



Қазақстан Республикасының білім және ғылым министірлігі
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті
Металлургия кафедрасы

«Сирек металдар металлургиясы» пәні оқу бойынша

ӘДІСТЕМЕЛІК НҰСҚАУЛЫҚТАР

5B070900 – Металлургия
мамандықтарының студенттеріне арналған

Павлодар

Әдістемелік нұсқаулықты
бекіту парағы



Нысан
ПМУ ҰСН

Пфейфер

БЕКІТЕМІН
ОІЖ проректор
_____ Н.

Э.

20__ ж. «_____»

Құрастырушы: аға оқытушы Бакиров А. Г.

Металлургия кафедрасы

ӘДІСТЕМЕЛІК НҰСҚАУЛЫҚТАР

пәнді оқуға арналған

«Сирек металдар металлургиясы» пәні бойынша

5B070900 – Металлургия мамандықтарының студенттеріне арналған

Кафедра отырысында **ұсынылған**
20__ ж. «_____» _____ хаттама №_____

Кафедра меңгерушісі _____ М. М. Сүйіндіков
(қолы)

ОӘК **құпталған** ММЖЖК факультеті
«_____» _____ 20__ ж., №_____ хаттама

ОӘК төрағасы _____ Ж. Е. Ахметов
(қолы)

ҚҰПТАЛҒАН:
ЖжӘҚБ бастығы _____ Е. Н. Жуманкулова «_____» _____ 20__ ж.
(қолы)

Университетінің оқу–әдістемелік кеңесімен **құпталған**
«_____» _____ 20__ ж., №_____ хаттама

Мазмұны

	Кіріспе	4
1	Пәннің мазмұны	5
2	Пәні бойынша қорытынды бақылауға арналған сұрақтар	11
	Әдебиет	14

Кіріспе

Пәнді оқыту үшін оқу жоспарына байланысты негізінен дәріс, тәжірибе сабақтар және тәлімгерлердің өздік жұмыстары қарастырылуы мүмкін.

Дәрістік сабақтар пән бойынша оқытушылар түрлерінің студенттерде жүйелі түріндегі білім қалыптастыратын, пәннің негізін құрайтын жетекші түрі болып саналады. Дәрістік сабақтар тәжірибелік сабақтарға бағыт-бағдар беруші рөл атқарады.

Дәрістік сабақтардың басты мақсаты – студенттердің бойында пән бойынша түсінік қалыптастыру, техникалық білім алуды қамтамасыз ету және пәннің қолданбалы бөлімнен іс-жүзіндегі дағдылар қалыптастыру.

Тәжірибе сабақтарын тиісті деңгейде басқару мен жүргізу үшін сәйкес әдістемелік нұсқаулар болуы керек.

Тәлімгердің өздік жұмысын оқытушылардың бақылаумен жүзеге асады.

Университетте студенттерді оқыту процесі кредитті жүйе арқылы жүргізіледі. Кредитті жүйе арқылы пәнді оқыту – үлкен көлемді өздік жұмыстарды атқару болып табылады.

Студенттің пәнді оқу жұмысына мыналар кіреді:

- дәріс алу, тәжірибе сабақтарына дайындалу;
- дәріс алу, тәжірибе сабақтарына және СОӨЖ орындау сабақтарына қатысу.

Сабақтардың тиімділігі олардың студенттердің білімге деген құштарлығын дамытуға бағытталуымен, болашақ мамандарды кәсіптік мүдделілікке жетелеумен, оқу үрдісіне саналы көзқарас тәрбиелеумен, мамандықты жан-жақты және өзбетімен игеруге ықпал етумен анықталады.

1 Пәннің мазмұны

Дәріс сабақтар тақырыптарының мазмұны

1 тақырып. Кіріспе.

Сирек кездесетін металдар металлургиясы жөнінде жалпы мағлұмат пен түсініктеме. Сирек металдардың топтасуы (классификациясы) мен олардың өзара ерекшеліктері. Тәуелсіз мемлекеттер достастығы (ТМД) – елдеріндегі сирек кездесетін металдар өндірісінің дамуы туралы қысқаша тарихи анықтама. Сирек кездесетін шашыранды металдардың басқа металдарға қарағандағы ерекшелігі, олардың табиғатта өз минералдарының және кен орындарының жоқтығы, сондықтан көбінесе оларды табиғатта шашыранды түрінде кездесетіндігі.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 5-8 б., [2] 5-15 б., [7] 6-15 б.

