

INGICHKA BOYITISH FABRIKASIDA TO‘PLANGAN CHIQINDILARI VA UzTMK GIDROMETALLURGIK KEKLARINING GRAVITATSION BOYITILUVCHANLIGINI QIYOSIY BAHOLASH

*Xasanov Adham Amanqulovich¹, Tolibov Behzod Ibrohimovich² Imankulova
Gulnoza Yerkin qizi³*

*¹[Olmaliq davlat texnika insituti “Kon-metallurgiya” fakulteti dekani, Texnika
fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Dotsent]
[adhamhasanov122@gmail.com]*

*²[O‘zbekiston Respublikasi Ta’lim va ilm-fan vazirligi huzuridagi Innovatsion
rivojlanish agentligi bosh mutaxassisi, Texnika fanlari doktori, dotsent]
[intelekt16@gmail.com]*

*³[Olmaliq davlat texnika insituti “Kon-metallurgiya” fakulteti “Foydali qazilmalarni
boyitish” mutaxassisligi 1-bosqich magistranti]
[guliyerkinova@gmail.com]*

Annotatsiya. Maqolada Ingichka boyitish fabrikasining to‘plangan chiqindilari (0,064% WO₃) va «UzTMK» AJ NPO avtoklav-soda tanlash keklarining gravitatsion boyitiluvchanligi og‘ir suyuqliklarda zichlik bo‘yicha fraksiyalash asosida baholangan. Chiqindilarning -3+0,044 mm sinfida volframning 48,7% i 4,48% chiqishdagi >3,6 g/sm³ fraksiyada, keklarning -1+0,5 mm sinfida esa atigi 14,6% i 0,97% chiqishdagi fraksiyada to‘plangani aniqlandi. Sheelit va gedenbergit uchun konsentratsiya mezoni 2,04 ga tengligi og‘ir piroksenlarning gravitatsion ajratish selektivligini cheklashini ko‘rsatdi. Chiqindilar uchun gravitatsion boyitishda erishiladigan nazariy ajratib olish chegarasi taxminan 70% ekanligi asoslandi.

Kalit so‘zlar: volfram, sheelit, texnogen chiqindi, kek, gravitatsion boyitiluvchanlik, og‘ir suyuqlik, konsentratsiya mezoni, Ingichka boyitish fabrikasi.

Аннотация. В статье оценена гравитационная обогатимость лежалых хвостов Ингичкинской обогатительной фабрики (0,064% WO₃) и кеков автоклавно-содового выщелачивания НПО АО «УзТМК» по результатам фракционирования в

тяжёлых жидкостях. Установлено, что в классе $-3+0,044$ мм хвостов 48,7% вольфрама сосредоточено во фракции $>3,6$ г/см³ с выходом 4,48%, тогда как в классе $-1+0,5$ мм кека — лишь 14,6% при выходе 0,97%. Критерий концентрации для пары шеелит–геденбергит, равный 2,04, показывает, что тяжёлые пироксены ограничивают селективность гравитационного разделения. Обоснован теоретический предел извлечения вольфрама из хвостов гравитационными методами — около 70%.

Ключевые слова: вольфрам, шеелит, техногенные отходы, кек, гравитационная обогатимость, тяжёлая жидкость, критерий концентрации, обогатительная фабрика Ингичка.

Abstract. The paper evaluates the gravity amenability of the old tailings of the Ingichka concentrator (0.064% WO₃) and of the autoclave-soda leach cakes of UzTMK by heavy-liquid density fractionation. In the $-3+0.044$ mm class of the tailings, 48.7% of the tungsten reports to the >3.6 g/cm³ fraction at 4.48% mass yield, whereas in the $-1+0.5$ mm class of the cake only 14.6% reports to that fraction at 0.97% yield. A concentration criterion of 2.04 for the scheelite–hedenbergite pair shows that dense pyroxenes limit gravity separation selectivity. The theoretical ceiling of gravity recovery from the tailings is estimated at about 70%.

Keywords: tungsten, scheelite, technogenic waste, cake, gravity amenability, heavy liquid, concentration criterion, Ingichka concentration plant.

Kirish. Dunyoda yiliga taxminan 50 ming tonna volfram qazib olinadi, boy rudali konlar zaxirasi esa qisqarib bormoqda [1,2]. Shu sababli boyitish fabrikalarining to‘plangan chiqindilari va gidrometallurgik keklar ikkilamchi volfram xomashyosi sifatida ahamiyat kasb etmoqda [3, 4].

