

ҚАЗАҚ РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қаныш Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті

Қ.Т.КӨШЕРБАЕВ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ

Қазақстан Республикасы білім және ғылым министрлігі
оқулық ретінде ұсынған

Алматы 2000 ж.

Қ.Т.КӨШЕРБАЕВ

**ФЛОТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ
ӘДІСТЕРІ**

Алматы, 2000

УДК [622.765: 622.34] (075.8)

Флотациялық байыту әдістері: К.Т. Көшербаев

Жоғары оқу орындарына арналған оқулық. - Алматы: ҚазҰТУ, 2000, ... б

ISBN 5-7

Флотациялық процестің теориялық негізі-қазіргі кездегі физикалық химияның, қатты заттар физикасының және басқада ғылыми пәндердің деңгейі тұрғысынан қаралып баяндалған. Флотациялық технологияның, реагенттік режимдердің, өндірісте қолданылатын флотомашиналар конструкцияларының және жабдықтардың, негізгі минералды шикізаттарды флотациялаудың өндірістік тәжірибелерінің өзекті мәселелері қаралған.

Оқулық "Пайдалы қазындыларды байыту" мамандығы бойынша оқитын студенттерге арналған.

Сурет-65. Кесте-14. Әдебиеттер тізімі-10 атау.

Пікір жазғандар: Казмеханобр институтының лаборатория меңгерушілері, техн.ғыл., кандидаттары М.Т.Баймаханов және А.А.Ниязов.

ҚазҰТУ техн.ғыл., профессоры, канд. Ж.У.Досымов.

Қазақстан Республикасы білім және ғылым министрлігінің 2000 жылғы жоспары бойынша басылды.

Университеттің Ғылыми әдістемелік кеңесінде оқулық ретінде бекітілген (ГЭК хаттамасы N..... 2000 ж.)

ISBN

© Қазақ ұлттық техникалық университеті,
2000 ж.

Алғы сөз

Қазақстан республикасының жер қойнауындағы қоры мол минералды шикізаттарды ел мүддесіне жарату жолында оларды өңдеу әдістерін меңгеру және жетілдіру болашақ мамандардың алдында тұрған басты мәселенің бірі.

Көпшілік кендердің, әсіресе түсті металдар кендерінің құрамдарында бағалы заттар мөлшері өте аз келеді (бірнеше проценттен аспайды). Оларды тікелей металлургиялық әдістермен өңдеп металдар алуға келмейді. Сондықтан олар міндетті түрде байыту процестерінен өткізіліп, жоғары сапалы концентраттар алынады.

Кендерді байытуда флотациялап байыту әдісі ең көп тараған, универсальды әдіске жатады. Түсті металдар кендері, сол сияқты басқада барлық кендердің және көмірдің ұнтақ фракциялары тек флотациялаумен байытылады.

Флотациялық байыту фабрикалары жоғары дәрежеде механикаландырылған және автоматты жүйелер қолданылатын өндіріс орындарына жатады. Қазақстан республикасында жоғары өнімді, күрделі технологиялы түсті металдар кендерін байытатын флотациялық фабрикалар бар (Лениногор, Зырян, Белоусовка, Балхаш, Жезқазған, Кентау, Текелі және т.б.). Фосфор кендері Қаратауда және Шилісайда флотациялаумен байытылады.

Оқулықтың мақсаты болашақ ұлттық инженерлерді флотациялық процестің теориялық негізімен, әр түрлі кендерді байыту технологияларымен, реагенттік режимдерімен және қолданылатын флотациялық машиналардың конструкцияларымен таныстырып, жеткілікті білім беру.

Автор оқулықты құрастыруда өзінің осы пәннен көп жыл дәріс беру тәжірибесінде ойға тұтқан жайларды және орыс тілінде жазылып келген оқулықтардың ұтымды жерлерін мүмкіншілігінше талдап баяндауға тырысты.

Оқулық "Флотациялық байыту әдістері" пәнінің оқу бағдарламасына сай бірінші рет қазақ тілінде жазылып отыр. Осыған байланысты ондағы көзге түсер кемшіліктер жайында оқырмандар өз көзқарастарын білдіріп, оны келешекте жетілдіру мақсатында ұсыныстар білдірсе, олар қабыл алынып, қаралып келешекте қайта басу мүмкіншілігі болғанда ескеріледі.

БІРІНШІ БӨЛІМ

1-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТІҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ӘДІСТЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ ҰҒЫМДАР

§1. Флотациялық процесс.

Пайдалы қазбаларды байытуда ең жиі қолданылатыны флотациялық байыту әдісі. Бұл әдіспен бөліп алуға қажетті минералдар ұнтақталған кен ішінен бөлінеді. Ұнтақтаудың мақсаты бағалы минералдардың кендегі сепкілдігіне байланысты бос жыныс минералдарынан және бірнеше бағалы минералдар болғанда олардың бірінен бірін өз ара ажырату. Осы тұрғыдан қарасақ барлық дерлік кен түрлерінде бағалы минералдардың белгілі бөлігі, ал түсті металдар кендерінде барлығы дерлік, ұсақ сепкілді түрде кездеседі. Егер сепкілдік дәрежесі, мысалы, 0,15-0,2 мм-ден артпаса, соған сәйкес кен сол ірілікке дейін ұнтақталса басқа байыту әдістерімен бағалы минералдарды кеннен бөлу қиындайды, не тіпті мүмкін болмайды. Осындай кендер тек флотациялау әдісімен ғана байытылады. Бұлармен қатар қара металдар кендерінің, көмірдің және химиялық шикізатты кендердің ұнтақты фракциялары флотациялық әдіспен байытылады. Осы мәліметтерден пайдалы қазбаларды пайдалануда флотациялық байыту әдісінің маңызы өте зор екенін және ең көп тараған байыту әдісі екенін түсіну қиын емес.

Флотациялық процесс минералдардың ұнтақты түйіршіктерінің фазалар шекаралықтарына жиналуына және пульпадан бөлініп шығатын бір фазамен (ауа көпіршігі не май тамшысы) бірге қалқып шығуына негізделген¹. Бұл процеске үш фаза қатысады: қатты зат, су және ауа (көпіршік түрінде). Егер үшінші фаза ретінде ауа көпіршіктері пайдаланылса көбікті, ал май тамшылары пайдаланылса майлы флотация деп аталады. Өндірістік тәжірибеде қолданылмайтын түрі қабыршықты флотация деп аталады. Қазіргі кезде дүние жүзілік тәжірибеде ең көп тарағаны көбікті флотация.

Әр түрлі минералдар түйіршіктерінің фазалар шекаралықтарына жиналуы не жиналмауы олардың беттерінің физико-химиялық қасиеттерінің айырмашылықтарына, жинақтап айтсақ сулану не суланбауына негізделген. Беті суланбайтын не аз суланатын минерал түйіршіктері ауа көпіршіктерінің бетіне жабысып, олармен бірге су бетіне қалқып шығады да, ал беті суланатын минерал түйіршіктері су ішінде (пульпада) қалып қояды. Қалқып шыққан минералданған ауа көпіршіктері көбікті қабат құрап, су бетінен "сыпырылынып" бөлініп алынады да, пульпада қалған минералдар сумен бірге ағып, аппараттан шығарылады. Осының нәтижесінде кеннен екі өнім-көбікті және камералы-алынады. Олар сапаларына қарай концентрат және қалдық деп аталады.

Бөлінетін минералдардың табиғи сулану не суланбау қасиеттерінің арасындағы айырмашылықтары оларды толығырақ бөлуге әдетте жеткіліксіз болады. Ол қасиеттерінің айырмашылығын ұлғайту үшін пульпа әр түрлі химиялық қосылыстармен (реагенттермен) өңделеді.

Олар әрекеттеріне қарай жинағыштарға, көбіктендіргіштерге және реттегіштерге бөлінеді.

Майлы флотацияның көбіктен айырмашылығы сол, аз суланатын минерал түйіршіктері судағы май тамшылары бетіне жабысып, пульпа бетіне қалқып шығады.

Қабыршықты флотациялауда құрғақ ұнтақталған кен су бетіне бір келкі жұқа қабат құрай себіледі. Беті аз суланатын (не суланбайтын) минерал түйіршіктері су бетінде қалқып қалады да, суланғыш түйіршіктер суға батып кетеді.

¹ Флотация ағылшынның flotation деген сөзінен шыққан. Оның орысша аудармасы - всплывание, ал қазақшасы қалқу.

Қазіргі кезде кейінгі флотацияның екі түрі өндірісте кең қолданылғанмен, тәжірибеде оларды жеке не шектеулі түрде бірге қолдану әдістері белгілі. Екеуінің қиыспасы ретінде, мысалы, флотогравитация процесі қолданылады.

Флотацияның бастапқы даму кезеңдерінде кендерден, оның ішіндегі басты бір минерал ғана не екі-үш бағалы минералдар болғанда олар бірігіп (коллективті) бір концентрат түрінде алынды. Біртіндеп көптеген зерттеулер жүргізу нәтижелерінде бағалы минералдарды жекелеп бөліп алу, демек таңдамалы флотациялау технологиялары жасалды. Көптеген теориялық және тәжірибелік ғылыми-зерттеу жұмыстарының жүргізілуі нәтижесінде бұл процесс алуан түрлі пайдалы қазбаларды байытуда қолданылып отыр.

§ 2. Флотация процесінің даму кезеңдеріне қысқаша шолу.

Геродоттың (біздің эраға дейінгі V-ғасыр) қалдырған мәлімдемесі бойынша ерте замандарда ұсақ құм ішінен алтын түйіршіктері майланған қаз қауырсынына жабыстырылып бөлінген.

XV-ғасырда арабтар мыстың көк түсті минералы азуритті бөліп алу үшін ұсақтанған шайыр (смола) түйіршіктеріне жабысып, онымен бірге қалқып шығуын пайдаланған.

Флотация процесінің даму кезеңі XIX-ғасырдың екінші жартысынан басталды. 1860 жылы ағылшын Вильям Хайнс бірінші патент алды. Ол суда ұнтақталған кенге май қосып, одан сульфидті минералдарды бөліп алуды ұсынды. Бұл процесте сульфидті минерал түйіршіктері май тамшыларының бетіне жабысып, тамшылар өз ара бірігіп шоғырлар құрып су бетіне қалқып шығады, демек май сульфидті минералдар бетіне таңдамалы жабысады. Май жабыспаған бос жыныс минералдары суда қалып қояды. Бірақ бұл процесс майдың шығыны өте жоғары болғандығына байланысты өндірістік тәжірибеде таралмады. Дегенмен осы әдіске негізделген бірнеше кішігірім байыту фабрикалары салынып мыс концентраты алынды. Олардың кейбірінде мысты бөліп алу дәрежесі 80%-ке дейін жетті. Осы бастама флотация процесінің дамуына үлкен ықпал етті.

Қазіргі кездегі кең тараған көбікті флотацияның дамуының бастапқы сатысы Дрезденде ағайынды Бессельдердің 1877 жылы ұсынған процесі болды. Оның майлы флотациядан айырмашылығы бірінші рет газ көпіршіктерін пайдалану болды. Графит кені маймен араластырылған соң (май массасы кеннің 1%-тен 10%-не дейін жетті) суды қайнатудан шығатын бу ауа көпіршіктерін жасап, графит түйіршіктері оған жабысып қалқып шықты. Бұл процесс ауа көпіршіктерін пайдалану арқылы майдың шығынын біраз азайтуға болатынын көрсетті. Соған байланысты енді пульпада газ көпіршіктерін жасау әдістеріне үлкен көңіл бөліне бастады. Көп кешікпей газ көпіршіктерін кендегі көмір қышқылды кальцийді (кальций) қышқыл қосу арқылы ерітіп жасау ұсынылды.

1885 жылы американдық Эверсон көбікті флотацияны ұсынып патент алды.

Көбікті флотацияның дамуын тежеген, газ көпіршіктерін жасаудың оңай жолының табылмауы болды. Осыған байланысты әлі де болса май шығыны үлкен болып қала берді.

1894 жылы ағылшын Робсон сульфидті минералдарды бос жыныс минералдарынан, тығыздығы жоғары пульпадан (суды аз қосу нәтижесінде) май қосып бөлуге патент алып, алтын кенін байыту мақсатымен бірінші өндірістік қондырғы жасады. Сол кеніште бұл жұмысты 1898 жылы Франк Эльмор жалғастырды. Мұнда да май кен массасының 20-25% - тіне тең болды. Бірақ флотация тығыздығы төмен пульпада (сұйытылған) жүргізілді.

XIX-ғасырдың аяғына дейін бірсыпыра жұмыстар жүргізілгенмен флотация процесі қанағаттандырылғы деңгейге көтерілмеді. Бірақ әр түрлі кеннен алынған концентраттар массасы өсе берді. 1901 жылы австриялық Поттер мырыш кенінен 42%-ті мырыш концентратын алды. 20%-ті сульфидті мырыш кені құрғақтай ұнтақталғаннан кейін күкірт қышқылының ерітіндісіне салынды. Соның әрекетімен кен ішіндегі карбонатты минералдар еруінен пайда болған газ көпіршіктеріне сфалерит жабысып қалқып шығып отырды.

Осы кезде Италияда Фромент Бессельдердің әдісін сульфидті кендерді байытуға ұсынып патент алды. Ол да газ көпіршігін кен ішіндегі карбонатты минералдарды қышқыл қосып еріту арқылы жасауды пайдаланды.

Флотация процесінің жаңа сатыға көтерілуі Минералс Сепарэйшен атты ағылшын компаниясының ұсынысымен байланысты болды. Бірінші рет май шығыны көп азайтылып, ауа көпіршіктері химиялық еріту жолымен ғана емес, араластырылғыштың айналуы нәтижесінде

пульпа ішіне сорылатын ауаның бөлшектеуімен алынды. Бұл жай кезінде ағылшын журналында жазылған мақалада кездейсоқ байқалғаны келтірілген. Оған дәлел, араластырғыштың айналу саны жоғары болмаған (300 айналым минутіне). Соның өзінде ауа көпіршіктері пайда болып, процесс өнімділігі артқан. Тек осы кезден бастап флотация процесін өндірістік кең масштабта қолдану мүмкіндігі туды. Оған үлкен ықпал еткен жай түсті металдар кендерінің ұсақ сепкілдігіне байланысты қолданылып келген гравитациялық байыту әдістерінің мүмкіндігі төмендеп, өндірісте кен байытудың өнімділігін арттырудың маңызы және қажеттілігі арта бастады.

Флотация процесін дамытудың тағы бір қажеттілігі түсті металдар кендерінің кешенділігіне байланысты, олардан бағалы минералдарды бір бірінен бөліп алу қажеті болды. Мысалы, қорғасын-мырышты кендерді гравитациялық әдістермен байытқанда олардан тек қорғасын концентраты ғана алынып, ал мырыш минералдары қалдықта қалып отырды.

Ресейде флотация процесі бірінші рет 1904 жылы Мариупольде іске қосылған фабрикада графит кенін майлы процеспен байыту жүзеге асырылды.

XX-ғасырдың басында пульпада ауа көпіршіктерін жасау тәсілдері қарастырыла берді. 1904 жылы Эльмор газ көпіршіктерін суды электролиздеу арқылы, одан кейін суда еріген ауаны вакуум жасаумен ауа көпіршіктері түрінде бөліп шығаруды ұсынды. Бұл процесс Австрияда Брохен-Хилл фабрикаларында қолданылды.

1892 және 1914 жылдар арасында қабыршықты флотация әр жерлерде қолданылды. Ұнтақталған кен құрғақ түрде су бетіне себілгенде сульфидті минералдар қалқып қалып, ал суланғышы жоғары минералдар су ішіне батып кетеді. Осы әдіспен 300 мың тоннадай мырыш концентраты алынды. Бірақ процестің өте төмен өнімділігіне байланысты және көбікті флотацияның тез дамуының нәтижесінде оны қолдану тоқтатылды.

Осы кезден бастап пульпада ауа көпіршіктерін оны жылдам араластыру арқылы және пульпа ішіне ауаны үрлеп қысыммен енгізу тез өріс алды (1906 ж. Сульман, Пакард Балло, Чэпман). Ауаны үрлеп енгізгенде оны ұсақ көпіршікке айналдыру үшін мата арқылы өткізу қолданылды. Осылай көбікті флотацияның тез даму кезеңі басталды.

Осы уақытқа дейін кендерден негізінде бір ғана концентрат алынып келді. Ендігі маңызды мәселе, кенде бірнеше сульфидті минералдар болғанда соларды өзара бөлу болды. Осы бағытта жүргізілген ізденістер нәтижесінде кенді химиялық қосылыстар-реагенттермен өңдеп сульфидті минералдарды бір бірінен бөлу мүмкіншілігі бар екені айқындалды. Осылай флотация процесінің дамуының жаңа кезеңі - таңдамалы (яғни селективті) флотацияның дамуы басталды.