Баяу балқитын сирек металдар

2 тақырып. Вольфрам.

Вольфрам және оның қосылыстарының қасиеттері. Вольфрамның шикізаттары, минералдары мен кен орындары.

Вольфрамның концентраттарын өндірудің әдістері. Вольфрамит пен шеелит концентраттарын содамен өңдеу. Содалық күйежентектерді сілтілеу. Вольфрамит концентраттарын күйдіргіш натрийдің ерітіндісінде ыдырату.

Натрий вольфраматының ерітіндісінің өндірісі. Натрий вольфраматының ерітіндісін қоспалардан тазарту. Натрий вольфраматының ерітіндісінен вольфрам қышқылын алу. Техникалық вольфрам қышқылын тазарту және вольфрам оксидін алу.

Вольфрамның металдық ұнтағын алу. Вольфрам оксидін сутегімен тотықсыздандырып вольфрамды алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 9-46 б., [2] 16-81 б., [5] 383-399.

3 тақырып. Молибден.

Молибденнің және оның қосындыларының қасиеті. Молибденнің рудалық шикізаттары, кен орындары және оның минералдары.

Молибденнің концентраттарын өндірудің әдістері. Молибденнің концентраттарын тотықтыра күйдіру. Теориялық негіздері. Көп қабатты пеште күйдіру. Қайнау қабатындағы пеште күйдіру.

Таза молибденнің оксидін өндіру. Ұшыру әдісі. Өртендіні гидрометаллургиялық әдіспен өндіру. Сілтілеу. Мыс пен темірдің қоспалардан ерітіндіні тазарту. Молибденді аммиактың ерітінділерінен шығару. Буландыру әдісі. Бейтарап әдісі. Аммонийдің парамолибдатын термиялық ыдырату.

Молибденнің металдық ұнтағын өңдеу. Молибден оксидін сутегімен тотықсыздандырып молибденді алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 46-81б., [2] 102-147, [5] 404-417 б.

4 тақырып. Титан.

Титанның қолданылатын жерлері мен қасиеттері. Титанның рудалық шикізаттары, кен орындары және оның минералдары.

Титанды қождар өндірісінің теориялық негіздері. Титанды қожды және шойынды алумен ильмениттік шоғырды балқыту технологиясы. Төртхлорлы титан өндірісі. Хлорлау үрдісінің теориялық негіздері. Хлорлау үрдісінің қондырғы жабдықтарының нұсқалары.

Хлораторлардан шығатын бу – газ қоспаларының құрамы. Бу-газ қоспаларын техникалық төртхлорлы титанға айналдыру өндірісі. Үрдістің физика-химиялық негіздері. Хлоридтерге бөліну және конденсациялау технологиясы.

Төртхлорлы титанды қоспалардан тазарту.

Химиялық әдіспен ванадийдан тазарту. Ректификация арқылы кремнийден тазарту.

Магний мен төртхлорлы титанды қалпына келтіру. Үрдістің технологиясы мен теориялық негіздері.

Реакционды массаларды вакуумда сепараттау. Теориялық негіздер. Вакуумда сепараттаудың технологиясы, аппаратпен жабдықтау.

Титан алудың натриетермиялық әдісі.

Үрдістің теориясы мен технологиясы. Магниетермиямен салыстырғандағы артықшылығы және кемшілігі.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2] 215-278 б., [5] 363-376 б.

5 тақырып. Тантал мен ниобий.

Физикалық және химиялық қасиеттері мен маңызды қосылыстары және олардың қолданулары. Тантал мен ниобий шикізаттары, кен орындары және концентраттары.

Тантал мен ниобийдің концентраттарын өңдеу тәсілдері. Танталит пен колумбит концентраттарын натрийдің сілтісінде немесе фторсутек қышқылында өңдеу әдістері. Тантал мен ниобийді ерітінділерден кешенді фторидтердің тұздарын бөлшектеп кристалдандыру арқылы немесе экстракция тәсілімен бір-бірінен ажыратып бөліп алу.