Ingichka konining ikki chiqindi omborida 14,66 mln t chiqindi to‘plangan, ulardagi WO₃ ning o‘rtacha miqdori 0,06% ni tashkil etadi [5]. «UzTMK» AJ NPO shlam xo‘jaligida esa sheelit konsentratlarini avtoklav-soda usulida tanlashdan qolgan 0,5 mln t kek yig‘ilgan bo‘lib, unda taxminan 7,5 ming t WO₃ mavjud [6].

Ilgari bu xomashyo uchun vintli separator, cho‘ktirish mashinasi va konsentratsion stoldan iborat sxemalar sinab ko‘rilgan [6–8]. Biroq erishilgan ajratib olish darajasini

xomashyoning o‘zi qanchagacha imkon berishi, ya’ni gravitatsion boyitishning nazariy chegarasi baholanmagan. Bu chegara noma’lum bo‘lsa, sxemani takomillashtirishdan kutiladigan foydani asoslab bo‘lmaydi.

Maqolaning maqsadi — og‘ir suyuqliklarda fraksiyalash ma’lumotlari va mineral tarkib asosida Ingichka chiqindilari va UzTMK keklarining gravitatsion boyitiluvchanligini qiyosiy baholash hamda ajratib olishning nazariy chegarasini aniqlash.

Tadqiqot obyekti va usullari. Tadqiqot obyekti — Ingichka boyitish fabrikasining 1- va 2-chiqindi omborlaridan olingan to‘plangan chiqindilar hamda UzTMK NPO shlam maydonidan olingan avtoklav-soda tanlash keki. Har bir material bo‘yicha 500 kg dan namuna olinib, konus-halqa usulida aralashtirildi va kvartovka qilib qisqartirildi.

Kimyoviy tarkib «Philips» PW-1404 rentgenofluoressent spektrometrida, oltingugurt va uglerod LECO usulida aniqlandi. Mineral tarkib gravitatsion-magnit fraksiyalash va shliflarni mikroskopda o‘rganish orqali, kekdaagi volfram shakllari esa SEM-EDS (Zeiss EVO MA 10, Oxford Instruments) yordamida o‘rganildi.

Gravitatsion boyitiluvchanlik chiqindilarning $-3+0,044$ mm va kekning $-1+0,5$ mm sinflari uchun og‘ir suyuqliklarda 2,9; 3,2 va 3,6 g/sm³ zichlik chegaralarida fraksiyalash bilan aniqlandi. Har bir fraksiyaning chiqishi γ_i va volfram miqdori β_i bo‘yicha ajratib olish quyidagicha hisoblandi:

$$\varepsilon_i = \gamma_i \cdot \beta_i / \sum(\gamma_i \cdot \beta_i) \cdot 100\%, \quad (1)$$

Og‘ir fraksiyalarning kumulyativ chiqishi, miqdori va ajratib olinishi zichlik kamayishi tartibida yig‘ib borildi; boyitish darajasi $K = \beta/\alpha$ ko‘rinishida hisoblandi, bu yerda α — sinfdagi o‘rtacha miqdor.

Gravitatsion ajratish imkoniyati konsentratsiya mezoni bo‘yicha baholandi [9]:

$$CC = (\rho h - \rho f) / (\rho l - \rho f), \quad (2)$$

bu yerda ρh — og‘ir mineral (sheelit, 6,1 g/sm³), ρl — yengil mineral, ρf — muhit (suv, 1,0 g/sm³) zichligi. $CC > 2,5$ bo‘lganda ajratish 0,075 mm gacha, 1,75–2,5 oralig‘ida esa taxminan 0,15 mm gacha samarali hisoblanadi [9]. Miqdorlar fraksiyalash jadvallarida W (%) da berilgan; WO₃ ga o‘tkazish uchun 1,261 koeffitsiyenti qo‘llanildi.

Natijalar va muhokama. Moddiy tarkib. Ingichka chiqindilarining asosiy komponentlari: SiO_2 — 48,55%, CaO — 18,95%, Fe_2O_3 — 14,70%, Al_2O_3 — 3,96%, CO_2 — 6,64%, S — 1,28%, WO_3 — 0,066%. Volfram asosan sheelit (0,12%) ko‘rinishida bo‘lib, uning kvarslashgan kalsit bilan mayda o‘simtalari va flotatsiyalanmaydigan volframit-gyubnerit bilan birga uchraydi.