1912 жылы қорғасын сульфиді галениттің флотациялануын хром тұздарымен басуға болатыны анықталды. Мырыш сульфиді сфалеритті күкіртті газбен (SO_2) басып галенитті флотациялауға болатыны табылды (Брэдфорд, 1913 ж). Оның артынан сфалериттің флотациялануын мыс купоросын қолданып активтендіру амалы табылды. Бұл әдіс қазіргі күнге дейін дүние жүзілік тәжірибеде кеңінен қолданылып отыр. Сонымен, 1912 жылды таңдамалы флотацияның "дүниеге келу" жылы деп есептеуге болады. Осы жылдардан бастап инженерлердің алдына қойған негізгі мақсаты флотацияға қолданылатын реагенттер іздеу болды.

1921 жылы Перкинс жыйнағыш реагенттері ретінде, құрамында үш валентті азот не екі валентті күкірт бар ерігіш органикалық қосылыстарды пайдаланды. 1925 жылы сілтілі ксантогенаттар, ал 1926 жылы дитиофосфорлы қышқылдың эфирлері жинағыш реагенттер ретінде ұсынылып, патенттер алынды. Бұл реагенттердің сол кезден бастап қазіргі күнге дейін кең тарап, қолданылып отырғаны белгілі.

Жинағыш реагенттермен қатар минералдарды таңдамалы басуға болатын реагенттердің табылуының маңызы зор болды. 1922 жылы Шеридан және Гризволт қорғасын-мырыш кенін флотациялауда мырыш сульфиді және пиритті циан тұзы мен мырыш сульфатын қолданып басып галенитті флотациялауды ұсынды.

1925 жылы силикатты минералдарды катионды жинағышпен флотациялау ұсынылды.

Осылай XX-ғасырдың бірінші шегінде негізгі реагенттер түрлері табылып, флотация процесі ең басты кен байыту әдісіне айналды. Бірақ бұл процестің жоғары даму сатысына көтерілуіне кедергі болған жай реагенттердің минералдар беттерімен өзара әрекеттесуінің физико-химиялық заңдылықтарының қарқынды зерттелмеуі не өте аз зерттелуі болды. Атап айта кетуге тұратын жай-қатты зат бетіндегі құбылыстардың физико-химиялық

заңдылықтарының негізін құрушыларға ресей ғалымдары Қазан университетінің профессоры П.С.Громеко (1851-1889жж) және Л.Г.Гурвичті (1871-1926жж) жатқызуға болады. Әсіресе Л.Г.Гурвич бет қабатының қасиеттері, бет энергиясы, қатты зат бетінің сулану не суланбауы және басқада құбылыстар туралы бірсыпыра деректі мәліметтер алды. Өкінішке орай олардың еңбектерінің нәтижесі флотация процесінің заңдылықтарын ашуға пайдаланылмады.

Флотация процесіне қатысы бар, әсіресе тікелей көбіктену процесінде реагенттердің адсорбциялануының термодинамикалық принциптері Гиббстің (1876ж) еңбектерінде келтірілген. Сол сияқты басқада шетел ғалымдары өз үлестерін қосты.

Флотация процесінің теориялық мәселелерін жүйелі түрде зерттеген Совет ғалымдары, академиктер П.А.Ребиндер және А.Н.Фрумкин болды. Олардың еңбектерінде минерал түйіршіктерінің ауа көпіршігіне жабысуының физико-химиялық негізі салынды. П.А.Ребиндер шеткі сулану бұрышын өлшеу әдісін ұсынды. А.Н.Фрумкин минерал түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысуда кинетикалық сипаттаманың маңызы зор екенін көрсетті.

Г.О.Ерчиковский флотациялық реагенттерді жүйелі түрде зерттеді. Д.А.Шведов реагенттердің минералдар бетімен әрекеттесуін зерттеуді бастады.

Осы кезден бастап Совет еліндегі зерттеу орталықтарында (Гинцветмет, ВИМС, Механобр, Урал механобр, ИГД АН СССР) флотация процесі үздіксіз зерттеліп, көптеген деректер алынды.

Шетел ғалымдары А.Ф.Таггард (США), Уорк (Австралия), А.М.Годен (США) флотация процесінің дамуына үлкен үлес қосты.

Теориялық зерттеулермен бірге Совет ғалымдары флотацияны тәжірибелік бағытта дамытуда айта қаларлықтай нәтижелерге жетті. Проф. В.Я.Мостович мыс-мырышты және мыс-колчеданды кендерді байытуда, проф. И.Н.Масленицкий мыс-никель кендерін байытуда, А.С.Конев қорғасын-мырыш кендерінің флотациялық схемаларын жетілдіруде үлкен жетістіктерге жетті.

Металды кендерді байытумен бірге, металды емес көптеген кен түрлерінің байыту схемалары, реагенттік режимдері жасалды.

Жалпы флотация процесінің дамып, жоғары деңгейге көтерілуіне кейінгі 50 жылда Совет ғалымдары (К.Ф.Белоглазов, О.С.Богданов, Б.В.Дерягин, С.И.Митрофанов, М.А.Әйгелес, И.Н.Плаксин, В.А.Глембоцкий, В.И.Классен, А.А.Абрамов және тағы басқалары) үлкен үлес қосты.

Қазіргі кезде шектеулі масштабта болсада флотацияның бірсыпыра түрлері (көбікте бөлу, грануляциялық флотация, қатты қабырғада флотациялау және басқа түрлері) әртүрлі мақсаттармен қолданылады.

II-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ФАЗАЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ

МЕН ҚАСИЕТТЕРІ

§ 1. Атом аралық және молекулалық күштер

Флотациялық жүйеге қатысатын үш фазаның өзара әрекеттесуі негізі атом аралық және молекулалық күштермен сипатталады, ал олардың табиғаты электрлік қасиеттермен байланысты.

Иондардың өзара әрекеті Кулон заңымен анықталатын электростатикалық күштермен сипатталатыны белгілі: екі түрлі (оң және теріс) зарядталған иондардың өзара тартылысы олардың зарядтарына тура пропорционалды және ара қашықтықтарының квадратына теріс пропорционалды.

Тартылудың бұл түрі ионды байланыс деп аталады.

Бұл байланыс түрі металды қасиеттері бар элементтермен металлоидтар арасында пайда болады. Металл атомдары сыртқы орбиталь қабатындағы электрондарды беру нәтижесінде энергетикалық тұрақты қалыпқа түсіп оң зарядтанады. Ал металлоид атомдары сырт орбиталь қабатына ол электрондарды қабылдап, энергетикалық тұрақты қалыпқа түседі де теріс зарядтанады. Осы құбылыстың нәтижесінде қарама қарсы зарядтанған атомдар арасында тартыс туады.

Ковалентті байланыс зарядталмаған металлоидты элементтердің арасында сыртқы орбиталь қабатындағы электрондарды ортақтастыру нәтижесінде пайда болады. Егер бір текті атомдар қосылса, онда полярсіз ковалентті, ал әртекті металлоид атомдары қосылса полярлі ковалентті байланыс пайда болады.

Металды қасиетті атомдар қосылғанда олардың сырт қабатындағы валентті электрондары барлық атомдарға ортақтанып электронды газ құрайды. Электрондардың жоғары жылдамдықты күйде болуына байланысты металдардың тоқ өткізгіштік қасиеттері жоғары болатыны белгілі.

Аталған үш байланыс түрі күшті байланыстарға жатады да, жалпы химиялық байланыстар деп аталады.

Екінші топқа жататындар м о л е к у л а л ы қ байланыстар. Оларды в а н д е р в а л ь с т і депте атайды. Бұл байланыс түрі зарядсыз бейтарапты молекулалар арасында пайда болады. Оған қойылатын шарт молекулалардың полярлі не поляризациялану қасиеті болуы. Жалпы молекулалық байланыс үш түрлі құбылыстың әсерінен туады: бағытталу (ориентациялды), индукциялану және дисперсиялану. Бірінші құбылыс молекуланың өзіндік полярлі қасиетіне байланысты; екінші құбылыс молекуланың сыртқы күш әсерімен поляризациялануына негізделген; үшінші құбылыста молекуланың поляризациялануына байланысты, бірақ ол өте әлсіз келеді. Себебі поляризациялану өте аз сәтте ғана пайда болып, жоғалып отырады.

Молекулалық байланыстардың химиялық байланыстармен салыстырғанда көп өзгешеліктері және ерекшеліктері бар. Біріншіден, олар тек өте жақын қашықтықта ғана ($\sim 5 \text{ \AA}$) байқалады. Екіншіден, байланыс күш әсері өте төмен. Үшіншіден, молекулалардың өзара әрекеттесуі таңдамасыз жүреді.

Келтірілген жайлардан заттың полярлығымен байланысты қасиетінің маңызы зор екенін көруге болады. Полярлық не полярсыздық қасиет, әрине, заттың құрамы және құрылысымен анықталады. Құрам тұрғысынан қарасақ басты роль атқаратын молекула ішіндегі атомдардың электртерістігі. Осы қасиеттерінің айырмашылығы артқан сайын молекуланың полярлығы арта береді. Егер атомдардың электртерістігі тең болса, онда молекула полярсіз болады. Сондықтан полярсіз молекулалар иондарға бөлінбейді, химиялық активтілігі өте төмен болады, су молекулаларымен әрекеттеспейді, демек гидрофобты болады. Мұндай заттарға майлар жатады.

Полярлі заттардың химиялық активтілігі жоғары, көпшілігі суда жақсы ериді, демек сумен әрекеттеседі.

Осы келтірілген екі топтан ерекше қасиеттерімен бөлінетін топқа гетерополярлі заттар жатады. Олардың молекулаларының құрамына полярсыз және полярлі топтар кіреді. Көпшілік заттарда полярсыз топты көмірсутек тізбектері (радикал) құраса, полярлы бөлігіне гидроксил ионы, карбоксиль тобы, амидо тобы, тио тобы және т.б. кіреді.

Вандервальсті және ионды байланыстың екі аралығында жататын байланыс түрі с у т е к т і байланыс. Су молекулаларының өзара әрекеттесуі осы байланысқа тәуелді. Байланыс энергиясы ионды байланыстан көп төмен, ал молекулалық байланыстан жоғарырақ (5-7 ккал/моль).

Флотация процесіне қатынасатын үш фазаның көлемді және бет қасиеттері, фазалардың өзара әрекеттесуінің физико-химиялық заңдылықтары, жоғарыда келтірілген байланыс түрлерінің ерекшеліктеріне, әр түрліліктеріне және бірліктеріне негізделген.

§ 2. Минералдардың құрылымы мен қасиеттері.

Минералдардың барлық дерлік қасиеттері, соның ішінде флотациялық қасиеті, олардың құрамдары және құрылымдарымен анықталады. Оларға өз кезегімен, көптеген факторлар әсер етеді. Олардың ең бастылары ретінде байланыс түрлерін, иондар радиустарын, поляризациялануын және атомдардың валенттігін атауға болады. Осы тұрғыдан қарасақ минералдар құрылымы, олардың құрамдарына тәуелді. Құрылымдық ерекшеліктер атом не иондардың кристалдық тор кеңістігінде орналасуына байланысты. Флотациялық қасиет минералдардың бет қасиетіне тәуелді болса, құрылымдық ерекшеліктердің маңызы зор.

Мысалы, ұсақтау және ұнтақтау процестерінде пайда болатын беттер минералдар түйіршіктерінің қай бағытта бұзылуына байланысты пайда болады.

Флотация процесінің дамуына көптеген ғалымдар минералдардың қасиетін тек теориялық түрден қарап, оларды флотациялану топтарына бөлуге тырысты (Ормонт, Годэн, Стрельцин және т.б.) Бірақ, көпшілік жағдайда олардың ұсыныстарында қарама қайшылық жайлар орын алып, түпкілікті нәтиже бермеді. Дегенмен ол ұсыныстарда келтірілген көз қарастар мәселені жан жақты қарауға себін тигізді. Олардың ішінде Ормонттың ұсынысының өте бағалы екенін айтуға болады. Ол минералдарды кристал торында күшті байланыстар мен (ионды, ковалентті) молекулалық байланыстардың қайсылары болатынына қарай топтауды ұсынды. Бірақ ол да универсальді бола алмады.

Минералдардың кристалдарының ұсақталуы да (ұнтақталуы да) және соның нәтижесінде пайда болатын жаңа бет сипаттамасы да кристалдық торда сызат жазықтығының² болуымен тығыз байланысты. Кристалдардың жарылу бағыты көбінде осы сызат жазықтықтарының бойына сай келеді.

Минералдар құрамына қарай кристалдық торда бір не бірнеше сызат жазықтықтары болуы мүмкін. Осыған мысалдар ретінде (1-суретте) кристалдық тор құрылымы әр түрлі минералдар келтірілген. Қарапайым торлы ас тұзы ионды кристалында (1-сурет, а) әр элемент атомы екінші элементтің 6 атомымен симметриялы қоршалған. Сондықтан сызат жазықтықтары бар бағытта бірдей. Флюорит минералының (CaF_2) кристалдық тор құрылымы (1-сурет, б) көп өзгеше. Мұнда кальцийдің атомы фтордың атомдарымен қоршалып тізбек түзеді де, сызат жазықтығы бір бағытта ғана тізбек аралығымен өтеді. Осы екі минералда да атомдар ионды байланыспен тартысады. Бірақ сызат жазықтықтары әр түрлі бағытта өтетін болса, жаңа бетте NaCl тұзы бұзылғанда натрий және хлор атомы болса, CaF_2 бұзылғанда жазық бетте тек фтор атомдары ғана болады. Тек жазықтыққа көлденең бағыттағы бетте кальцийде және фторда пайда болады. Осыған байланысты екі минералдың бет қасиеттері де әр түрлі өзгереді. Екеуіне ортақ жай-ионды байланыстар үзіледі.

Екі не бірнеше сызат жазықтықтары бар минералдар ретінде кальцитпен (CaCO_3) баритті (BaSO_4) келтіруге болады. Бұл минералдар үш элементтерден тұрады және олар екі байланыс түрімен түзілген. Карбонат (CO_3^{2-}) және сульфат (SO_4^{2-}) иондарында металлоидты атомдар ковалентті байланыспен, ал кальций және барий иондары олармен ионды байланыстар арқылы тартылады. Кальцитте екі сызат жазықтықтары бір біріне перпендикуляр бағытта өтсе (1-сурет, в), баритте үш сызат жазықтықтары үш бұрыш жасай орналасқан (1-сурет, г). Екі минералда да сызат жазықтықтары оттегі атомдары арасымен өтеді. Осы жайдан шығарылатын қорытынды: сызат жазықтықтары радикалдар (CO_3^{2-} , SO_4^{2-}) арқылы өтпейді тек аниондар тобының аралығымен ғана өтеді.

Кристал торларының құрылымы ерекше минералдар тобына, мысалы, графит (С) және молибденит (MoS_2) жатады. Бұларда атомдар бір біріне коваленттік байланыспен тартылып жазықтар және тізбектер құрайды, ал олар өзара молекулалық байланыспен тартылады. Графит құрылымында (1-сурет, д) көміртек атомдары бір жазықтықта алты бұрыш жасай бір-бірі-

1-сурет. Кейбір минералдардың кристалдық тор құрылымдарының көрінісі:

а) ас тұзы; б) флюорит; в) кальцит; г) барит; д) графит; е) молибденит. (Үзілімді сызықтармен ең ықтималды сызат жазықтықтары көрсетілген)

нен бірдей қашықтықта коваленттік байланыс пен тартысады да, ал жазықтар өзара молекулалық байланыспен жалғасады. Сызат жазықтықтары осы молекулалық байланыс арқылы өтеді. Бұл байланыстың өте әлсіздігіне сәйкес графит минералы өте жұмсақ болады. Молибденит екі элементтен тұрғандықтан, оның құрылымы өзгешелеу, бірақ байланыс түрлері жағынан графитпен бірдейлігі бар: молибден атомы күкірт атомдарымен негізінде

² Сызат жазықтығы - плоскость спайности.

ковалентті байланыспен тартылып тізбектер құраса, олар өзара молекулалық байланыспен тартылады. Молибдениттің құрылымынан (1-сурет,е) сызат жазықтықтарының тізбектер аралығынан өтетіні, демек молекулалық байланыстар ғана бұзылатыны көрінеді және жаңа бетте тек күкірт атомдары пайда болады. Бұл жай молибдениттің флотациялық қасиетін түсінуде үлкен маңызы бар.

Келесі топқа кристалды торларына кіретін элементтердің өзара тек коваленттік байланыспен (полярі не полярсіз) тартылатын минералдарды жатқызуға болады. Атомдары тек полярсыз ковалентті байланыспен тартылатын минералға алмаз (C) жатады. Көміртек атомдары бір бірінен бірдей қашықтықта және симметриялы орналасқан. Осыған байланысты онда ешқандай сызатты жазықтықтар байқалмайды. Кристалды тор бұзылғанда кез келген бағытта күшті коваленттік байланыс бұзылады. Сондықтан Алмаз жердегі ең қатты минерал.

Құрамы екі элементтен тұратын және олар өзара полярлі ковалентті байланыстармен тартылатын минералға кварц (SiO_2) жатады. Оның кристалы SiO_4 комплекстерінен (оттекті тетраэдрлер) тұрады. Олар радикалдар түзмейді: әр оттект атомы екі көршілес орналасқан тетраэдрлерге жатады. Осыған байланысты барлық бағытта тек күшті коваленттік байланыстар бұзылады.