Металдық тантал мен ниобийдің ұнтақтарын олардың фторкешенді тұздарын натриймен әрекеттестіру арқылы немесе пентокситтерінен қөміртегімен әйтпесе алюминиймен тотықсыздандыру тәсілімен алу. Металдардың ұнтақтарын олардың пентахлоридтерін сутегімен тотықсыздандыру әдісімен алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 87-93, 99-102, 103-105, 106-107, б., [2] 156-196, [7] 86-113 б.

6 тақырып. Цирконий мен гафний.

Цирконий мен гафнийдің физика-химиялық қасиеттері және олардың маңызды қосылыстарының қолданулары. Цирконийдің химиялық қосылыстарын өндіру.

Қостотықты (двуокиси) цирконий өндірудің әдістері. Цирконды кальцийдің карбонатымен немесе тотығымен өңдеу. Тұз және күкірт қышқылдарының ерітінділерінен цирконды бөліп алудың әдістері. Цирконий мен гафнийді олардың фторкешен тұздарынан кристалдау арқылы бір-бірінен бөліп алу. Цирконий мен гафнийді өндіру тәсілдері. Натрий және магнийтермиялық әдістермен металдардың қосылыстарын тотықсыздандыру. Цирконийдың диоксидін кальциймен немесе оның гидридiмен өңдеу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 108-128 б., [2] 298-320, 322-325, 328-346 б.

7 тақырып. Ванадий.

Ванадийдің және оның маңызды қосылыстарының химиялық қасиеттері және олардың қолданулары. Металдың шикізаттары, кен орындары және концентраттары. Ванадийді темір кендерінен, концентраттарынан және конвертор қождарынан өндіру технологиялары. Металды ванадийді алу. Ванадийдің ұнтағын оның галогенидтерін ыдырату арқылы немесе тотығын кальциймен тотықсыздандыру тәсілімен алу жолдары.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 128-149 б., [7] 124-151 б.

Шашыранды сирек кездесетін металдар

8 тақырып. Галлий.

Галлийдің және оның қосылыстарының физика және химиялық қасиеттері мен сол қосылыстардың өнеркәсіпте қолданылуы. Глинозем мен мырыш өндірістерінің қалдықтарынан галлийді өндіру және оның технологиялық схемалары. Алюминаттың ерітінділерінен галлийдің концентраттарын бөліп алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 160-164 б., [2] 422-441 б., [7] 278-291 б.

9 тақырып. Германий.

Германийдің және оның маңызды қосылыстарының химиялық қасиеттері мен олардың өндірістегі қолдану орны. Германий шикізаттары мен минералдары. Әртүрлі шикізаттардан германийдің концентраттарын алу әдістері. Концентраттардан германийдің тетрахлоридін өндіру және одан оның диоксидін алу. Металдың тотығын тотықсыздандырудың тәсілдері мен тұтас металл алу жолдары.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 155-160 б., [2] 380-408, [7] 253-270 б.

Сирек жер металдары

10 тақырып. Скандий, иттрий, лантан және лантаноидтар.

Физика және химиялық қасиеттері, маңызды қосылыстары және олардың өнеркәсіпте қолданылуы. Лантаноидтар және олардың шикізаттары.

Моноцит концентраттарын өңдеудің сілтілік және күкірт қышқылдық тәсілдері мен олардың технологиялық схемалары. Сирек жер металдарды бір-бірінен бөліп алу үшін қолданатын тотықтыру, тотықсыздандыру, экстракция және сорбция әдістеріне түсініктеме.

Ұсынылатын әдебиеттер: [1] 187-194 б., [2] 494-513, 514-529 б., [7] 342-364 б.

Радиоактивті сирек металдар

11 тақырып. Торий.

Торийдің және оның маңызды қосылыстарының химиялық қасиеттері мен өнеркәсіптегі қолданулары. Металды алу және оның таза қосылыстарын өндіру. Таза торийді өндіру және одан тұтас металды алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [7] 391-394, 408-413 б.

12 тақырып. Уран.