Kekda WO_3 miqdori 0,5–2,5%, SiO_2 — 38–45%, CaO — 17–30%, Fe — 5–12%. SEM-EDS tahlili volframning parchalanmagan sheelit va eritmada qayta cho‘kkan sun‘iy kalsiy volframati shaklida ekanini ko‘rsatdi; ayrim zarrachalarda W 7–8%, Mo 4,7–6,5% gacha qayd etildi.

Konsentratsiya mezoni. Chiqindilarda yengil kvars (16,0%) va plagioklaz (14,0%) bilan birga zich piroksenlar ham ko‘p: gedenbergit 18,2%, avgit 12,6%, rogovaya obmanka 6,5%. 1-jadvalda sheelit bilan asosiy jins minerallari jufti uchun CC qiymatlari keltirilgan.

1-jadval

Sheelit ($6,1 \text{ g/sm}^3$) bilan jins minerallari uchun konsentratsiya mezoni

Mineral	Zichlik, g/sm^3	Chiqindidagi miqdori, %	CC	Ajratishning quyi chegarasi
Kvars	2,65	16,0	3,09	0,075 mm gacha
Kalsit	2,71	9,8	2,98	0,075 mm gacha
Vollastonit	2,9	4,9	2,68	0,075 mm gacha
Rogovaya obmanka	3,2	6,5	2,32	$\approx 0,15 \text{ mm}$
Gedenbergit	3,5	18,2	2,04	$\approx 0,15 \text{ mm}$
Pirrotin	4,7	1,8	1,38	faqat yirik sinflarda
Pirit	5,0	0,5	1,27	faqat yirik sinflarda

Jinsning taxminan 40% ini tashkil etuvchi piroksen va amfibollar uchun CC 2,0–2,3 ni tashkil etadi. Demak, $\approx 0,15 \text{ mm}$ dan mayda sinflarda sheelitni ulardan gravitatsion ajratish keskin yomonlashadi. Sulfidlar (pirrotin, pirit) esa gravitatsion konsentratga sheelit bilan birga o‘tadi va keyinchalik sulfid flotatsiyasi bilan ajratishni talab qiladi.

Chiqindilarning boyitiluvchanligi. 2-jadvalda Ingichka chiqindilarining $-3+0,044 \text{ mm}$ sinfini fraksiyalash natijalari berilgan.

2-jadval

Ingichka chiqindilari, -3+0,044 mm sinfi (o‘rtacha miqdor 0,051% W; 0,064% WO₃)

Zichlik fraksiyasi, g/sm ³	Chiqish, %	W, %	W ajratilishi, %	Kumulyativ chiqish, %	Kumulyativ W, %	Kumulyativ ajratilish, %	K
>3,6	4,48	0,55	48,7	4,48	0,550	48,7	10,9
3,2–3,6	5,47	0,12	13,0	9,95	0,314	61,7	6,2
2,9–3,2	13,31	0,03	7,9	23,26	0,151	69,6	3,0
<2,9	76,74	0,02	30,4	100,0	0,051	100,0	1,0

Volframning deyarli yarmi (48,7%) massaning atigi 4,48% ini tashkil etuvchi eng og‘ir fraksiyada to‘plangan. Biroq 30,4% W 2,9 g/sm³ dan yengil fraksiyada qoladi: bu kvars va kalsit bilan ochilmagan mayda o‘simtalardagi sheelitdir. Uni bu yiriklikda hech qanday gravitatsion apparat ajrata olmaydi.

Shunday qilib, -3+0,044 mm sinfi uchun gravitatsion ajratib olishning nazariy chegarasi $\approx 70\%$ ni tashkil etadi (2,9 g/sm³ dagi kumulyativ ajratilish 69,6%; 1-rasm). Cho‘ktirish mashinasi va konsentratsion stol sxemasida erishilgan 69,75% [7] amalda shu chegaraga tengdir. Bundan muhim amaliy xulosa kelib chiqadi: ajratib olishni yana oshirish uchun apparatni almashtirish emas, yengil fraksiyadagi o‘simtalarni qo‘shimcha maydalab ochish kerak.