Келтірілген мысалдармен қаралған жайлар, барлық соларға құрамы жағынан ұқсас минералдарға тән деуге болмайды. Себебі атомдардың валенттігіне қарай, иондық радиустарына және металды қасиеттеріне қарай әр минералдың кристалдық құрылымының өз ерекшеліктері бар.

Минералдарды флотациялық қасиеттеріне байланысты топтауда олардың кристалдық торларының энергиясы тұрғысынан қарауда ұсынылды. Шын мәнінде ол жайдың да маңызы бар. Мысалы, минералдардың бет қасиеті оның суда еруімен де байланысты, ал еру тікелей олардың кристалдық торының мықтылығына тәуелді. Әсіресе сульфидті минералдардың тотығуыда (ол әрдайым еруді күшейтеді) тор энергиясымен байланысты екені дәлелденген: неғұрлым ол жоғары болса, соғұрлым минералдың тотығуы және еруі төмендей береді.

Жоғарыда келтірілген топтастыру жолдары минералдарды кристаллохимиялық тұрғыдан қараудан туған. Олар минералдардың бет қасиетінің өзгеру ерекшеліктерін толық қамтый алмайды. Осы кемшіліктерді ескере отырып Әйгелес минералдарды олардың флотациялық қасиеттеріне байланысты топтастыруды ұсынды. Оларды төмендегі кезекпен қарауға болады.

1. Металсыз қасиетті аполярі минералдар. Бұларға табиғи аз суланатын минералдар жатады: графит, күкірт, көмірлер, силикаттар ішінен слюдалар тобына кіретін минералдар. Осы топқа сульфидті минералдар ішінен молибденитті жатқызуға болады. Бұлардың флотоактивтілігі өте жоғары.

2. Түсті ауыр металдар сульфидтері және сап металдар. Егер олардың беттері тотықпаған болса, табиғи аз суланады. Бұларға мыстың, қорғасынның, мырыштың, сынаптың және тағы басқалардың сульфидтері жатады. Олар сульфгидрильді жинағыштармен (ксантогенаттар, дитиофосфаттар) оңай флотацияланады.

3. Түсті металдардың тотықты минералдары. Оларға жататындар мыстың, қорғасынның және мырыштың карбонаттарымен сульфаттары. Олар алдын ала сульфидтендірілген соң оңай флотацияланады.

4. Құрамдарында жер сілтілі элементтердің катиондары бар полярлі тұз реуешті минералдар (кальций, магний барий, стронций минералдары - кальцит, барит, шеелит, повеллит, апатит, фосфориттер, флюорит, магнезит, доломит). Бұлардың катиондары оксигидрилді жинағыштармен жақсы әрекеттесіп, активтендіргішсізде флотацияланады.

5. Тотықтар, силикаттар және алюмосиликаттар. Бұлардың флотациялануы төмен, ал кейбіреулері тіпті флотацияланбайды. Бірақ бірсыпырасы табиғи активтенген түрде болады да оксигидрилді жайлағыштармен не катионды жинағыштармен флотацияланады.

6. Сілтілі және жерсілтілі металдардың ерігіш тұздары. Олардың үлкен ерекшеліктері сол флотация тек олардың қанықты ерітінділерінде жүреді. Жинағыш реагенттер ретінде майлы қышқылдар және катионды жинағыштар қолданылады.

§ 3. Минералдардың генетикалық ерекшеліктері және флотациялаудағы маңызы.

Табиғатта құрамы химиялық формулаларына дәл сай келетін "таза" минералдар сирек кездеседі. Көпшілік минералдарда үнемі азды - көпті мөлшерде кірме элементтер болады.

Олардың негізгі минералдардың кристалдық торына кіруі әртүрлі процестердің нәтижесінде орын алады. Кейбірі минералдар құрамына оның кристалдық торын бұзбай енсе, ал кейбірі кристалдық торда негізгі элементтің орнына орналасады. Осы құбылыс и з о м о р ф и з м деп аталады. Кірме элементтердің минералдағы проценттік үлесі кейде бірнеше процентке жетеді. Көрнекті мысал ретінде сфалеритті (ZnS) алуға болады. Онда үнемі кадмий және темір кездесіп отырады. Темірдің проценттік үлесі кейде 20%-тен асады. Кірме элементтің изоморфты түрде кіруінің басты шарты иондық не атомдық радиустарының жақындығы. Екінші елеулі маңызы бар шарт валенттіктерінің бірдей болуы. Бірақ әр түрлі элементтердің де кіруі жиі кездеседі. Мұндай кристалды минералдарды қатты ерітінділер деп қарауға болады.

Кірмелердің тағы бір кең тараған түрі минералдарда олардың коллоидты қатты золь түрінде болуы. Мысалы, пиритте алтын, сфалеритте галенит осындай түрде кездесіп, эмульсиялы сепкілдік жасайды. Бұларда кірмелер кристалдық торды бұзбай жеке қатты фаза түрінде болады.

Кірмелердің тағы бір түрі, бір минерал бетінде екінші минералдың кристалдануы. Бұл құбылыс екі минералдың құрылымы неғұрлым жақын болса, соғұрлым жиі кездеседі.

Изоморфизмнің минералдың флотациялық қасиетінің өзгеруіне тигізетін әсері өте зор. Мысалы әр түрлі кен орнынан алынатын бір минералдың флотациялық қасиеті де үлкен шекте өзгертінді тәжірибелер арқылы анықталған. Сонымен қатар бір минералдың бет ауданының әр жерінің қасиеттері әр түрлі болып өзгеріп отырады. Оның изоморфизмнен басқада көптеген себептері бар:

1. Кристалл бұзылғанда оның жазық бетінде, қырларында және бұрыштарында орналасқан атомдардың бос энергиялары әр түрлі деңгейде болады да, реагенттермен әрекеттесуде бірдей болмайды.

2. Кристалдық тордың құрылымына, соған байланысты сызатты жазықтықтардың орналасуына қарай жаңа бетте активті атомдардың пайда болуы (катионды не анионды орталықтар) және олардың бетте орналасуының маңызы зор.

3. Минерал бетінің қасиеттерінің біркелкі еместігіне белгілі дәрежеде әсер ететін жай онда микро-және макро шатынауларымен жырықшалардың болуы.

4. Кристалдық торларда жиі кездесетін ақау түріне, кристалл түйінінде катионның не анионның болмауы, не олардың түйін аралықтарына қосымша кіріп иондардың (атомдардың) стехиометриялық қатынастарының бұзылуы жатады.

Осы келтірілген жайлар табиғи минералдардың бет қасиетінің өте өзгерімді және бір келкі еместігіне айғақты себептер бола алады. Арнаулы әдістермен (құрамында таңбалы атомдар бар реагенттерді қолдану, радиография әдісі) жүргізілген тәжірибелер минералдар бетінде реагенттердің адсорбцияланулары да бір келкі емес, тек әр жерлеріне шоғырлана орналасатынын көрсетті.

Минерал бетінің қасиеттерінің біркелкі еместігін зерттеуде олардың беттерінде катодты және анодты аймақтары (микрорадиографикалық әдіспен анықталған) болатыны анықталды. Осыған сай минерал бетінің бір аймақтарында реагенттің бір түрі адсорбцияланса, екінші аймақтарында басқа реагент адсорбцияланады. Соған сәйкес бір аймақта реагенттің адсорбциялану тығыздығы жоғары болса, екінші аймақта олар аз тығыздықпен адсорбцияланады.

Осындай зерттеулерден алынған нәтижелер негізінде жасалған тұжырымдар, егер бір типті реагенттің екі түрлісі қолданылса минерал бетінің сусыздануы (жинағыштар қолданылса), не сулануы (басқыштар қолданылса) күшейе түсетінін дұрыс түсінуге мүмкіндік берді. Соған байланысты өндірістік тәжірибеде бір текті реагенттердің тіркестері қолданыла басталды. Мысал ретінде ксантогенаттардың екі түрі, не олардың аполярлі жинағыштармен тіркесі, ксантогенатпен дитиофосфаттың тіркестерінің қолдануларын келтіруге болады.

Кристалл торларының ақауларымен байланысты туатын маңызды жайдың бірі-минералдардың жартылай өткізгіштік қасиеттерінің өзгеруі. Алдымен минералдарда жартылай өткізгіштік қасиеттің пайда болуына тоқтайық. Ол қасиет барлық минералдарда бола бермейді. Қандай зат болсын оның өткізгіштігі кристалды торда атомдарды байланыстырып тұратын электрондардың қозғалмалы дәрежесімен анықталады. Осы тұрғыдан қарасақ ионды байланысты минералдарда жартылай өткізгіш қасиет болуы мүмкін емес. Себебі металл атомынан металлоид атомына (не атом тобына) тартылып алынған электрон қозғалыссыз қалыпта болады. Егер атомдар коваленттік байланыспен тартылса, ортақтастырылған

электрондардың азда болса қозғалыс бостандығы болды. Қорыта айтсақ жартылай өткізгіштік қасиет минерал құрамындағы атомдардың тартылуында коваленттік байланыс болғанда ғана пайда болады. Осындай минералдарға бірсыпыра сульфидті және біраз тотықты минералдар жатады.

Жартылай өткізгіштер өткізгіштермен диэлектриктер екі аралығында жатады, үлесті кедергілер мөлшері 10^{-3} - 10^6 Ом.см. Минералдардың осы қасиетінің флотация процесінде маңызды роль атқаратынын еске алып оның табиғатына тоқтала кетейік.

Жартылай өткізгіштердің қасиетін өткізгіштермен салыстырсақ, бірсыпыра ерекшеліктері бар. Металдарда валенттік электрондар бос, қозғалмалы түрде болады. Сондықтан олардың осы қалпын электронды газ депте атайды. Жартылай өткізгіштерде атомдардың ортақтастырылған электрондары /ковалентті байланыспен/ тек сырт энергия әсерімен /жылу, жарық, ядролық сәулелендіру және т.б./ босанып, қозғалмалы күйге түседі.

Өткізгіштерде аталған факторлар олардың өткізгіштігін төмендетеді, ал жартылай өткізгіштерде олар, керісінше, жоғарлатады.

Жалпы өткізгіштердің, жартылай өткізгіштердің және диэлектриктердің айырмашылықтары қатты заттың квантты теориясымен нақтылы түсіндіріледі. Жартылай өткізгіштермен диэлектриктерде электрондар орналасуына болатын рұқсатты энергетикалық деңгейлер бос емес. Ол деңгейлердің жиынтығы валенттік зона деп аталады. Сырт энергия әсерімен жартылай өткізгіштерде электрондардың белгілі мөлшері босап өткізгіш зонасына өтеді. Жартылай өткізгіштерде валенттік зона мен өткізгіш зоналары арасында рұқсатты энергетикалық деңгейлер болмайтын зона бар. Ол тыйым салынған зона аталады /2-сурет/. Оның ені электронды валенттік зонадан өткізгіш зонаға шығару үшін қажетті энергия мөлшерін көрсетеді. Жартылай өткізгіштер үшін ол 0,1-3,0 Эв болса, диэлектриктер үшін 3-4 эВ. Металдарда тыйым салынған зона жоқ. Сондықтан электрондардың валенттік зонадан өткізгіш зонаға өтуіне энергияның қажеті жоқ.

2-сурет. Жартылай өткізгіштердегі энергетикалық деңгейлер мен зоналар.

Жартылай өткізгіштерде жылу әсерімен валенттік зоналардағы электрондардың біразы жоғарғы зоналарға ауысады. Төменгі зонадағы босап қалған орын "тесік" деп аталады. Жоғарғы зонада әлі де болса бос орындар көп болғандықтан электрондар өздерінің қозғалыс күйін өзгерте алады. Сыртқы өрістік әсерінен олардың жылдамдығы артып электр өткізгіштік қасиет пайда болады. Төменгі зонадағы тесіктер де электр өткізгіштік процесіне қатысады. Ток өткізу процесінде электрондар бір бағытта жылжыса, тесіктер қарама- қарсы бағытта жылжиды. Жоғарғы зонадағы электрондар өріс бағытына қарсы қозғалып электрондық өткізгіштік тудырса, валенттік зонадағылар өріс бағытымен жылжып тесіктік өткізгіштік тудырады.

Жартылай өткізгіштердің қаралған өткізу схемасы тек таза заттарға тән болады да, өткізгішті меншікті жартылай өткізгіш деп атайды. Егер минералдарда кірмелер болса, олардың электр өткізгіштігі біраз өзгереді. Сондықтан олар кірмелі жартылай өткізгіштер деп аталады. Олар екі түрге бөлінеді: донорлық және акцепторлық болып. Егер кірме элементтің валенттігі үлкен болса (минерал атомдарының валенттігінен), онда оның артық электрондары өткізгіш зонаға шыға алады. Мұндай кірмелер донорлы кірмелер деп аталып, ал жартылай өткізгіш электронды n - типке айналады. Егер кірме элементтің валенттігі минерал атомының валенттігінен кіші болса, онда кірме элемент атомы кристалл атомдарымен коваленттік байланыспен әрекеттесуіне электрон жетіспей қалады. Сондықтан оның орны бос қалады да тесік пайда болады. Ол тесікті толтыру үшін көрші байланыстардан электрон ауысады. Осының нәтижесінде p-типті тесікті жартылай өткізгіш қасиет пайда болады. Себебі ауысқан электрон орнын екінші электрон толтырады, сонда электрон қозғалу бағытына қарсы бағытта тесікте орын ауыстырып отырады. Сөйтіп тесіктер жылжыған болып шығады. Осындай кірмелерді акцепторлы кірмелер деп атайды (демек, донорлы кірмелерді бергіш десек, акцепторлы кірмелерді қабылдағыш деп атауға болады).

Қаралған кірмелер түрлерінен басқа жартылай өткізгіштерге донорлықта және акцепторлықта қасиет туғызатын кірмелер түрлері де бар. Мысалы, германийде мыс, алтын, никель, темір және тағы басқалар, ал кремнийде мыс және алтын осындай қасиетті болады.

Минералдарда (жалпы жартылай өткізгіштерде) олардың құрамындағы меншікті атомдарда кірмелердің ролін атқаруы мүмкін. Мысалы, ковеллин (CuS) минералында күкірт стехиометриялық қатынастан артық болса (керісінше, мыс атомдары жетіспесе), онда ол меншікті жартылай өткізгіштен электронды жартылай өткізгішке айналады. Сол сияқты мыс атомы артық болса тесікті жартылай өткізгішке айналады.

Табиғатта кірмесіз таза минералдар кездеспейді деуге болады. Осыған байланысты кірмелердің минералдардың өткізгіш және адсорбциялық қасиеттеріне тигізетін әсері жоғары. Осы тұрғыдан қарасақ жартылай өткізгіштік қай типке (n не p) жататынын білуге байланысты минерал бетінің реагенттермен әрекеттесу мүмкіндігін жорамалдауға болады. Флотациялауда қолданылатын реагенттердің көпшілігі минералдың бет қасиетін аниондарының адсорбциялануы арқылы өзгертеді. Олай болғанда әрекеттесу кезінде олар электрондарын көпшілік жағдайда ортақтастырады. Бұл процесс, әрине, егер минерал тесікті жартылай өткізгіш болса оңай жүреді, ал электронды типке жатса адсорбция қиындайды. Реагенттердің адсорбциялану дәрежесі электрондар мен тесіктердің қатынасы мен және концентрацияларымен тығыз байланысты. Бұл параметрлер минералдардың термоэлектрқозғалыс күшін және тоқ өткізгіштігін өлшеу арқылы табылады.

Минералдардың флотациялану қасиетіне үлкен әсер ететін жай кенді ұнтақтау кезінде минералдардың бір - бірінен толық ажырамауы, демек қауышпа түрінде қалуы. Шын мәнінде кеннің жаратылысына қарай оның құрамындағы минералдар бір - бірімен алуан түрде қауышты келеді. Осыған байланысты уақтау процесінде олардың толық ажырауы мүмкін емес. Соның салдарынан бағалы минералдарды бөліп алу дәрежесінде, алынған концентраттың сапаларыда көпшілік жағдайда жоғары болмайды.

Қауышпаның көп түрде болуынан оларды жүйелі топтау қиын. Бірақ оларды ажыратылу мүмкіншілігіне қарай біраз негізгі топтарға шартты бөлуге болады. Қауышпаның жиі кездесетін және басқа түрлеріне қарағанда оның флотациялану мүмкіндігін дәлірек анықтауға болатын түрі келтірілген 3 а - суретте. Оның флотациялану қасиеті түйіршіктің бет ауданында әр минералдың үлесінің мөлшерімен анықталады. Егер бет ауданның негізі флотацияланатын минералдан тұрса, ол концентратқа шығады да, керісінше, флотацияланбайтын минералдан тұрса қалдыққа кетеді. Мұндай қауышпалардың ұнтақтау процесінде ажыраулары оңайырақ.

3 - сурет. Минералдардың бір - бірімен қауышу түрлері.