Уранның және оның химиялық қосылыстарының қасиеттері. Металдың шикізаттары және олардан уранды өндіру тәсілдері. Уранды ерітіндіден бөліп алу және оның концентраттарын қоспалардан тазарту. Уранның фторидін өндіріп, оны кальциймен әрекеттестіріп алу. Уранды балқыту.

Ұсынылатын әдебиеттер: [7] 391-408 б.

Тәжірибелік сабақтарының мазмұны

1 тақырып. Вольфрам.

1 сабақ. Вольфрам өндірісінің материалды есебі.

Вольфрамит концентратын содамен күйежентектеу үшін шихтаны есептеу.

3 тақырып. Молибден.

2 сабақ. Молибден өндірісінің материалды есебі.

Молибденитті концентраттың күйдіру үрдісінің есебі.

6 тақырып. Цирконий и гафний.

3 сабақ. Цирконий өндірісінің материалды есебі.

Төртхлорды цирконийді магниетермиялық әдіспен қалпына келуін есептеу.

8 тақырып. Галлий.

4 сабақ. Галлий өндірісінің материалды есебі.

Алюминатты ертіндіні өңдеу кезінде жолай галлий алынуын есептеу.

СОӨЖ мазмұны

2 тақырып. Вольфрам.

1 сабақ. Тұтас вольфрам өндірісі. Дайындаманы баспалау. Штабиктерді пісіру. Вольфрамды балқыту.

3 тақырып. Молибден.

2 сабақ. Тұтас молибден өндірісі. Дайындаманы баспалау. Штабиктерді пісіру. Төменгі температуралы күйежентектеу («пісіру»). Ірі дайындамаларды күйежентектеу. Молибденды балқыту. Доғалық немесе электронды сәулелі пештерде балқыту.

4 тақырып. Титан.

3 сабақ. Титанды иодтау әдісімен тазалау. Титанды иодтық әдіспен тазалаудың технологиясы мен теориялық негіздері.

5 тақырып. Тантал мен ниобий.

4 сабақ. Тантал мен ниобийді хлоридтарынан сутегі арқылы қалпына келтіру жолымен оларды алу. Тантал мен ниобийді балкытылған тұздардың электролизімен алу.

6 тақырып. Цирконий мен гафний.

5 сабақ. Цирконий электролиз әдіспен алу. Цирконий иодтық тәсілімен өндіру.

8 тақырып. Галлий.

6 сабақ. Тас көмірді жандыру кезінде пайда болатын күл ұшқындарынан галлийді шығару.

9 тақырып. Германий.

7 сабақ. Көмірді өңдеу өнімдерінен германийді шығару.

Өздігінен меңгеру үшін білім алушыларға ұсынылатын тақырыптардың тізімі

1 тақырып. Кіріспе.

1 тапсырма. Сирек металдарды шығару үшін металлургиялық зауыттарының шаңдар мен шламдарын қолдану.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 361-367, 450-455, 478-480 б.

2 тақырып. Вольфрам.

2 тапсырма. Вольфрамды мен молибденді қысыммен өңдеу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 96-102, 156 б.

4 тақырып. Титан.

3 тапсырма. Титанды электролизбен және термиялық әдісімен тазалау.

Титан диоксидін кальциймен немесе кальций гидридімен қалпына келтіру.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 278-288 б.

5 тақырып. Тантал и ниобий.

4 тапсырма. Тұтас тантал мен ниобийді алу. Ұнтақ металлургия әдісі.

Танталды мен ниобийді балқыту.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 208-213 б.

6 тақырып. Цирконий мен гафний.

5 тапсырма. Тұтас цирконийді алу. Ұнтақ металлургия әдісі.

Электронды сәулелі пеште балқыту. Электр доғалық пештерде балқыту. Таза гафнийді өндіру.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 351-354 б.

8 тақырып. Галлий.

6 тапсырма. Галлийлі концентратты алудың әктілі әдісі. Жоғары жиілікті галлийді алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 431-433, 441-445 б.

9 тақырып. Германий.

7 тапсырма. Германийді тазалау және монокристалдарды алу.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 409-422 б.

10 тақырып. Скандий, иттрий, лантан және лантаноидтар.