Kekning boyitiluvchanligi. 3-jadvalda kekning -1+0,5 mm sinfi bo‘yicha natijalar keltirilgan.

3-jadval

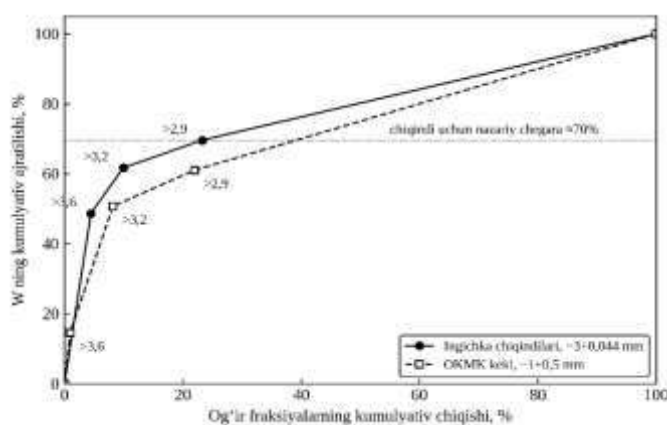
UzTMK keki, -1+0,5 mm sinfi (o‘rtacha miqdor 0,040% W; 0,050% WO₃; sinf chiqishi 26,78%)

Zichlik fraksiyasi, g/sm ³	Chiqish, %	W, %	W ajratilishi, %	Kumulyativ chiqish, %	Kumulyativ W, %	Kumulyativ ajratilish, %	K
>3,6	0,97	0,60	14,6	0,97	0,600	14,6	15,0

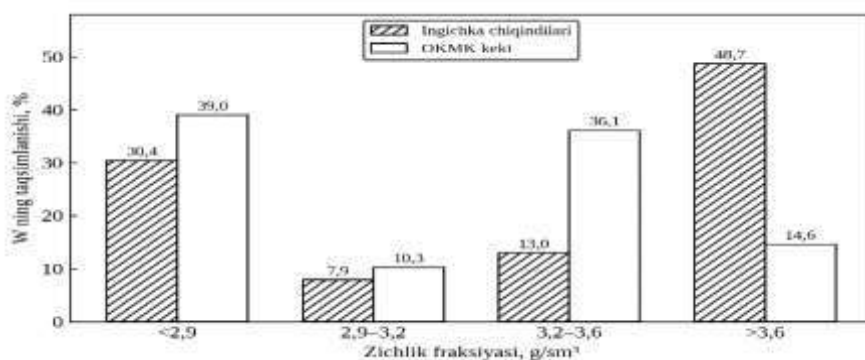
Zichlik fraksiyasi, g/sm ³	Chiqish, %	W, %	W ajratilishi, %	Kumulyativ chiqish, %	Kumulyativ W, %	Kumulyativ ajratilish, %	K
3,2–3,6	7,22	0,20	36,1	8,19	0,247	50,7	6,2
2,9–3,2	13,77	0,03	10,3	21,96	0,111	61,0	2,8
<2,9	78,04	0,02	39,0	100,0	0,040	100,0	1,0

Kekda volfram boshqacha taqsimlangan: eng og‘ir fraksiyada atigi 14,6%, 3,2–3,6 g/sm³ oraliq fraksiyada esa 36,1% (2-rasm). Bu SEM-EDS ma’lumotlariga mos keladi: sun’iy kalsiy volframati jins zarrachalari sirtida yupqa qatlam hosil qiladi va ularning zichligini sof sheelitgacha oshirmaydi.

Bundan tashqari, -1+0,5 mm sinfdagi miqdor (0,050% WO₃) kekning o‘rtacha miqdoridan (0,5–2,5% WO₃) 10–50 marta past. Demak, kekda volframning asosiy qismi mayda sinflarda joylashgan. Kek uchun sxema yirik sinfni oldindan chiqarib tashlashdan va mayda sinflarni alohida boyitishdan boshlanishi kerak.