3б - суретте бір минерал бетінде екінші минералдың қабыршағы бар, не қабыршақ негізгі минералдың өзгерген түрінен тұрады /мысалы сульфидті минерал бетінде оның тотықты минералы/. Бұл қауышпада қабыршақтың массалы үлесі өте аз болғанмен түйіршіктің бет қасиеті сол минералдың қасиетіне тәуелді. Қауышпаның бұл түрінің ажырауына ұнтақтау процесінде көп уақыт қажет. Себебі ол соққылау әрекетпен ажырамайды, тек бет ауданы біртіндеп ысқыланатын режимде ғана ұнтақталса белгілі дәрежеге дейін ажырауы мүмкін.

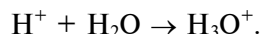
3в-суретте бір минерал екінші минерал ішінде эмульсиялы сепкілді. Мұндай қауышпаларды іш жүзінде ажырату қиын. Егер кенді сепкілдігіне сай ұнтақтаса онда оның негізгі бөлегі мөлшерден тыс ұнтақталып бағалы зат қалдықта қалып қояды.

§ 4. Судың қасиеттері

Флотация сулы ортада жүретіндіктен оның процеске әсері ерекше. Минералдар беттерінің сулану не суланбауы, реагенттердің еруі және иондарға диссоциялануы, тағы басқа процестердің көпшілігі су қасиетіне байланысты. Спектроскопиялық зерттеулермен табылған су молекуласының құрылымы келтірілген сутек атомдарының оттек атомдарымен байланысы олардың электронды қабаттарының ең үлкен айқасу мүмкіндігін туғызатын бағытта жасалады (4-суретте).

4-сурет. Су молекуласының құрылымы.

Су молекуласы әр түрлі зарядты екі ионнан H^+ және OH^- / құралады деп есептеледі. Шын мәнінде H^+ ионының иондық радиусы өте кіші болғандықтан ол молекула құрамына еніп гидроксония ионында H_3O^+ / құрайды:



Су молекуласы үздіксіз ауыспалы қасиетті күйде болады. Жоғары температурада ол газ күйіне жақындаса, төменгі температурада оның қасиеті қатты зат қасиетіне жақындайды. Оның молекулалары 4° тан 150° - қа дейін кварц реуешті құрылым жасап топтанса, 0° - тан 4° - қа дейін тридимитті (мүзға ұқсас) құрылым жасап топтанады.

Флотация процесі тұрғысынан қарағанда судың ең маңызды қасиеті оның молекулаларының полярлі қасиетті болуы. Ол қасиетті тудыратын жай әр түрлі екі элементтің коваленттік байланысында олардың атомдары ортақтастырған электрон қосақтары электр терістігі күштірек атом бағытына ауытқуы. Осының нәтижесінде екі атомның оң және теріс зарядті электрлі орталықтары бір біріне дәл келмейді. Осындай дәл келместік дәрежесі байланыс полярлығымен сипатталады. Оның санды өлшемі дипольді момент (м) деп аталады. Ол екі атом зарядтарының (е) оң және теріс зарядты орталықтар арасындағы қашықтығының (ℓ) көбейтіндісіне тең ($\mu = e\ell$). Оның бірлік өлшемі дебай ($D = 10^{-18}$ э.стат. ед.см). Су молекуласының дипольді моменті 1,84 D. Оның кіші не үлкен екенін мөлшерлеу үшін екі сұйықтың дипольді моменттерін келтірейік: этил спиртінде -1,67 D, ацетонда 2,71D. Осыдан су молекуласының полярлығы жоғары екенін көреміз.

Су молекулаларының диссоциалануы өте төмен. Сондықтан тоқ өткізгіштігіде мардымсыз. Мысалы тазаланған ауамен шектескен судың тоқ өткізгіштігі 18°C -да $10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Оның осы қасиетіне әсер ететін жай температура. Егер 25°C -да судың ионды көбейтіндісі ($K_w = qn^+ \cdot qn^-$) $1,0 \cdot 10^{-14}$ болса, 30°C -да $1,89 \cdot 10^{-14}$, ал 50°C -та $5,474 \cdot 10^{-14}$.

Табиғи суда көптеген иондар кездеседі Соған байланысты оның қасиеттері әр түрлі деңгейге дейін өседі. Тоқ өткізгіштік қасиеті иондардың концентрациясына байланысты. Маңызды жайдың бірі су молекулаларының иондармен әрекеттесуі.

Иондардың сулануы (гидратация). Табиғатта таза су кездеспейді деуге болады. Әрдайым оның ішінде көптеген ион түрлері кездеседі. Ион зарядты бөлшек болғандықтан электр өрісін тудырады. Өріс әсерімен полярлы молекулалар бағытты қозғалып иондарға тартылады. Ион, мысалы теріс зарядты болса, су молекуласы оң зарядты орталық орналасқан жағымен бұрылып әрекеттеседі және керісінше. Ионның су молекулаларын тарту күші неғұрлым валенттігі үлкен болса, соғұрлым жоғары болады. Валенттіктері бірдей иондардың тарту күші олардың иондық радиустары кішірейген сайын артады.

Ионның сулану энергиясын төмендегі өрнекпен есептеуге болады:

$$H = \frac{e^2}{2r} \left(1 - \frac{1}{D} \right),$$

мұнда e - ион заряды

r - ион радиусы

D - ортаның диэлектрикалық тұрақтысы.

Мына қатарда H^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ иондардың сулану энергиясы 255 ккал/грам.ионнан 77 ккал/грам.ионға дейін өзгереді. Жалпы аниондарға қарағанда катиондардың сулану дәрежесі жоғары болатындығы анықталған.

Су молекулаларының иондарға тартылуы, олардың әрекеттесуі су дипольдарының өзара тартылысынан (сутек байланысымен) жоғары екенін көрсетеді. Жалпы сулану экзотермилді процеске жатады. Сондықтан ол өздігінен жүретін процесс.

Флотациялық процесс тұрғысынан қарағанда тағы бір маңызды жай иондар айналасындағы су молекулаларының көп қабаттан тұратындығы және олардың ерекшеліктері. Су молекулаларының ең бірінші қабаты ионға күшті тартылады және молекулалар өте реттенген тәртіппен бағытталады. Келесі қабаттардағы молекулалардың тартылу күші біртіндеп азайып және бағытталу тәртібіде бәсеңдей бастайды. Белгілі бір қашықтықта су молекулалары өзгермеген қалыпқа түсіп, ион бетінен босайды (5-сурет)

5-сурет. Ионды қоршаған гидратты қабат құрылымы.

Гидратты қабатта³ су молекулаларының ретті орналасу нәтижесінде оның қасиеті көлемді су қасиетінен өзгеше болады. Ол қабаттағы молекулалар жеке қозғалысты күйлерін жоғалтып тек ионды қоршаған шоғыр түрінде қозғалады. Осы қабаттардың қалыңдығы жүздеген кейде мыңдаған ангстремге жетеді. Осыған байланысты суда иондардың концентрациясы өскен сайын су молекулаларының топтануы да жоғарылап судың тұтқырлық қасиеті арта түседі. Гидратты қабаттың осы қасиеті флотациялау процесінде өте маңызды роль атқарады.

Гидратты қабаттың қалыңдығына әсер ететін сыртқы факторларға жататындар: судың температурасы және оның араластыру нәтижесінде қозғалыста болуы.

Неғұрлым температура жоғары болса және араластырылса, оның сырт қабаттарындағы молекулалар жылу және механикалық күштер әсерімен көлемді суға шығып, гидратты қабат жұқаланады.

Сонымен, судың құрылымы мен қасиеттері құрамымен тығыз байланысты екенін көреміз.

§ 5. Ауа қасиеттері

Флотация процесіне қатысатын фазаның бірі ауа. Біріншіден, көбікті флотацияда минерал түйіршіктері ауа көпіршіктеріне (әр түрлі әдістермен пульпаға енгізілген) жабысып, бірге қалқып шығып көбік құрайды. Екіншіден, ауа құрамындағы газ молекулалары суда еріп, минерал беттерімен әрекеттесу нәтижесінде олардың бет қасиеттерін өзгертеді, демек флотореагент ролін де атқарады.

Ауа құрамына көптеген газдар кіреді. Олардың негізгілері азот (салмағы бойынша 75,6 %), оттегі (23,1 %), аргон (1,286%), көмір қышқыл газы (0,046 %). Бұлардан басқалары: гелий, неон, криптон, ксенон, озон, радон және сутегі. 1л ауа салмағы 0°C және 1 атм. қысымда 1,2928 г. Су ішінде еріген ауаның 34,82% оттектің үлесіне, 65,18% азоттың үлесіне тиеді, демек оттегі көбірек ериді. Басқаша айтсақ 20°C және 1 атм. қысымда 1л суда 0,0157 л азот, 0,0311 л оттегі ериді.

Газдардың суда еруі температура жоғарлаған сайын төмендейді де, қысым жоғарлаған сайын артады. Қысымға байланысты өзгеруі Генри заңымен анықталады. Газдардың қосындылары ерігенде әр қайсысының еруі олардың парциальды қысымдарына тәуелді (Дальтон заңы).

Флотацияның бірсыпыра түрлері (вакуум-флотация, ұнтақ минералдар түйіршіктерін суда еріген газ молекулаларының минерал бетінде көпіршіктерге айналуына байланысты флотациялау және т.б.) газдардың суда еруімен байланысты болады.

Флотацияда өте маңызды роль атқаратын жай, суда еріген газдардың минерал беттерімен әрекеттесуі. Осы тұрғыдан қарағанда газдардың ішіндегі ең маңыздысы оттегі.

Оттектің химиялық активтілігі өте жоғары екені белгілі. Соның нәтижесінде ол көптеген басқа элементтермен әрекеттесіп жер қыртысындағы минералдардың құрамына кіреді. Атмосфералық қысымда, 18°C-де 1 л суда 9мг оттегі ериді. Оның судағы концентрациясы ауадағы концентрациясынан жоғары.

Оттектің тотықтандырғыш қасиеті сульфидті кендерді флотациялауда үлкен роль атқарады. Оның судағы концентрациясын реттеу арқылы сульфидті минералдардың бет қасиетін үлкен шекте өзгертуге болатыны белгілі. Бұл мәселе толығырақ кейінгі бөлімдерде қаралады. Оттегі молекулалары сульфидті минералдар бетіне тек адсорбцияланып қоймай олардың суда еруіне, қолданылатын бірсыпыра реагенттермен әрекеттесіп олардың ионды-молекулалық құрамдарын өзгертуге үлкен әсерін тигізеді. Оның активтілігі су ішінде тек молекула түрінде ғана болмай атомдар (0) және ион (O²⁻) түрінде болуымен байланысты.

³ Бұдан былайғы материалда ион, минерал және ауа көпіршіктері бетінде пайда болатын су қабаты гидратты қабат деп беріледі.

Су ішінде еруі жоғары және су қасиетінің өзгеруіне үлкен әсер ететін көмірқышқыл газы. Оның ерігіштігінің жоғары болуы сумен әрекеттесіп көмір қышқылын түзеуі. Соның нәтижесінде судың қышқылдығы артады, мысалы, $pH=7$ ден $pH=5,5$ не дейін төмендейді.

Көмір қышқылының диссоциациялану нәтижесінде пайда болатын карбонат ионы көпшілік минералдар бетімен, судағы иондармен әрекеттесіп флотация процесіне айтарлықтай әсер етеді.

III-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ФАЗАЛАРДЫҢ ШЕКАРАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.

§1. Бет энергиясы

Флотациялық процестің теориялық мәселелерінің ішіндегі басты орын алатын жай процеске қатысатын фазалардың шекаралықтарының (қатты зат-су, су-газ, қатты зат-газ) энергетикалық сипаттамасы, дәлірек айтсақ, бет энергиялары.

Қатты заттың кристалдық торының іш көлемінде орналасқан атом не иондардың энергетикалық күйлері оның бетіндегі атомдардың энергетикалық күйлерінен көп өзгеше. Ішкі қабаттағы атомдар өздерін қоршаған басқа атомдармен әрекеттесуде барлық валенттік электрондарының энергиясын түгел шығындап, энергетикалық тепе-теңдік күйде болады. Кристалдық тордың бұзылуынан (ұсақтау, ұнтақтау нәтижесінде) пайда болған беттегі атомдардың энергетикалық күйі өзгереді. Олар ішкі қабаттағы атомдармен байланысты бұрынғысынша сақтаса, ал ол бетпен шектескен жаңа фазамен байланысында энергетикалық күйі өзгереді: бұрынғы байланысқа жұмсалған энергияның белгілі мөлшері босайды. Осы потенциалды энергия бет энергия деп аталады. Ауамен шектескен су бетіндегі молекулалардың энергетикалық күйі осындай болады. Себебі су молекулаларының өз ара тартысы олардың ауа молекулаларымен тартысу күшінен көп жоғары. Осының нәтижесінде судың бетіндегі молекулалардың энергиясы толық шығындалмайды. Олар қозғалмалы күйде болғандықтан астыңғы қабаттағы молекулалардың тарту күшімен астыңғы қабатқа қайта өтеді де, олардың орнында басқалары пайда болады. Осылай бет қабатта бос энергия сақталады. Су мен ауа шекаралығындағы бос энергия бет тартылысы деп аталады.

Бет энергияның өлшемі $\frac{\text{жұмыс}}{\text{аудан}} = \frac{\text{ЭРГ}}{\text{см}^2}$, ал бет тартысы-
ның өлшемі $\frac{\text{күш}}{\text{ұзындық}} = \frac{\text{дин}}{\text{см}}$, 1 см^2 ауданға шаққандағы бет энергия үлесті бет энергиясы деп аталады.

Бет энергиясы шектесетін екі фазаның полярлықтарының айырмашылықтарымен, басқаша айтсақ, әр фазаның ішіндегі атом аралық не молекулалық тартыс күштерінің айырмашылықтарымен анықталады. Мысалы, ауамен шектескен бір қатты заттың бет энергиясы, оның сумен шектескен бетпен салыстырғанда әлде қайда жоғары. Сондықтан бет энергия мөлшері шектесетін фазалардың қасиеттерімен байланысты.

Сұйық заттардың бет энергиялары бірнеше әдістермен дәл өлшенеді. Судың ауамен шектескен бетіндегі энергия 18°C $72,5 \text{ ЭРГ/см}^2$. Температура жоғарласа, не оның ішінде кірме ретінде басқа заттар болса төмендей бастайды.

Қатты заттардың бет энергияларын дәл өлшейтін әдіс әлі табылған жоқ. Бірақ теориялық тұрғыдан қарап, не кей бір тәжірибелік әдістермен салыстырмалы түрде болжам жасауға болады. Мысалы, кристалды тордың энергиясын есептеу арқылы, не болмаса минералдардың ерігіштігін анықтау арқылы жанама түрде салыстыруға болады. Бірақ ондай болжамды мәндер, әрине, абсолюттік мәндерден көп өзгеше болары сөзсіз.

§ 2. Минерал беттерінің энергетикалық сипаттамасы және сумен әрекеттесуі

Флотациялық процесс минерал беттерінің сулануына негізделгендіктен олардың су молекулаларымен әрекеттесу ерекшеліктері ең басты мәселе болып саналады. Осы тұрғыдан қарағанда минерал бетінің бос энергиясы шешуші роль атқарады.

Жоғарыдағы тарауда минералдың кристалдық торында атомдар не атом топтары (иондармен молекулалар) үш түрлі күшпен-ионды, ковалентті және молекулалық - байланысатыны қаралды. Кей бірінде тек ионды байланыс қана болса (мысалы, Ca F_2), екіншілерінде тек ковалентті (алмаз-С), ал көпшілігінде ионды-ковалентті байланыс орын алады. Бірсыпыра минералдарда атомдар ионды-молекулалық не ковалентті-молекулалық (графит,) күштермен байланысады. Осы байланыс түрлеріне сай олардың құрылымдары сан түрлі өзгереді. Құрылым ерекшеліктеріндегі маңызды жай кристалдық торда сызат жазықтықтарының болуы.

Минерал кристалдары бұзылғанда жаңадан пайда болатын беттегі бос энергия қандай байланыс күштерінің үзілгендігімен анықталады. Егер күшті ионды және ковалентті (полярсız не полярлы) байланыстар үзілсе бос бет энергияда жоғары болады. Соның нәтижесінде минерал бетінде күшті электр өрісі туады. Керісінше, егер молекулалық байланыстар үзілсе бетте күш өрісі өте мардымсыз болады. Молекулалық байланысты минералдарда жарылыс негізінен сызат жазықтықтарының бойымен жүреді.

Байланыс күштерінің ерекшеліктерінен басқа бет бос энергиясының мөлшері минерал түйіршіктерінің бетінде атомдардың орналасу орындарыменде тығыз байланысты. Энергиясы ең көп босайтыны бұрыштарда орналасқан атомдар (6-сурет).

6-сурет. Атомдар байланыстарының қанығу дәрежелерінің олардың орналасу орнына тәуелділігі

Олардың байланыстары үш бағытта үзіледі. Кристалл қырларында орналасқан атомдар байланысы екі бағытта үзілсе, жазық беттегілерінің байланысы бірғана бағытта үзіледі. Тор ішіндегі атомдар бар энергияларын барлық бағытта өздерін қоршаған атомдармен байланысқа шығындайды.

Сонымен минералдар бетінің қоршаған орта компоненттерімен әрекеттесуі бос бет энергиясының деңгейі, демек оның полярлығы және зарядтануына негізделген. Минерал бетіндегі электр өрісінің әсерімен су молекулаларының полярлығы артып, ол бетке электростатикалық күшпен тартылады. Бет потенциалының күшіне қарай минерал бетінде су қабаты пайда болады.

