshirish imkonini beradi.

Xulosa. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida O'zbekiston hududida vismut elementining tabiiy va texnogen manbalari hamda ularni qayta ishlash imkoniyatlari chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, Toshkent viloyatidagi Ustasoy koni mamlakatdagi eng muhim tabiiy vismut manbalaridan biri bo'lib, u vismut-arsenopiritli gidrotermal tomir-metallogenik shakllanish turiga mansubdir. Bu konning mineralogik tarkibida vismutin, kobellit, kozalit, vismutotintinaït kabi vismutli minerallar aniqlanib, ularning Bi, Pb, Cu, W, Ag, Se va Te elementlari bilan genetik bog'liqligi isbotlandi. Shuningdek, "Olmaliq KMK" AJ metallurgiya sexida hosil bo'ladigan qo'rg'oshin-vismutli shlamlar va konvertor changlari tarkibida Bi, Pb, Cu, Au va Ag kabi qimmatbaho elementlarning sezilarli miqdorda mavjudligi aniqlandi. NaCl eritmasida xloridli eritish tajribalari natijasida 95°C haroratda va 300 g/l konsentratsiyada qo'rg'oshinning eritmaga o'tish darajasi $85,3\%$, vismut konsentratsiyasi esa ikki baravar oshgani qayd etildi.

Ushbu natijalar vismutni tabiiy rudalar bilan bir qatorda texnogen chiqindilardan ham samarali ajratib olish imkonini beradi. Natriy xloridli eritmalar asosida ishlab chiqilgan texnologik yondashuv vismut, qo'rg'oshin va qimmatbaho metallarni kompleks qayta ishlash uchun istiqbolli yo'nalish bo'lib, u O'zbekiston metallurgiya sanoatida resurslardan oqilona foydalanishning ilmiy asosini yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Xasanov, A. S. (2025). O'zbekiston sharoitida vismut ishlab chiqarish xomashyo bazasi va ulardan vismutni ajratib olish imkoniyatlarini tadqiq qilish. *Gornyy vestnik Uzbekistana*, (1), 45–52.
- [2] Смирнов, В. И. (1950). *Металлургия меди и никеля*. Москва: Metallurgizdat.
- [3] Ruddle, R. W. (1959). *The physical chemistry of copper smelting*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [4] Vorobyov, E. P., & Vdovlyanskiy, G. M. (1968). Гидротермальные месторождения висмута Западного Тянь-Шаня. *Геология рудных месторождений*, (4), 32–43.
- [5] Shcherba, G. N., & Kochkin, Yu. N. (1978). *Висмутовые месторождения СССР*. Москва: Недра.
- [6] Biswas, A. K., & Davenport, W. G. (2011). *Extractive metallurgy of copper* (5th ed.). Oxford: Elsevier Science.
- [7] Habashi, F. (1997). *Handbook of extractive metallurgy* (Vol. 2, pp. 987–1024). Weinheim: Wiley-VCH.
- [8] Wang, S., & Wesstrom, B. (2004). Recovery of bismuth from copper smelter dusts: Chloride leaching and cementation. *Hydrometallurgy*, 73(3–4), 241–248.
- [9] Кудрин, В. А., & Шумаков, Н. С. (2012). Переработка свинцово-висмутовых шламов медеплавильного производства. *Цветные металлы*, (7), 54–59.
- [10] Ozbayoglu, G., & Atalay, M. U. (2003). Beneficiation of bismuth from lead–zinc ores and by-products. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 24(2), 145–167.