1-rasm. Gravitatsion boyitiluvchanlik egri chiziqlari (raqamlar — zichlik chegarasi, g/sm³)



2-rasm. Volframning zichlik fraksiyalari bo'yicha taqsimlanishi

Ikki material qiyosi. Bir xil kumulyativ chiqishda ($\approx 22\text{--}23\%$) chiqindilarda W ning $69,6\%$ i, kekda $61,0\%$ i ajratiladi, ammo eng og'ir fraksiya bo'yicha farq uch barobardan ortiq ($48,7\%$ ga $14,6\%$). Chiqindilar uchun yuqori sifatli konsentratni bitta zichlik pog'onasida olish mumkin. Kekda esa oraliq zichlikdagi o'simtalar ko'p bo'lgani uchun avval yuqori ajratishga yo'naltirilgan dag'al boyitish, so'ngra tozalash operatsiyalari maqsadga muvofiq.

Xulosa

1. Ingichka chiqindilarining $-3+0,044$ mm sinfida volframning $48,7\%$ i $4,48\%$ chiqishdagi $>3,6$ g/sm³ fraksiyada to'plangan ($K = 10,9$), bu sinf gravitatsion boyitishga yaroqli.
2. Chiqindilarda W ning $30,4\%$ i $<2,9$ g/sm³ fraksiyada ochilmagan o'simtalarda qoladi; shu sababli gravitatsion ajratib olishning nazariy chegarasi $\approx 70\%$ ni tashkil etadi. Cho'ktirish mashinasi va konsentratsion stol sxemasida erishilgan $69,75\%$ bu chegaraga yetgan; keyingi o'sish faqat qo'shimcha maydalash orqali mumkin.
3. Sheelit–gedenbergit jufti uchun $CC = 2,04$, shuning uchun $-0,15$ mm dan mayda sinflarda gravitatsion ajratish selektivligi pasayadi; sulfidlar ($CC = 1,27\text{--}1,38$) konsentratni ifloslantiradi va flotatsion tozalashni talab qiladi.
4. UzTMK kekining $-1+0,5$ mm sinfida volframning faqat $14,6\%$ i eng og'ir fraksiyada, $36,1\%$ i esa $3,2\text{--}3,6$ g/sm³ oraliq fraksiyada; sun'iy kalsiy volframati jins sirtida qoplama hosil qiladi. Kek uchun sxemani sinflarga ajratish va mayda sinflarni alohida boyitishdan boshlash tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Зеликман А.Н., Никитина Л.С. Вольфрам. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.

2. Koutsospyros A., Braida W., Christodoulatos C., Dermatas D., Strigul N. A review of tungsten: from environmental obscurity to scrutiny // *Journal of Hazardous Materials*. – 2006. – Vol. 136, № 1. – P. 1–19.
3. Санакулов К.С. Концептуальные основы решения проблем переработки техногенного сырья // *Кончилик хабарномаси*. – 2019. – № 2. – С. 42–56.
4. Уздебаева Л.К. Лежалые хвосты обогащения – дополнительный источник получения металлов // *Цветные металлы*. – 1999. – № 4. – С. 30–32.
5. Руднев С.В., Потапов В.А., Салихова Н.В., Канцель А.А. Исследования по выбору оптимальной технологической схемы гравитационного обогащения техногенных образований Ингичкинской обогатительной фабрики // *Горный вестник Узбекистана*. – 2008. – № 3. – С. 80–83.
6. Mutalova M.A., Khasanov A.A., Ibragimov I.S., Masidikov E.M. Development of Technology for Extraction of Tungsten-Containing Industrial Product from Slurry Cakes // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – 2019. – Vol. 6, Issue 12. – P. 12334–12338.
7. Mutalova M.A., Khasanov A.A., Masidikov E.M. Extraction of a Tungsten-Containing Product from the Left Tails of the Ingichin Factory // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – 2020. – Vol. 7, Issue 5. – P. 13850–13856.
8. Ежков А.Б., Шарипов Х.Т., Бельков К.Л. Вовлечение в переработку лежалых вольфрамсодержащих хвостов Ингичкинского рудника // *Тезисы докладов III Конгресса обогатителей стран СНГ*. – М.: МИСиС, 2001. – Т. 1. – С. 47–54.
9. Wills B.A., Finch J.A. *Wills' Mineral Processing Technology*. 8th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. – 498 p.
10. Берт Р.О. *Технология гравитационного обогащения* / Пер. с англ. – М.: Недра, 1990. – 574 с.
11. Леонов С.Б., Белькова О.Н. *Исследование полезных ископаемых на обогатимость*. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 631 с.
12. Изюитко В.М. *Технологическая минералогия вольфрамовых руд*. – Л.: Наука, 1989. – 232 с.