Минерал бетіне су молекулаларының тартылуы иондарға тартылуға ұқсас болғанмен өз ерекшеліктері бар: 1) минерал бетіне су молекулалары тек босаған бет энергия күшімен ғана тартылады, ал иондардың электр өрісін оның толық валенттік энергиясы тудырады; 2) минерал бетінің сулануын, оның бетіне су молекулаларымен қоршалған иондардың адсорбциялануы күшейте түседі; 3) минерал беті сумен ғана емес суда еріген газдарменде әрекеттеседі. Олардың ішіндегі ең активтісі оттект. Сульфидті минералдардың кристалл торлары бұзылғанда күшті байланыстар үзілуіне байланысты бет энергиясы жоғары болады да, су молекулалары күшті тартылады. Бірақ аз уақыт ішінде оттектің әрекеті нәтижесінде бет энергиясы төмендейді. Соның салдарынан су молекулаларының тартылуы төмендеп сулану азаяды. Бұл процесте көпке созылмайды. Оттект әрекетінің нәтижесінде сульфидті минерал бетінің химиялық құрамы өзгеріп оның сулануы қайтадан күшейеді.

Су молекулаларының минерал бетіне тартылуы тек бос бет энергиясына ғана тәуелді емес, сонымен бірге су молекулаларының өз ара тартысу күшіне де тәуелді. Молекулалық байланысты кристалдар торы бұзылғанда су молекулаларының бетке тартылмауы не нашар тартылуы минерал бетінің полярлік тарту күшінен су молекулаларының өз ара тартысу күші болатындығын көрсетеді.

Бір текті заттың (мысалы сұйықтың) молекулаларының өзара тартысуы когезия деп аталып, оның шамасы көлденең қыйынды ауданы 1 см^2 сұйық бағанасын сондай қыйықты екі бағанаға бөлуге жұмсалатын когезия жұмысымен (эрг/см^2) сипатталады.

Екі текті заттың (әр түрлі фазалар) шекаралық бетте әрекеттесуіндегі молекулалар тартысуы адгезия деп аталады. Бір фазаның шекаралық бет арқылы екінші фазамен тартысуы соларды бөлуге шығындалатын энергияны қажет етеді. Шекаралық бет ауданының бірлігіне шаққандағы жұмысты адгезия жұмысы деп атайды (эрг/см^2). Ол әр фазаның бет энергияларының қосындысынан солардың шекаралық бетіндегі энергияны алғанға тең. Мысалы, минерал бетімен су тартысында адгезия жұмысы былай сипатталады:

$$W_a = G_{C-Г} + G_{К-Г} - G_{C-Т},$$

мұнда $G_{C-Г}$, $G_{К-Г}$ және $G_{C-Т}$ су газ, қатты зат-газ және су-қатты зат шекаралықтарындағы энергиялар (7-сурет).

7-сурет. Қатты зат бетінің әр түрлі сулануы.

Судың минерал бетімен әрекеттесу шарты: минералмен судың адгезия жұмысы судың когезия жұмысынан артық болуы.

Минерал бетінің сулану дәрежесі шеттік сулану бұрышымен сипатталады (Θ). Шеттік сулану бұрышы деп, үш фазаның (қатты зат, су, газ) түйіскен нүктесінен су-газ шекаралық бетке жүргізілген жанамамен су мен қатты зат шекаралық сызығы арасындағы бұрышты атайды. Ол су жағына қарай бағытталады.

Шеттік сулану бұрышы теориялық тұрғыдан қарағанда 0° - тан 180° - қа дейін өзгеруі мүмкін. 0° судың қатты зат бетінде жұқа қабат жасай жайылып кететінін көрсетсе, 180° - қа жетпей осы екі аралықта әр түрлі мөлшерде өзгеріп отырады.

Беті аз суланатын зат гидрофобты деп, суланғыш зат гидрофильді деп аталады.

Шеттік сулану бұрышының тұрақтанған тепе-теңдік шамасы үш фазаның шекаралық беттеріндегі энергиялардың өзара қатынастарымен анықталады. Ол Давидов-Нейман теңдеуімен сипатталады:

$$G_{C-Г} \cdot \cos\theta = G_{К-Г} - G_{К-С}.$$

Флотациялау процесінде $G_{К-С}$ және $G_{C-Г}$ реагенттерді қолдану арқылы өзгертіліп, минерал бетінің сулану дәрежесі реттеліп отырады.

Үш фазаның (қатты зат, су және газ) түйіскен сызығы сулану периметры деп аталады. Жазық қатты зат бетіне су тамшысы тамызылса сулану периметры шеңберлі сызық түрінде болады.

Абсолютті гидрофильді не гидрофобты заттар жоқ. Мысалы, ең аз суланатын затқа парафин жатады. Оның сулану бұрышы 112° -қа тең. Флотациялау тәжірибесінде минерал бетінің сулануын төмендету үшін жинағыш реагенттермен өңдегенде сулану бұрышы көбінде 90° - қа да жетпейді. Әрине, бұрыш өскен сайын, демек минералдың гидрофобтығы артқан сайын оның ауа көпіршігіне жабысуы жылдамдайды. Сонымен шеттік сулану бұрышы флотациялық фазалардың шекаралық беттерінің сумен әрекеттесуін сипаттауына байланысты минералдың флотациялық активтігін көрсете алады. Бірақ ол нақтылы флотациялық процесте өлшенбегендіктен, көптеген факторлар ескерілмейтіндіктен оның шамасына қарап флотациялау нәтижелерін болжауға болмайды.

Флотациялық процесте сулану гистерезисы маңызды роль атқарады. Сулану гистерезисы деп, үш фазалық сулану периметрінің қатты зат бетінде жылжуының ақырындауын айтады. Сол себептен шеттік сулану бұрышының шамасы тепе-теңдік шамаға жетпейді. Сулану гистерезисін көлбеулі қатты зат бетінде су тамшысының жылжу кезінде, не жазық бетте оның жайылу кезінде, сол сияқты су ішінде қатты зат бетіне қондырылған ауа көпіршігінің жылжуы кезінде байқауға болады (8-сурет, а,б)



8-сурет. Ауа көпіршігі ішінен ауа сорылғанда сулану периметрінің әр түрлі тұрақтылығы:
а) гидрофобты минерал; б) гидрофильді минерал.

Сулану гистерезисы, біріншіден, үш фазалық сулану периметрінің әр бағытта: судан газға қарай не, керісінше, газдан суға қарай жылжуына, демек, қатты зат бетінен су газды ығыстыруына, не газ суды ығыстыруына байланысты. Екіншіден, ол минерал беті неғұрлым бұдырлы болса және аз суланатын болса, соғұрлым жоғарылайды. 8, а суретте сулану гистерезисының алдын ала жинағыш реагентпен өңделген бетте орнында қозғалмай (көпіршік ішінен ауа сорылғанда), ал суланғыш бетте ол жылжып, көпіршік пішіні өзгермей қалады (8,б сурет). Үшіншіден, минерал бетінде ауа көпіршігінің (су ішінде) жылжымалы күйде болғанда сулану гистерезисының шамасы жылжымаған көпіршік гистерезисынан 25-30% жоғары болатыны анықталған.

Сулану гистерезисын математикалық әдіспен дәл сипаттауға болмағанмен флотациялық процесте ауа көпіршігіне минерал түйіршіктерінің жабысуында маңызды роль атқаратыны сөзсіз: неғұрлым минерал беті аз суланса, соғұрлым оның флотациялану ықтималдығы жоғарылайды. Басқаша айтқанда, минерал бетінде су ауа көпіршігін ығыстыра алмайды, демек үш фазалық сулану периметрінің жылжуы төмендейді.

§ 3. Минералдардың бетінде қос электрлі қабаттың пайда болуы.

Су молекулалары минерал бетімен әрекеттесуі нәтижесінде гидрат қабатын түзеп қана қоймай, көпшілік жағдайда оны белгілі мөлшерде еріте бастайды. Демек, минералдың кристалдық торының бет қабатынан иондар босанып суға шығады.

Минералдардың суда еруінің басты шарты: сулану энергиясы (Н) кристалдық тор энергиясынан (Н) жоғары болуы қажет ($H > H_0$).

Еру процесінде кристалдық тордың энергиясы ерітіндіге көшеді де, сонымен қатар иондардың сулануынан энергия бөлінеді. Осы екі энергиялар арасындағы айырмашылық минералдың суда еру жылжуының көрсетеді.

Кристалдық тор ионының сулану энергиясы оның валенттігі неғұрлым үлкен болса, және ион радиусы кіші болса, соғұрлым жоғары болады. Бірақ кристалды тор энергиясының өсуімен салыстырғанда ионның сулану энергиясы валенттіктің үлкеюімен байланысты өсуі өте аз жылдамдықпен өзгереді. Осының нәтижесінде, мысалы, екі валентті металдардың минералдарының суда еруі бір валентті металдар минералдарының суда еруінен көп төмен.

Егер катиондары бірдей, бірақ иондық радиустары әр түрлі аниондары бар қосылыстарды алсақ олардың суда еруі иондық радиус өскен сайын күрт төмендейді (1-кесте)

1-кесте

Күмістің галоидты қосылыстарының ерігіштігі

Қосылыстар	Иондық радиустар, $\text{\AA}$		Ерігіштік, г/л
	катион	анион	
Ag F	1,13	1,33	1818
Ag Ce	1,13	1,81	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Ag Br	1,13	1,96	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Ag J	1,13	2,20	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Минералдардың суда еруінде маңызды роль атқаратын жай, суда еріген газдармен әрекеттесу нәтижесінде олардың бет қабатының химиялық құрамының өзгеруі. Сульфидті минералдар беттері оттекпен әрекеттесу нәтижесінде тотығып сульфаттарға, көмір қышқыл газымен әрекеттесіп карбонаттарға айналады, демек сульфид (S^{2-}) иондары сульфат (SO_4^{2-}) және карбонат (CO_3^{2-}) иондарына айналады. Сол себептен бет қабатта кристалды тордың

энергиясы азайып, керісінше, аниондардың сулану энергиясы артады да еру басталады. Мысалы, темір, мыс және мырыш сульфаттарының суда жақсы еритіні белгілі. Сол сияқты қорғасын сульфатының ($Pb\ SO_4$) ерігіштігі оның сульфидімен (галенит) салыстырғанда көп жоғары.

Көптеген минералдардың бет қабаттарының еруі нәтижесінде, онымен қатар қолданылатын табиғи суда көптеген катиондар мен аниондардың болуымен байланысты флотациялық пульпада ескерілмейтін әр түрлі реакциялар жүріп жатады. Иондар тек бір бірімен ғана реакцияға түсіп қоймай минерал беттерінде адсорбцияланып олардың бет қасиеттерін өзгертіп, қолданылатын реагенттермен әрекеттесу нәтижесінде олардың шығындарын молайтады. Әсіресе тотықты кендерді флотациялауда кальций, магнит және темір катиондарының залалы үлкен. Себебі олар жинағыш реагенттермен әрекеттесу нәтижесінде шөгінділер түзіп реагенттердің шығынын жоғарылатып жібереді.

Минералдардың сумен әрекеттесіп азды-көпті еруі нәтижесінде олардың беттерінің электрлі қасиеттері өзгереді: минерал және су шекаралық бетте қос электрлі қабат пайда болады.

Су молекулаларының кристалдық тор бетіндегі иондармен әрекеттесу энергиялары әр түрлі. Осыған байланысты беттен аниондар, не катиондар суға көбірек шығады да беттік электробейтараптығы бұзылады. Егер суға аниондар көбірек шықса, минерал бетінде негізінде катиондар қалады да бет оң зарядталады және керісінше болады. Бірақ ионның тек бір түрінің суға шығуы жалғаса бермейді. Себебі, мысалы, аниондар шыққан сайын минерал бетінің оң зарядтануы арта бастайды да аниондарды тарту күшіде өсе түседі. Осының нәтижесінде минерал бетімен ерітінді арасында тепе-теңдік (тұрақтылық) туады. Осылай минералмен су арасындағы шекаралықта қос электрлі қабат пайда болады. Оның құрылымы (9-суретте) көрсетілген.

9-сурет. Қос электрлі қабаттың құрылымы.

2-2 - минералмен су шекаралығы; А-А- минерал бетінің катиондары суға шығып, тек аниондары қалған қабат, демек қос электрлі қабаттың ішкі қабаты; к-к - қос электрлі қабаттың сыртқы қабаты; к' - к' - сыртқы қабаттың қозғалмалы бөлегі;

1-1 - минералдың бұзылмаған және тек аниондар қалған қабаттарының шекаралығы; 3-3 қосқабаттың сыртқы қабатының қозғалыссыз және қозғалмалы бөлектерінің шекаралығы.

Суретте көрсетілгендей минерал бетінен еру процесінде суға катиондар шыққан. Сол себептен минерал бетінде аниондар қалып бет теріс зарядтанады. Бұл қабат қос электрлі қабаттың ішкі қабаты деп аталады. Аниондар кристалдық тормен күшті байланыста. Суға шыққан катиондар сыртқы к-к және к' - к' қабаттарында орналасқан. К-К қабатындағы катиондар минерал бетіндегі аниондармен күшті тартылып, ретті тәртіппен орналасқан. Сондықтан бұл қабаттағы катиондар суда минерал бетімен тек бірге қозғалады. к' - к' қабатындағы катиондар минерал бетіне тартылғанмен ретсіз орналасып және қозғалмалы күйде болады. Минерал түйіршіктері суда жылдам қозғалғанда олар беттен сырғып қалып қояды да электрлі бейтараптық бұзылады. Жалпы сырт қабаттағы барлық иондардың зарядтарының қосындысы қос қабаттың ішкі қабатының зарядына тең болады.

Қос электрлі қабаттың шекаралығындағы (2-2) потенциал айырмашылығы термодинамикалық (толық) не электрохимиялық потенциал деп аталады. Минералдың қозғалу кезінде сырт қабаттағы қозғалмайтын және қозғалмалы күйде болатын иондардың шекаралықтарында (3-3) пайда болатын потенциал айырмашылығы электрокинетикалық (не дзета потенциал) потенциал деп аталады.

Электрокинетикалық потенциал термодинамикалық потенциалдың бөлшегі болып саналады, демек ол әрдайым кіші болады. Қос электрлі қабаттың сырт қабатындағы қозғалмалы ион қабаты диффузиялық қабат деп аталады. Жалпы сырт қабаттағы иондардың концентрациясы минерал бетінің сулануында өте маңызды роль атқарады. Себебі бұл қабаттағы иондар су молекулаларымен қоршалған. Сондықтан бұл иондардың концентрациясы жоғары болған сайын дзета - потенциалының шамасыда арта түседі. Осымен

байланысты дзета-потенциалын өлшеу арқылы минерал бетінің сулану дәрежесін бағалауға болады.

Реагенттердің минерал бетіне адсорбциялануында термодинамикалық потенциалдың маңызы зор. Себебі ол потенциалдың мәні оның заряд шамасымен және таңбасымен анықталады. Мысалы, неғұрлым термодинамикалық потенциал шамасы үлкен болса және оң зарядты болса, ол бетке реагенттердің аниондарының адсорбциялану мүмкіншілігі жоғары болады.

Нақтылы флотациялық пульпада көптеген иондардың түрлері болуына байланысты сырт қабатта тек минерал бетінен шыққан иондар ғана емес кез келген таңбасы бірдей иондарда жиналады. Солардың концентрацияларына және валенттіктеріне байланысты дзета-потенциалдың шамасы үлкен шекте өзгеріп отырады. Пульпадағы электролиттердің концентрацияларының белгілі бір шамасында иондар диффузиялық қабаттан қозғалмайтын сырт қабатқа толық өтулері мүмкін. Онда дзета-потенциал нольге теңеледі. Жүйенің осы күйін изоэлектрлі деп атайды. Демек, минерал бетіндегі су қабатының қалыңдығы бірмолекулалық қалыңдыққа пара-пар болып жұқаланады да минерал түйіршігінің ауа көпіршігіне жабысуына мүмкіншілігі артады.

Қос электрлі қабаттың сыйымдылығын, екі фазаның шекаралық бетіндегі электрохимиялық және электрокинетикалық потенциалдардың шамаларының өзгеруін зерттеу арқылы минерал бетінің қасиетін, онда реагенттердің адсорбциялануын, сулану дәрежесін анықтауға болады.

Осы уақытқа дейін көптеген тәжірибелік зерттеулер жүргізу нәтижесінде қос электрлі қабатта жүретін процестердің бірсыпыра заңдылықтары табылды. Оларды әдебиеттерден табуға болады.

§ 4. Минерал бетіндегі су қабатының ерекшеліктері

Кристалдық тордың бұзылу нәтижесінде босаған бет энергиясы тудыратын электр өрісі әсерімен полярланатын су молекулалары зарядталған минерал бетіне реттелген түрде электростатикалық күшпен тартылады. Су молекулалары бет энергиясының шамасына және полярлығына қарай көп қабат құрай тартылады. Гидратты қабат қалыңдығы бірнеше жүз ангстремға жетеді. Минерал бетінің заряд таңбасына қарай су молекулалары ол бетке қарама қарсы таңбалы полюстерімен тартылады. Су қабатының құрылымымен молекулаларының бетке тартылу күші сол бетке алыс-жақын орналасуларына байланысты. Су қабатының схематикалық көрінісі келтірілген 10-суретте.