8 тапсырма. Жердегі сирек кездесетін металдарды алу. Сирек жер металдарын электролизбен немесе металтермиялық тәсілдерімен өндіру.

Ұсынылатын әдебиеттер: [2], 529-541 б.

2 Пәні бойынша қорытынды бақылауға арналған сұрақтар

1. Сирек металдардың топтасуы (классификациясы) мен олардың өзара ерекшеліктері.
2. Вольфрам және оның қосылыстарының қолданылуы. Вольфрамның шикізаттары, минералдары мен кен орындары.
3. Вольфрамит пен шеелит концентраттарын содамен өңдеу. Содалық күйежентектерді сілтілеу.
4. Вольфрам концентраттарын сода ерітіндісінде автоклавта өңдеу.
5. Вольфрамит концентраттарын күйдіргіш натрийдің ерітіндісінде ыдырату.
6. Натрий вольфраматының ерітіндісін қоспалардан тазарту.
7. Натрий вольфраматының ерітіндісінен вольфрам қышқылын алу.
8. Техникалық вольфрам қышқылын тазарту және вольфрам оксидін алу.
9. Натрий вольфраматының ерітіндісін өндірудің экстракция әдісі.
10. Шеелит концентраттарын қышқылдармен ыдырату.
11. Вольфрам оксидін сутегімен тотықсыздандырып вольфрамды алу.
12. Ұнтақ металлургия әдісімен тұтас вольфрамды алу.
13. Молибденнің және оның қосындыларының қолданылуы.
14. Молибденнің рудалық шикізаттары, кен орындары және оның минералдары.
15. Молибденнің концентраттарын тотықтыра күйдіру.
16. Көп қабатты пеште күйдіру. Қайнау қабатындағы пеште күйдіру.
17. Молибденнің өртендіні гидрометаллургиялық әдіспен өндіру.
18. Молибденді аммиактың ерітінділерінен шығару.
19. Молибден оксидін сутегімен тотықсыздандырып молибденді алу.
20. Ұнтақ металлургия әдісімен тұтас молибденді алу.
21. Доғалық немесе электронды сәулелі пештерде балқыту.
22. Титанның қолданылатын жерлері мен қасиеттері.

23. Титанның минералдары, кендері және кен көздері.
24. Титанды қожды және шойынды алумен ильмениттік шоғырды балқыту технологиясы.
25. Титанды қожды хлорлау үрдісінің теориялық негіздері.
26. Хлоридтерге бөліну және конденсациялау үрдістерінің физика-химиялық негіздері.
27. Хлоридтерге бөліну және конденсациялау технологиясы.
28. Төртхлорлы титанды қоспалардан тазарту.
29. Магний мен төртхлорлы титанды қалпына келтіру.
30. Реакционды массаларды вакуумда сепараттау.
31. Титан алудың натриетермиялық әдісі.
32. Титанды электролизбен және иодтау әдісімен тазалау.
33. Титан диоксидін алу әдістері.
34. Тантал мен ниобийдің маңызды қосылыстары және олардың қолданулары. Тантал мен ниобий шикізаттары, кен орындары және концентраттары.
35. Танталит пен колумбит концентраттарын натрийдің сілтісінде немесе фторсутек қышқылында өңдеу әдістері.
36. Тантал мен ниобийді ерітінділерден кешенді фторидтердің тұздарын бөлшектеп кристалдандыру арқылы немесе экстракция тәсілімен бір-бірінен ажыратып бөліп алу.
37. Металдық тантал мен ниобийдің ұнтақтарын олардың фторкешенді тұздарын натриймен әрекеттестіру арқылы немесе пентокситтерінен қөміртегімен әйтпесе алюминиймен тотықсыздандыру тәсілімен алу.
38. Металдардың ұнтақтарын олардың пентахлоридтерін сутегімен тотықсыздандыру арқылы және балқытылған тұздардан электролиз әдісімен алу.
39. Ұнтақтардан тұтас металл алу.
40. Цирконий мен гафнийдің физика-химиялық қасиеттері және олардың маңызды қосылыстарының қолданулары. Цирконийдің кендік шикізаттары.
41. Цирконды содамен, кальцийдің карбонатымен немесе тотығымен өңдеу.
42. Тұз және күкірт қышқылдарының ерітінділерінен цирконды бөліп алудың әдістері.
43. Цирконий мен гафнийді олардың фторкешен тұздарынан кристалдау арқылы бір-бірінен бөліп алу.
44. Цирконий мен гафнийді өндіру тәсілдері. Натрий және магнийтермиялық әдістермен металдардың қосылыстарын тотықсыздандыру.
45. Цирконийдың диоксидін кальциймен немесе оның гидридінмен өңдеу.
46. Цирконий мен гафнийді иодтық тәсілімен өндіру.
47. Ванадийдің және оның маңызды қосылыстарының қолданулары. Металдың шикізаттары, кен орындары және концентраттары.