10-сурет. Зарядты минерал бетіне су молекулаларының реттеліп тартылу схемасы.

Минерал бетінен алыстаған сайын су молекулаларының реттелуі төмендеп, тартылу күші азая береді. Неғұрлым бет энергия шамасы төмен болса және онда иондық байланыс үлесі аз болса, соғұрлым гидратты қабаттың тұрақсыздануы, демек су молекулаларының ретсізденуі беттен аз қашықтықта басталады. Одан әрі су молекулалары көлемді судағы қасиетті күйге түседі.

Гидратты қабаттағы су молекулаларының бетпен шектескен бірінші қабаттары тікелей минерал бетімен әрекеттесіп адсорбцияланса, келесі қабаттағы су молекулалары бір бірімен негізінде сутек байланысымен әрекеттеседі.

Минерал бетіне су молекулаларының бағытталып тартылу реті ол бетте анион және катиондардың орналасуына байланысты. Егер олар бетте бір келкі орналаспа /10-сурет/, онда су молекулалары гидратты қабатта параллельді орналасып суландырады. Реагенттің осы беттен су молекулаларының дипольдарын ығыстыруы, олардың өзара байланысынан гөрі минерал бетімен байланысы күштірек болғанда тиімді. Гидратты қабаттағы молекулалармен көлемді судағы молекулалардың өзара байланыс күші минерал бетінің нуль зарядты потенциалы болғанда орын алады. Ол егер минерал бетінде аниондар мен катиондар концентрациясы бірдей болғанда (олар кезектесіп біркелкі орналасқанда) ғана нольге теңеледі.

Минерал беті осындай күйде болғанда су молекулаларының ретсіз орналасу схемасы келтірілген 11-суретте.

11- сурет. Су молекулаларының зарядсыз бетте орналасуы.

Су молекулаларының осылай орналасуы олардың минерал бетімен және өзара байланыс күштерін төмендетеді де, минерал бетінің сулануы азаяды. Мұндай қасиет тек кейбір табиғи минералдарда ғана кездеседі. Гидратты су қабатының (10-сурет) бірсыпыра ерекше қасиеттері бар. Оларды тудыратын негізгі жай су молекулаларының минерал бетіне перпендикуляр бағытта параллельді орналасып, тізбек бойымен өзара тығыз және ретті орналасуы. Соның нәтижесінде гидратты қабаттың тұтқырлығы көлемді су қабаттікінен жоғары, еріткіш қасиеті төмен және иондардың бұл қабатта қозғалымы жай су ішіндегіден аз болады. Сондықтан минерал бетінің сулану дәрежесін арттыруда гидратты қабаттың қалыңдығынан гөрі оның тұрақтылығы үлкен роль атқарады.

ЕКІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ РЕАГЕНТТЕР

1-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ РЕАГЕНТТЕРДІҢ ТҮРЛЕРІ ЖӘНЕ ФАЗАЛАР ШЕКАРАЛЫҚТАРЫНДА АДСОРБЦИЯЛАНУЫ

§ 1. Флотациялық реагенттердің қажеттілігі және түрлері

Флотациялау процесінде әр түрлі минералдардың бір бірінен бөліну дәрежесі олардың беттеріндегі үлесті бос энергияның айырмашылығына тәуелді, Неғұрлым ол айырмашылықтар үлкен болса, соғұрлым минералдарды бөлу жеңілдейді.

Бірақ минералдардың бұл қасиетінің табиғи айырмашылығы оларды қанағаттандырыарлықтай бөлуге жетпейді. Осыған байланысты өндірістік тәжірибеде минералдардың бет қасиеттерінің айырмашылығын арттыру үшін арнаулы химиялық қосылыстар-реагенттер қолданылады. Олардың иондары не молекулалары фазалық шекараларда абсорбцияланып, бос бет энергияларын қажетті бағытта өзгертеді. Сондықтан флотациялық реагенттерді табу, қолдану және олардың әрекеттесу заңдылықтарын анықтау өте маңызды іс. Осы бағытта қол жеткен табыстар флотациялық байыту әдісін барлық дерлік пайдалы қазбаларды пайдалануда басты әдіске айналдырды.

Флотациялық реагенттер ретінде химиялық қосылыстардың көптеген түрлері қолданылады. Олардың ішінде анорганикалық және органикалық, қышқылдар мен сілтілер және көптеген тұздар бар.

Су ішінде флотореагенттер көптеген түрде кездеседі: қарапайым және комплексті иондар түрінде, молекулалар не коллоидты түрде, ал майлы заттар эмульсия түрінде және тағы с.с.

Флотореагенттер әрекеттеріне қарай төмендегі топтарға бөлінеді:

ж и н а ғ ы ш т а р, органикалық заттар, минералдар беттеріне адсорбцияланып (минерал-су шекаралығында), оның сусыздануын жоғарылатып, ауа көпіршіктеріне жабысуын жақсартып, флотациялану қасиетін жоғарылатады;

к ө б і к т е н д і р г і ш т е р де органикалық заттар. Олар сумен ауа көпіршіктерінің шек арасына адсорбцияланып көпіршіктердің бірігіп іріленуіне кедергі жасап ұсақ түрде қалуларына мүмкіншілік тудырады;

б а с қ ы ш т а р минерал бетіне адсорбцияланып сулануын күшейту нәтижесінде флотациялануын төмендетеді. Олардың негізі анорганикалық тұздар және кейбір қышқылдар мен сілтілер;

а к т и в т е н д і р г і ш т е р минерал беттерімен химиялық әрекеттесіп бет қасиетін өзгерту нәтижесінде ол бетке жинағыш реагенттердің адсорбциялануын күшейтеді;

о р т а н ы р е т т е г і ш т е р басқа қолданылатын реагенттердің ионды-молекулалы құрамдарын реттеп, олардың минерал беттерімен әрекеттесуін арттыру.

Кейінгі үш реагенттер тобы жалпы модификаторлар деп аталады. Ортаны реттегіштер қолдану шарттарына қарай кейде басқыштар және активтегіштер ролінде атқарады. Сонымен қатар пульпаның ионды құрамының өзгеруіне әсер етеді.

§ 2. Реагенттердің минералдар бетінде химиялық және физикалық адсорбциялануы.

Реагенттердің минерал бетінің қасиеттерін өзгертуі олардың адсорбциялануымен байланысты. Сондықтан көп қилы құбылысты түсіну үшін адсорбция процесінің негіздері туралы жеткілікті түсініктер болуы қажет.

Адсорбция жалпы х и м и я л ы қ және ф и з и к а л ы қ түрлерге бөлінеді. Әр қайсысының өз ерекшеліктері және заңдылықтары бар. Сонымен қатар, олардың ортақ ерекшеліктері де бар. Солардың ең негізгісі адсорбция процестері өздігінен жүруі, демек жүйенің бос энергиясы төмендейді және белгілі мөлшерде жылу бөлінеді. Ең басты айырмашылықтарына төмендегі жайлар жатады:

физикалық адсорбцияланғанда минералдың кристалдық торы және адсорбцияланған реагент екі тәуелсіз жүйе ретінде қалады, ал химиялық адсорбцияланғанда реагентпен кристалдық тор бір жүйе құрайды. Оның себебі адсорбцияланатын заттан кристалдық торға (не керісінше) электрон өтеді (ионды байланыс), не кристалдық тор және адсорбцияланатын зат электрондарын ортақтастырады (ковалентті байланыс). Осының нәтижесінде жүйенің энергетикалық күйі тұрақтанады;

физикалық адсорбциялануда кристалдық тор мен реагент арасындағы әрекет молекулалар аралық тартылыс күшімен жүреді (молекулалық байланыс не Ван-Ваальс күші).

Осы келтірілген ерекшеліктер салдарынан туатын айырмашылықтары төмендегілер:

1. Физикалық адсорбциялануда шығарылатын жылу мөлшері өте аз. Осыған байланысты екі жүйенің тартысу күшіде төмен. Мысалы, реагенттің қалдықты тепе-теңдік концентрациясы өзгерсе, демек реагенттің судағы қалдықты концентрациясы бір әдіспен азайтылса, кристалды тор бетіне адсорбцияланған зат қайта бөліне бастайды, демек реакция қайтарымды. Химиялық адсорбциялануда минерал беті көп рет сумен шайылсада адсорбцияланған реагенттің негізі оның бетінде қалады.

2. Химиялық адсорбциялануда реагент кезкелген минерал бетімен әрекеттесе бермей, белгілі бір минералдар бетіне ғана адсорбцияланады, демек процесс тандаулы жүреді. Флотациялау процесінде минералдарды бір-бірінен бөлу тұрғысынан қарасақ бұл өте маңызды жайдың бірі.

3. Физикалық адсорбция жылдамдығы өте жоғары болады, ал химиялық адсорбция реагент түріне қарай әртүрлі жылдамдықпен жүреді. Кейде ол бірнеше минуттен ондаған минутке дейін созылады.

4. Физикалық адсорбциялануда реагент минералдың бет ауданын түгел дерлік қамти орналасса (таңдаусыздық салдарынан), химиялық адсорбциялануда алдымен минерал бетіндегі активті орталықтармен әрекеттесіп, қаныққаннан кейін ғана активтігі төмен аудандарға ауысады.

Осы жайлардан химиялық адсорбцияның күрделі процесс екенін көруге болады. Оның күрделілігі флотацияда қолданылатын реагенттердің химиялық қасиеттерімен және атқаратын рольдерімен тығыз байланысты. Енді осыған байланысты зерттеулер нәтижесінде айқындалған реагенттердің минералдар беттерінде адсорбциялануының заңдылықтарына тоқтайық.

1. Х е м о с о р б ц и я. Реагенттер минерал бетімен әрекеттескенде олардың тек бетінде орналасқан және кристалдық тордың бұзылуының нәтижесінде біраз энергиясы босаған атомдармен (не атомдартобымен) ғана әрекеттесіп, беттік қосылыстар жасайды. Осының нәтижесінде ол қосылыстар тек молекулалық қабат қана түзеді, демек жеке фаза пайда болмайды.

2. Гетерогенді химиялық реакциялар. Кейбір реагенттер иондарының минерал бетімен әрекеттесуі хемосорбциямен бітпей кристалл торының келесі ішкі қабаттарына өтіп жалғаса береді, демек бет реакция көлемді реакцияға айналады. Осының нәтижесінде белгілі тереңдікке дейін минералдың бет қабаттарының құрамы өзгеріп әр түрлі қалыңдықты жаңа фаза пайда болады. Адсорбцияның бұл түрі гетерогенді химиялық реакциялар деп аталады. Оның жүру жылдамдығы және қанша тереңдікке дейін жүруі негізінде реагенттің судағы бастапқы концентрациясы мен иондық радиусына байланысты.

Осы келтірілген жайлардан хемосорбция мен гетерогенді химиялық реакциялардың арасына айқын шек қоюға болмайтынын көреміз. Мысалы, бір реагент белгілі бір минералмен әрекеттескенде тек хемосорбцияланса, ал екінші бір минералмен гетерогенді химиялық реакцияға түсуі мүмкін.

Адсорбцияның бұл екі түрі де минерал бетінің қасиетінің бір келкі еместігіне байланысты бірінші кезекте активті орталықтарда жүреді.

Әдебиеттерде химиялық адсорбция деген де ұғым жиі кездеседі. Бірақ оның жоғарғы екі түрден принципті айырмашылығы келтірілмейді. Біздің көз қарасымызша химиялық адсорбция хемосорбция мен гетерогенді химиялық реакцияның жалпы аты деуге болады.

Адсорбция түрі, әрине, реагенттің су ішінде қандай түрде болуымен тығыз байланысты. Алдымен электролиттердің адсорбциялану ерекшеліктерін қарайық. Егер реагент әлсіз электролит түрінде болса, минерал бетіне оның катионы және анионы бірдей эквивалентті мөлшерде, демек молекула түрінде адсорбцияланады. Сондықтан минерал беті, не минерал-су шекаралықтарының электрлі қасиеті өзгермей бейтараптық сақталады.

Реагент күшті электролитке жатса оның молекулалары катион және аниондарға диссоциацияланған түрде болады, минерал бетіне не катиондар не аниондар күштірек тартылуы мүмкін. Бірақ ионның тек бір түрінің ғана адсорбциялануы жүйенің электрлі бейтараптығын бұзады. Соған байланысты бір таңбалы ионның ғана адсорбциялануы осы бетке екінші таңбалы ионның тартылуын тудырады. Сөйтіп жүйенің электрлі бейтараптығы бұзылмайды. Сондықтан бұл процесте молекулалық адсорбцияға жатады.

Электролиттердің иондарының минерал бетіне тартылуы бірсыпыра факторлармен байланысты. Олардың ішіндегі ең бастылары валенттіліктері, иондардың су молекулаларымен әрекеттесу дәрежесі және адсорбциялану нәтижесінде пайда болатын комплекстің суда ерігіштігі. Иондардың валенттілігімен су молекулаларымен әрекеттесуі өзара тығыз байланысты. Неғұрлым ионның валенттігі жоғары болса, соғұрлым оның су молекулаларымен әрекеттесуі де күшті болады. Катиондары не аниондары бірдей электролиттердің адсорбциялануынан алынған деректер иондардың адсорбциялану кезегі (қатары) олардың лиотропты қатарларына сай екенін көрсетті. Міне, молекулалық адсорбцияланудың да белгілі заңдылықтарға тәуелді екенін көреміз.

Ионды (химиялық) адсорбцияны алмасты және ерекшелікті* деп екі түрге бөлуге болады.

Алмасты адсорбцияда минерал бетімен бір ғана ион түрі әрекеттеседі, демек процес таңдаулы жүреді, ал екінші ион (катион не анион) адсорбцияланбайды, не өте аз адсорбцияланады. Алмасты деп аталатыны минерал бетіне қанша ион (катион не анион)

* Алмасты-обменная, ерекшелікті-специфичное

адсорбцияланса, кристалдық тор бетінен суға сонша және сонымен бір таңбалы ион бөлініп шығады. Осыған байланысты минерал- су шекаралығының және реагент ерітіндісінде электрлі бейтараптығы өзгермей қалады.

Алмасты адсорбция хемосорбция түрінде де және гетерогенді химиялық реакция түрінде де жүруі мүмкін. Ол негізінде адсорбцияланатын иондар қасиетімен анықталады.

Ерекшелікті адсорбция не болмаса потенциал түзетін иондардың адсорбциясы флотациялық реагенттердің минералдармен әрекеттесуінде жиі кездеседі. Бұл адсорбция түрінің басты ерекшелігі сол, минерал бетіне таңдамалы түрде тек бір ғана ион (катион не анион) адсорбцияланады. Қарама- қарсы таңбалы ион минерал бетімен әрекеттеспейді. Осының нәтижесінде минерал-су фазаларының шекарасында электрлі бейтараптық бұзылып потенциал пайда болады, демек электрлік қос қабат түзіледі**.

Иондардың электрлі қос қабат құруда ішкі не сыртқы қабатта адсорбциялануының бірсыпыра ерекшеліктері бар. Ішкі қабатта ең оңай адсорбцияланатын иондарға кристалдық тор құрамына кіретін минералдардың өз иондары. Оған себеп болатын иондардың валенттіктері мен иондық радиустарының бірдей болуы. Басқа иондардан ішкі қабатқа орналасу мүмкіндігі жоғары иондарға кристалдың беткі атомдарымен ерігіштігі төмен қосылыстар* түзетін иондар жатады. Олар хемосорбциялану жолымен де және гетерогенді химиялық адсорбциялануы мүмкін. Осындай иондар потенциал түзетін иондар деп аталады. Бұл иондардың минерал бетімен әрекеттесу сипаттамалары кристалдық тор ішіндегі атомдардың әрекеттесулерімен сай келеді деуге болады.

Потенциал түзегіш иондар ретінде құрамында минералдың кристалдық торына кіретін иондары бар реагенттерді қолдану флотациялық тәжірибеде жиі кездеседі. Мысалғы, сульфидті флотацияда күкіртті натрийді, фосфоритті басуда фосфор қышқылын, силикатты минералдарды басуда кремний қышқылын және тағы сол сияқтыларды келтіруге болады. Олардың иондары минералдар кристалдарының бетіне оңай адсорбцияланып, кристалл бетінің жалғасы түрінде орналасады.

Иондардың қос электрлі қабаттың сыртқы қабатта адсорбциялануында олардың иондық радиустары еш роль атқармайды деуге болады: неғұрлым ол жоғары болса, соғұрлым ішкі қабатқа тартылу күшіде өседі.

Сонымен қорыта айтсақ, қос электрлі қабаттың іш қабатына адсорбциялануды химиялық адсорбцияға, ал сырт қабатына адсорбциялануды физикалық адсорбцияға жатқызуға болады.

Осы жалпы ұғымдарды қарастыру артында флотациялық реагенттердің адсорбциялану ерекшеліктерін қорытындылау ретінде кейбір мәселелерге жеке тоқтайық

§ 3. Реагенттердің минерал бетіндегі қос электрлі қабатта адсорбциялануы

Минерал бетіндегі қос электрлі қабаттың құрылымы мен қасиеттерінің флотация процесінде маңызы зор.

Қос электрлі қабаттың ішкі қабатына адсорбцияланған иондар кристалл бетінің химиялық құрамын өзгертіп қоймай оның зарядін де (катион не анион адсорбциялануына байланысты) өзгерте алады. Бұл жай сыртқы қабатта адсорбцияланатын ион түрлерін (катион не анион) және олардың концентрациясын өзгертеді. Ішкі қабатта оң зарядті иондар (катиондар) адсорбцияланса, сыртқы қабатта теріс зарядті иондар адсорбцияланады. Минерал бетінің заряды неғұрлым жоғары болса, сырт қабаттағы иондардың концентрациясыда жоғарылайды. Себебі екі қабатта да электр зарядтары тең болуы керек. Демек, жүйе электробейтарапты түрде қалады.

Минералдардың флотациялық қасиетінің, дәлірек айтсақ, оның сулану дәрежесіне үлкен әсер ететін жай -қос қабаттың сырт қабатының құрылымы.

Біріншіден, сырт қабатта орналасуда иондардың размерлері, олардың заряд мөлшері, валенттілігі айтарлықтай әсер етпейді, тек олардың таңбалары сыртқы қабат таңбалылығына

** Жоғары тарауларда электрлі қос қабат суда еру нәтижесінде минерал бетінен шыққан иондармен түзілетіні қаралған.

* Панета-Фаянс ережесіне сай.

сай, демек, ішкі қабаттағы иондар таңбасына қарама-қарсы болуы қажет. Осыдан туатын маңызды жай-сырт қабатқа иондар таңдаусыз жыйналады.

Екіншіден, пульпада сырт қабат таңбасына сай әртүрлі реагенттердің иондары болса, олардың сырт қабаттағы әр қайсысының үлесі пульпадағы концентрациясына тәуелді: қайсысының концентрациясы жоғары болса, сол ион сырт қабатқа көбірек жыйналады. Мұның өзі пульпадағы реагенттердің концентрациялары өзгерген сайын, сырт қабаттағы ион құрамыда өзгеріп отыратынын көрсетеді.

Үшіншіден, сырт қабатта иондардың физикалық тартылыс күшімен ғана адсорбциялану нәтижесінде иондар қозғалмалы қалыпта болады. Әсіресе, іш қабаттан алыстаған сайын олардың қозғалымдығы (диффузия) күшейе береді. Осыдан шығаратын қорытынды: пульпаны сұйылту арқылы, не суын шайып жаңалау арқылы сырт қабаттағы иондарды минерал бетінен оңай бөлуге болады.

Төртіншіден, минерал бетінің сулануына үлкен әсер ететін жай-диффузиялық (сыртқы қабаттың қозғалмалы бөлегі) қабаттың қалыңдығы. Онда бір таңбалы иондардың концентрациясы артқан сайын, олар біртіндеп сыртқы қабаттың ең бірінші қабатшасына (ішкі қабатқа тікелей қарама-қарсы орналасқан) өте бастайды. Осының нәтижесінде электрокинетикалық потенциал төмендей береді. Пульпада электролиттердің концентрациясы өсіп, белгілі бір мөлшерден асқанда иондар диффузиялық қабаттан бірінші тәртіптенген қабатқа өтуі мүмкін. Онда электрокинетикалық потенциал нөлге теңеледі. Жүйенің осы қалпы и з о э л е к т р л і деп аталады.

Минерал бетінің сулануы осы сыртқы қабаттағы (диффузия қабатымен қоса) иондардың концентрациясымен анықталады. Әр ион зарядтарына байланысты су молекулаларымен қоршалған. Сондықтан, неғұрлым диффузия қабаты қалың болса, минерал бетінің сулануыда жоғары. Осыған байланысты, изоэлектрлі жағдайда минерал бетінің сулануы ең төменгі дәрежеде болады. Олай болса минерал бетінің сулану дәрежесін электрокинетикалық потенциалды өлшеу арқылы анықтауға болады.

Қос электрлі қабаттың сырт қабаттағы иондар минерал бетіне физикалық күшпен адсорбцияланса да (электростатикалық тартылыс) олардың тартылысы ионданбайтын молекулалардың (мысалы, кейбір бет активті-заттардың молекулалары) тартылысынан күшті келеді, демек электростатикалық тартылыс күші Ван-дер-Ваальс күшінен жоғары келеді.

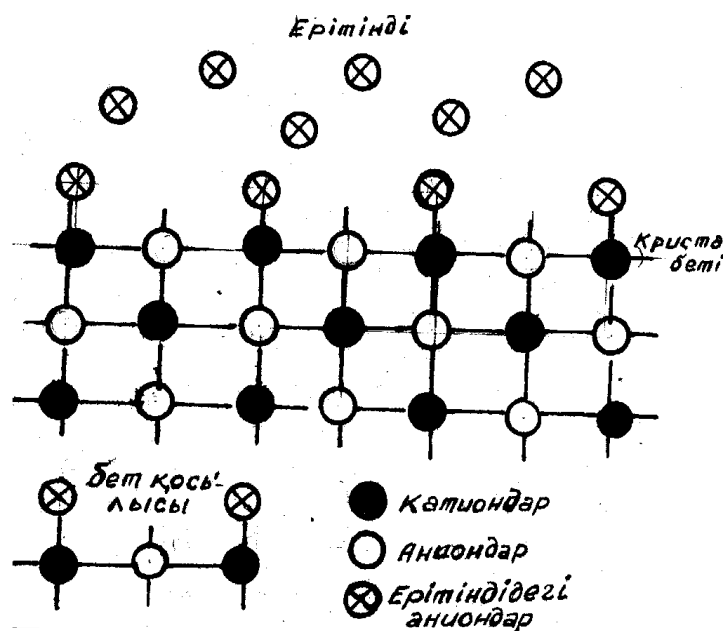
Осы келтірілген жайлардан реагенттердің қос электрлі қабатта адсорбциялануының бірсыпыра ерекшеліктері бер екені және олардың минерал бетінің қасиеттерін өзгертуде маңызды роль атқаратынын көруге болады.

§ 4. Реагенттердің минералдарға бет қосылыстарын түзіп адсорбциялануы

Реагенттердің минерал бетіне бет қосылыстарын түзіп адсорбциялануы көптеген пайдалы қазындыларды флотациялауда ең көп тараған адсорбция түрі. Бет қосылыстарының басқа қосылыстар түрлерімен салыстырғанда бірсыпыра ерекшеліктері бар. Ерітінді ішінде иондар арасында реакциялар жүргенде әр ион өзінің валенттік энергиясын басқа ионмен әрекеттесуге толық жұмсайды. Қосылыстар түзетін иондар не атомдар валенттіктеріне қарай белгілі стехиометриялық қатынаста болады. Бет қосылыстарының ерешеліктерін Н.А.Шилов жан-жақты зерттеді. Ол ерекшеліктерге негіз болатын басты жай-ерітінді иондарымен (молекулаларымен) әрекеттесетін кристал торы бетіндегі иондар (атомдар) тек бос энергиясын ғана (толық энергиясының белгілі бөлшегін ғана) жұмсайды. Сонымен бірге әр бір текті ионның бос энергия мөлшері кристалдық тор бетінің қай жерінде орналасуына (жазық бетте, қырында, бұрышында) байланысты. Егер ол жазық бетте болса, оның энергиясының көбі кристалдық тордағы өзін қоршаған иондармен (атомдармен) байланысуға жұмсалады. Сондықтан бет қосылыстарын жасауға қатынасатын кристалл торының иондары (атомдары) сол тормен ерітіндідегі иондарды жалғастырушысы ролін атқарады. Бет қосылыстары жеке фаза құрамайды және әрекеттесетін иондардың стехиометриялық қатынасы сақталмайды. Сондықтан бет қосылыстарының белгілі құрамы болмайды, осыған байланысты оларды осы бетке тіркелген радикалдар ретінде қарауға болады.

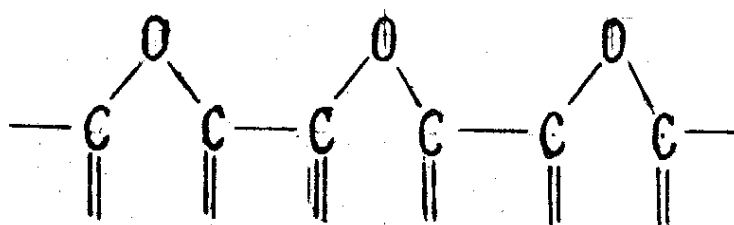
Бет қосылыстарының түзілу процесін әрекеттесу күштерінің табиғатына қарай химиялық адсорбцияға жатқызуға болады. 12-суретте схемалық түрде бет қосылысының түзілуі келтірілген.

Бет қосылыстарындағы байланыс күштері кейде өте жоғары болатындығы тәжірибелермен анықталған. Мысалы, вольфрам бетінде адсорбцияланған оттектің металмен байланыс күші кристалдық торда вольфрам атомдарының өзара байланыс күшімен тепе теңдігі анықталған. Осындай деректер кристалдық тор бетіндегі иондар (атомдар) ерітінді иондарымен тек қалдықты валенттік энергиясымен ғана әрекеттеседі, сондықтан ол байланыс күші тор ішіндегі атомдардың байланыс күштерінен үнемі аз болады деп жорамалдауға болмайтын сияқты. Демек, бет қосылыстағы байланысты (12-суретте көрсетілгендей) қарапайым



12-сурет. Кристалдық тор бетінің иондары ерітінді иондарымен бет қосылысын түзу схемасы.

түрде қарауға болмайтындығы байқалады. Осыған бір дәлел ретінде көмір бетінде оттектің адсорбциялану схемасы келтірілген 13-суретте.



С-көміртек атомдары
О-оттек атомдары

13-сурет. Көмір бетінде оттектің адсорбциялануы

Көмір бетіндегі адсорбцияланған оттекті десорбциялау мақсатымен жүргізілген тәжірибеде беттен оттектен тек көміртек тотығы түрінде қиындықпен бөлінген. Келтірілген схемадан минерал бетінде адсорбцияланған ионның кристалдық тордың тек бір ғана ионымен емес, валенттігіне қарай күрделі түрде әрекеттесуі мүмкін деген қорытынды жасауға болады.

Бет қосылысын жасай адсорбцияланғанда байланыс күшіне басқа да бірсыпыра жайлар әсер етуі сөзсіз. Мысалы, әрекетке түсетін бет ионының кристалдық тор құрамына қарай бетте “батыңқы” не “шығыңқы” орналасуы мүмкін. Ол бетте құрамында көмірсутекті радикалдары бар иондар адсорбцияланғанда олардың суға бағытталған радикалдары өзара тартысып байланысулары бет қосылыстардың адсорбциялану күшін арттыра түседі.

Бет қосылыстардың тағы бір ерекшелігі, адсорбцияланатын иондардың размерлері мен пішіндері әр түрлі бола алады; демек олардың кристалдық тор иондарына сәйкес болуы шарт емес. Сол сияқты, бет қосылысын құрауға тек иондар ғана емес, атомдар және молекулаларда қатыса алады. Ионды кристалл бетінде атом адсорбцияланғанда кристалдық тордың бос электроны және адсорбцияланатын атомның валенттік электрондары қатысады.

Бет қосылыстарының пайда болуы әрекеттесу массалары заңына және фазалар ережесіне бағынатыны анықталған. Сонымен қатар хемосорбциялық қабатта, көлемді реакциялармен салыстырғанда, активтендіру жылуы көп төмен. Сондықтан әртүрлі көлемді химиялық реакцияларға қолдануға болатын заңдылықтарды бет қосылыстары үшін белгілі шекте ғана немесе тек сапалы жағынан қарауға ғана пайдалануға болады. Мысалы, көлемді химиялық реакциялар үшін қолданылатын ерігіштік көбейтіндісі бет қосылыстары үшін дұрыс нәтижелер бермейді. Осы бағытта жүргізілген кейбір зерттеулерде пирит бетінде пайда болатын темір ксантогенатының ерігіштігі көлемді реакция нәтижесінде түзілетін темір ксантогенатының ерігіштігінен төмен болған (Д.А.Шведов). Сол сияқты, мыс ионының диметили-оксиммен әрекеттесуінде түзілетін мысдиметилглиоксимиінің ерігіштігі мыс минералы бетінде түзілетін осы заттың ерігіштігінен көп жоғары (С.М.Ясюкевич).

Сонымен, бет қосылыстары химиялық адсорбцияланудың нәтижесінде түзіледі, адсорбция таңдамалы жүреді және адсорбцияланған атомдар не иондар минералдар беттерімен күшті байланысып, хемосорбция қайтарымсыз жүреді.

§ 5. Реагенттердің минерал бетінде қабыршақ жасай адсорбциялануы

Кейбір реагенттер минералдар бетінде қабыршықтар жасай адсорбцияланады, демек адсорбцияланған иондар (атомдар) кристалдық тор бетіндегі иондармен ғана әрекеттесіп қоймай, біртіндеп тордың ішкі қабаттарына өтеді. Бұл процесс адсорбцияланған ион кристалдық тордың бірдей таңбалы ионымен алмасуы нәтижесінде ғана жүруі мүмкін. Демек, адсорбция процесінде кристалдық тордың ионы (анионы не катионы) ерітіндіге шығады. Адсорбцияланатын ионның кристалл торының қай қабатына дейін өтуі оның ерітіндідегі концентрациясына, радиусына және валенттігіне байланысты. Алмасу жылдамдығы және тереңірек қабаттарға өтуі ионның концентрациясы неғұрлым жоғары болса (ерітіндіде, яғни пульпада), радиусы минерал ионының радиусынан үлкен болмаса, ал валенттіктері бірдей болса, соғұрлым жоғары болады.

Біраз реагенттердің осылай адсорбцияланатынын минерал түсінің өзгеруінен байқауға болады. Мысалы, қорғасын минералы церусит ($Pb\ CO_3$) ақшыл түсті, сол сияқты мыс минералы малахит ($Cu\ CO_3 \cdot Cu\ (OH)_2$) жасыл түсті. Егер олар күкіртті натриймен өңделсе, олардың түсі қараяды. Олардың бетіндегі қабыршық құрамы химиялық талданғанда, церусит бетінде галениттің (PbS), малахит бетінде ковелиннің (CuS) түзілгендерін көрсетеді. Өзгерген бет түстері де осы минералдардың түстеріне келеді.

Сонымен, қабыршық үш өлшемді, минерал бетінде жеке фаза құрай түзіледі. Осының нәтижесінде негізгі минералдық бет химиялық құрамы өзгереді. Осының салдарынан минерал бетінің басқа реагенттермен әрекеттесуі не күшейеді, не төмендейді.

Бір минералдың бетінде химиялық құрамы өзгеше екінші минералдың пайда болуы табиғатта жиі кездеседі. Мысалы, сульфидті минералдар бетімен оттек әрекеттесуінде олар тотықты минералдарға айналады, бір сульфидтің бетінде екінші сульфид пайда болады және т.с. Термодинамикалық заңдылық бойынша жаңа фазаның пайда болуы белгілі бір фазалық шекараларда оңай жүреді, себебі оған көлемді фазада пайда болудан көрі аз энергия жұмсалады.

Флотациялық процесс үшін маңызды жай, түзілген қабыршықтың кристалдық тормен байланыс күші. Оны анықтайтын басты фактор- негізгі минералдың кристалл торымен қабыршықтың құрылымдарының өзара сәйкестігі. Егер олардың параметрлеріндегі айырмашылықтар белгілі мөлшерден асса, онда қабыршық қалыңдығы бір өлшемге жеткенде

минерал бетінен сыдырылынып түседі. Неғұрлым параметрлері жақын болса байланыс күші жоғарылай түседі. Флотациялық тұрғыдан қарағанда бұл құбылыстың жарамды және жарамсыз жақтары бар. Егер минералдың бет қасиетін технологиялық қажеттілікке байланысты арнайы реагентпен өңдеп өзгерту мақсат болса, қабыршықтың минерал бетінде тұрақты күйде болуы қажет. Ал, егер флотациялауға түсетін кен ішіндегі бағалы минералдардың бетінде табиғи түрде екінші бір қасиетті минералдар қабыршық түрінде және мықты байланыста болса, ол байыту процесін (оларды бөлуді) қиындатады.

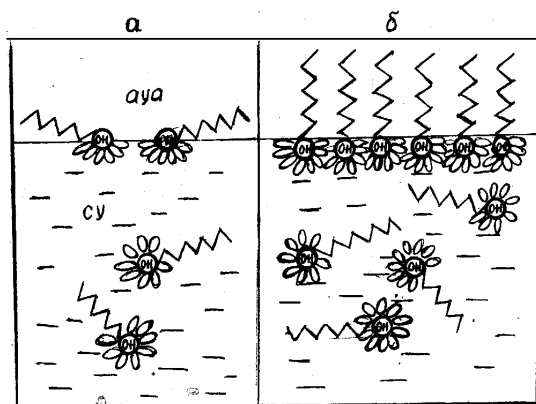
Минерал бетінің қасиетін қабыршақ жасай өзгертетін реагенттерді қолданғанда олардың адсорбциялануын жылдамдату мақсатымен әр түрлі шаралар қолданылады. Оларға жататындар: пульпаның температурасын жоғарылату, араластыру және т.с.с.. Араластыру белгілі режимде ғана жүргізілуі тиіс. Мысалы, өте интенсивті араластыру минерал түйіршіктерінің соқтығысу күшін арттырып, қабыршықтардың беттен сыдырылуына әкеліп соғады.