48. Ванадийді темір кендерінен, концентраттарынан және конвертор қождарынан өндіру технологиялары.

49. Металды ванадийді алу.

50. Галлийдің және оның қосылыстарының өнеркәсіпте қолданылуы.

51. Глинозем мен мырыш өндірістерінің қалдықтарынан галлийді өндіру және оның технологиялық схемалары.

52. Германийдің және оның маңызды қосылыстарының өндірістегі қолдану орны. Германий шикізаттары мен минералдары.

53. Әртүрлі шикізаттардан германийдің концентраттарын алу әдістері.

54. Концентраттардан германийдің тетрахлоридін өндіру және одан оның диоксидін алу.

55. Металдың тотығын тотықсыздандырудың тәсілдері мен тұтас металл алу жолдары.

56. Германийді кристалло-физикалық жолмен тазалау жөнінде түсінік.

57. Скандий, иттрий, лантан және лантаноидтар, маңызды қосылыстары және олардың өнеркәсіпте қолданылуы. Лантаноидтар және олардың шикізаттары.

58. Моноцит концентраттарын өңдеудің сілтілік және күкірт қышқылдық тәсілдері мен олардың технологиялық схемалары.

59. Сирек жер металдарды бір-бірінен бөліп алу үшін қолданатын тотықтыру, тотықсыздандыру, экстракция және сорбция әдістеріне түсініктеме.

60. Сирек жер металдарын электролизбен немесе металтермиялық тәсілдерімен өндіру.

61. Торийдің және оның маңызды қосылыстарының өнеркәсіптегі қолданулары.

62. Металды алу және оның таза қосылыстарын өндіру.

63. Уранның және оның химиялық қосылыстарының қасиеттері.

64. Металдың шикізаттары және олардан уранды өндіру тәсілдері.

Әдебиет

Негізгі әдебиет

1 А.К. Кобжасов. Сирек кездесетін металдарды өндіру. – Алматы, 1992. – 199 с.

2 Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. Учебник / А. Н. Зеликман, О. Е. Крейн, Г. В. Самсонов. – М. : Металлургия, 1978. – 560 с.

3 Есиркегенов Г. М. Металлургия ванадия. Учебное пособие / Г. М. Есиркегенов, А. К. Кобжасов. – Алма-Ата: КазПТИ, 1990. – 78 с.

4 Киндяков П. С. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Часть 3. Учебное пособие / П. С. Киндяков, Б. Г. Коршунов, П. И. Федоров, И. П. Кисляков; Под ред. К. А. Большакова. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1978. – с.3-37, 92-121, 133-155.

5 Уткин Н. И. Производство цветных металлов. – 2-е изд. – М. : Интермет Инжиниринг, 2004. – 442 с.

6 Валиев Х. Х. Металлургия свинца, цинка и сопутствующих металлов. Учебник / Х. Х. Валиев, Ю. П. Романтеев. – Алматы: 2000. – 441 с.

7 Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. Учебник для вузов / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов. – М. : Металлургия, 1991. – 432 с.

Қосымша әдебиет

8 Зеликман А. Н. Ниобий и тантал / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов, А. В. Елютин, А. Н. Захаров. – М. : Металлургия, 1990. – 295 с.

9 Кобжасов А. К. Пиро- и гидрометаллургические процессы (лабораторный практикум по общему курсу «Металлургия редких металлов») / А. К. Кобжасов, Г. А. Литвиненко. – Алматы: КазНТУ, 2002.