Қабыршықты адсорбцияланатын реагенттердің минерал бетімен әрекеттесуіндегі бір ерекшелік, қабыршық қалыңдығы белгілі өлшемге (тереңдікке) жету үшін реагентпен өңдеу жеткілікті уақыт мөлшерінде жүргізілуі қажет. Сондай өңдеу уақытын қамтамасыз ету үшін әдетте пульпа флотациялау алдында реагентпен арнаулы сыйымды ыдыстарда (чандарда) араластырылады. Қажетті өңдеу уақыты тәжірибелер жүргізумен анық-талады.

§ 6. Реагенттердің су және ауа көпіршіктері шекаралығында адсорбциялануы

Ауа көпіршігімен су шекаралығында бос бет энергиясы осы беттегі су молекулаларының энергиялары толық шығындалма-ғандықтын пайда болады. Себебі су молекулаларының сутек байланысы олардың ауа компоненттерімен байланыстарынан көп күшті. Сол сияқты, бет қабатта су молекулаларының өте аз уақыт шамасында болып астыңғы қабаттарға қайта тартылуы соның салдары. Демек, термодинамикалық тұрғыдан қарағанда молекулалар көлемді су ішінде энергетикалық тұрақты күйде болады.

Ауа-су шекаралығында бос бет энергияның болуы осы қабатта белгілі қасиетті молекулалардың адсорбциялануына мүмкіндік тудырады. Мұндай қасиетті заттарға бет активті заттар жатады. Олардың қасиеттеріндегі негізгі ерекшелік молекулаларының гетерополярлі болуы, демек молекула құрамына полярсыз көмірсутек радикалы және полярлы қасиеті бар топ (мысалы гидроксил, карбоксил және т.с.с. топтар) кіреді. Полярлы топтың белгілі мөлшерде диполь моменті болуына байланысты полярлы су молекулаларымен әрекетке түссе, көмірсутек радикалы су молекулаларымен байланыспайды. Осы қасиеттерінің нәтижесінде олар су-ауа шекарасында оңай адсорбцияланады да, бет энергиясын төмендетеді. Демек, процесс өздігінен жүреді және физикалық адсорбцияға жатады. Бет активті заттардың молекулаларының ауа-су шекаралығында адсорбциялану схемасы (14-суретте) көрсетілген.



14-сурет. Гетерополярлы молекулалардың ауа-су шекаралығына орналасуы

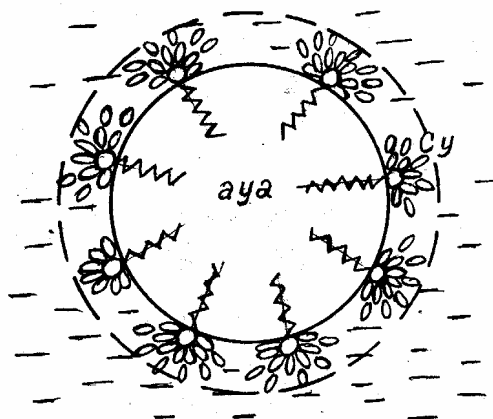
полярлы $\bigcirc$ көмірсутек радикалы $\sim\sim\sim\sim$
топ
 $\bigcirc$ -су диполі

а) бет активті заттың концентрациясы төмен;

б) бет активті заттың концентрациясы жоғары.

Гетерополярлі молекулалардың су бетінде орналасуы концентрацияға байланысты. Концентрация төмен болғанда көмірсутекті радикал су бетінде горизонталь күйде, не біраз сүйір бұрыш жасай орналасады. Концентрация жоғарлаған сайын олар тіктене береді де, концентрация белгілі бір мөлшерге жеткенде тік және параллель орналасып біріне бірі барынша жақындайды. Бірақ олардың тиісе орналасуына полярлі топты қоршаған су молекулалары кедергі жасайды. Сонымен, бет активті заттың жеткілікті концентрациясында ауа көпіршігінің беті ерекше құрылымды су қабатымен қапталады (15-сурет).

Бет активті зат молекулаларының су-ауа шекаралығында орналасу тығыздығы олардың полярлы топтарының күшіне байланысты: неғұрлым полярлық дәрежесі жоғары болса, су молекула-



15-сурет. Ауа көпіршігі бетінің су молекулаларымен қапталу көрінісі.

рын тарту күші молаяды. Соның нәтижесінде полярлы топ айналасында су молекулаларының концентрациясы өседі, бірақ бет активті зат молекулаларының орналасу тығыздығы белгілі мөлшерден артпайды.

Су-ауа шекаралық бетте адсорбция Гиббс, Лянгмюр және Шишковский теңдіктерімен сипатталады.

Адсорбцияланған затпен (Γ) бет энергияның (σ) өзгеруі арасындағы қатынасы термодинамикалық тұрғыдан қарауда туған Гиббс теңдеуімен анықталады:

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) ST,$$

мұнда C - ерітілген заттың концентрациясы, моль/л;

R - газ тұрақтысы 8,314 Дж/(К·моль);

$\partial \sigma / \partial C$ - бет энергияның бөлінді туындысы.

Адсорбцияланған заттың шамасын есептеуге молекулярлы-кинетикалық негізінде қараудан туған Лянгмюр теңдеуі қолданылады:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot vC / (vC + 1),$$

Мұнда Γ_{∞} - бет қанықты күйге жеткендегі сол бетте адсорбцияланған зат, моль/см²;

егер C - өте аз болса $\Gamma = \Gamma_{\infty}$;

v - молекуланың бетте болу уақытын сипаттайтын тұрақты;

C - тепе-теңдік күйдегі ерітіндідегі бет активті заттың концентрациясы.

Гиббс және Лянгмюр теңдіктерін байланыстыра келіп, Шишковский төмендегі теңдікті ұсынды:

$$\frac{d\sigma}{dC} = - \frac{a_v}{1 + vC}$$

II-тарау

ЖИНАҒЫШ РЕАГЕНТТЕР

§ 1. Жинағыш реагенттердің молекулаларының құрылымы және олардың түрлері.

Жинағыш реагенттер кеннен бөліп алуға қажетті минералдардың беттерін таңдаулы түрде сулануын төмендетіп, түйіршіктердің ауа көпіршіктеріне жабысуына мүмкіншілік тудырады. Олардың минерал бетінде адсорбциялануы нәтижесінде су қабаты ыдырап, ауа көпіршігімен соқтығысқанда үш фазалық сулану периметрі пайда болады.

Осы мақсат үшін көбінде молекулалары әр түрлі қасиетті екі топтан тұратын (яғни гетерополярлы құрылымды) органикалық заттар қолданылады. Бір топқа активті, минерал бетімен әрекеттесу қасиеті бар полярлы бөлегі жатса, екінші топқа су мен әрекеттеспейтін көмірсутек тізбегінен тұратын аполярлы бөлегі жатады. Егер реагент молекуласы тек көмірсутектен тұрса, онда а п о л я р л ы атанады. Молекулалары г е т е р о п о л я р л ы құрылымды реагенттер суда жақсы ерігіш және иондарға диссоциаланатын заттар, ал аполярлы заттардың ерулері өте төмен және молекулалары иондарға диссоциацияланбайды.

Тәжірибеде аталған реагенттер түрлерінен басқа солардың қосындысынан тұратын күрделі құрамды реагенттерде қолданылады.

Жинағыш реагенттердің минерал бетімен таңдаулы және әлсіз не күшті әрекеттесуі олардың полярлы тобының қасиетімен байланысты. Ал, минерал бетіндегі су қабатының ыдырап бұзылуында көмірсутекті тізбек маңызды роль атқарады.

Көмірсутек тізбегінің су молекулаларымен әрекеттеспеуі оның ішінде сутек және көмірсутек атомдарының жоғары деңгейде симметриялық түрде орналасып, өз ара күшті ковалентті байланыспен әрекеттесу салдарынан қалдықты ван-дер-Ваальс күштерінің өте әлсіздігімен байланысты. Гетерополярлі құрылым және әр бөлегінің аттары натрий олеат молекуласы мысал етіліп алынып көрсетілген (16 сурет).

16-сурет. Натрий олеатының молекуласының құрылымы

17-суретте жинағыш реагенттердің классификациясы келтірілген. Оған негіз болатын басты жай, молекулалардың иондарға бөліну не бөлінбеуі және полярлы топтың құрамы.

17-сурет. Жинағыш реагенттердің классификациясы.

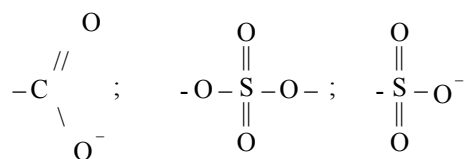
Жинағыш реагенттер үлкен екі топқа бөлінеді: гетерополярлі (ионданатын) және аполярлы (ионданбайтын) реагенттер болып. Бұлардан басқа күрделі және тұрақсыз құрамдыларыда кездеседі. Аполярлы топқа ионданбайтын көмірсутекті майлар, керосин және т.б., яғни мұнай өңдеуде алынатын өнімдер жатады.

Гетерополярлы топ негізінен а н и о н д ы және к а т и о н д ы жинағыштарға бөлінеді. Бұлардан басқа Бұл топқа жеке сирек қолданылатын, бірақ басқа реагенттермен тіркес қолданылса процеске пайдалы әсер ететін және қолданылмайтын реагенттерді (дисульфидтер, тионокарбаматтар, ксантогенді эфирлер және т.б.) жатқызуға болады.

Анионды және катионды жинағыштардың айырмашылықтары сонда, молекулалары иондарға диссоциацияланғанда біріншілерінде көмірсутек тізбегі анион құрамында болса, екіншілерінде көмірсутек тізбегі катион құрамында болады.

Тәжірибеде ең жиі қолданылатындары анионды жинағыштар. Олар молекулаларының полярлі бөліктерінің құрамына қарай с у л ь ф и д р и л ь д і ж әне о к с и г и д р и л ь д і болып бөлінеді. Сульфгидрильді жинағыштар сульфидті кендерден сульфидті минералдарды флотациялаумен бөлуге, ал оксигидрильділер тотықты минералдарды флотациялауға қолданылады.

А н и о н д ы оксигидрильді жинағыштардың полярлы, яғни солидофильді, бөлегі негізінде төмендегі құрамдардан тұрады:

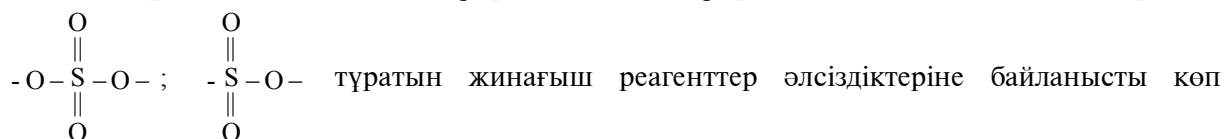


Тәжірибеде жиі қолданылатындары органикалық қышқылдармен олардың сілтілі металды тұздары, яғни сабындары. Солидофильды топ $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}^- \end{array}$ көміртектің бос байланысы

арқылы көмірсутекті радикалмен жалғасып анион құрайды $\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}^- \end{array} \right]^-$. Бұл реагенттер

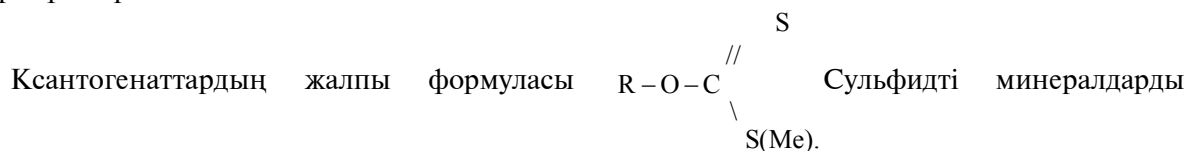
барлық дерлік тотықты минералдарды флотациялауға қолданылады. Әсіресе, құрамында катиондары жерсілтілі металдарға жататын (кальций, магний, стронций және т.б.) минералдар үшін тиімді реагенттер. Бұлармен бірге бірсыпыра сирек, түсті және қара металдардың тотықты минералдары да жақсы флотацияланады.

Солидофильді бөлегі күкірт не күкіртті қышқыл аниондарынан



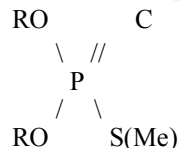
тараған жоқ. Бұлардың тұздары алкилсульфаттар (ROSO_3Na) негізінде баритті флотациялауға, ал кейбір жағдайларда майлы қышқылдармен (тұздармен) бірге қолданылады.

Анионды сульфидрильді жинағыштардың солидофильді бөлегінің құрамына екі валентті күкірт кіреді. Бұлардың ең жиі қолданылатындары ксантогенаттар мен дитиофосфаттар.



флотациялауда ең көп тараған жинағыш реагентке жатады.

Ксантогенаттардан кейін таралуы жағынан екінші орындағы реагенттер дитиофосфаттар. Олардың солидофильді бөлегіндегі орталық атом бес валентті фосфор:



Ксантогенаттардан екінші айырмашылықтары молекула құрамында екі көмірсутек тізбегі бар.

Катионды жинағыштарда көмірсутек тізбегі катион құрамына кіреді, ал солидофильді бөлігінің орталық атомы көбінде азот болады.

Бұл реагенттердің қасиеттері жағынан анионды жинағыштардан бірсыпыра айырмашылықтары бар: минерал бетінде әлсіз адсорбцияланады, кристалды тор элементтерімен тікелей әрекеттеспейді, минерал беті теріс зарядты болса ғана адсорбцияланады.

Тәжірибеде бұл жинағыштар силикатты, алюмосиликатты және кейбір тотық минералдарын флотациялауға қолданылады.

§ 2. Жинағыштар мен әрекеттесу нәтижесінде минерал бетінің сусыздануы

Минерал бетінің жинағыш реагенттермен әрекеттесу нәтижесінде сусыздануы бірсыпыра жайлармен байланысты. Солардың ішіндегі бастылары:

- минерал бетінің жинағыш реагенттермен әрекеттесу активтігі;
- реагенттердің минерал бетімен әрекеттесу механизмі;
- жинағыштардың көмірсутек тізбегінің құрылымының әсері;
- реагенттердің адсорбциялану формалары;
- реагенттердің минерал бетінде адсорбциялану тығыздығы және орналасуы;
- сульфидті минералдар беттерінің тотығу дәрежесі;
- әтипті реагенттердің тіркес қолдануларының маңызы және тағы басқалары.

Келтірілген жайлардың біразы басқа реагенттер үшін де маңызы бар.

Ж и н а ғы ш р е а г е н т т е р д і ң м и н е р а л б е т і м е н ә р к е т т е с у м е х а н и з м і .

Жинағыш реагенттермен әрекеттесуге дейін минерал бетіне су молекулаларының адсорбциялануының негізгі себебі кристалдық тор бетінде күшті байланыстардың үзілуінен бет атомдарының (иондарының) энергиялары босап, электр өрісін туғызатыны бірінші бөлімде қаралды. Жинағыш реагенттердің адсорбциялануы нәтижесінде, демек олардың иондарының кристалдық тор иондарымен әрекеттесуінде, бос бет энергия шығындалады. Оның басты себебі сол егер су молекулалары тек полярлі қасиетіне сай физикалық күшпен тартылса, реагент иондары химиялық байланыстармен әрекеттеседі. Термодинамикалық тұрғыдан қарағанда бұл процесс жүйе үшін көп тиімді, себебі оның энергиясы көп рет азайып, энергетикалық тұрақты қалыпқа түседі. Осының салдарынан су дипольдарының минерал бетіне тартылуы күрт төмендейді. Бұл жай негізінде анионды жинағыштарға қатысты. Катионды және аполярлы жинағыштардың әрекеттесулерінің өз ерекшеліктері бар.

Жинағыш реагенттердің минерал бетімен әрекеттесуінде басты роль атқаратын полярлы топ қасиеттері. Анионды жинағыштардың негізгі адсорбциялану түрі **х е м о с о р б ц и я**. Ол реагент анионының кристалл торының катионымен әрекеттесіп, бет қосылысын түзумен аяқталады. Реагенттің ион түрінде хемосорбциялануы алдында ион алмасу процесі жүруі көпшілік жағдайда қажетті сатыға жатады.

Реагенттің хемосорбциялануына негіз болатын жай, жаңадан түзілетін бет қосылыстың суда еру дәрежесі. Оның шамасы ерігіштік көбейтіндісімен (произведение растворимости- ПР) бағаланатыны белгілі. Неғұрлым реагент ионы минерал ионымен әрекеттесуінде түзілетін бет қосылыстың ерігіштік көбейтіндісі төмен болса, соғұрлым адсорбциялану күші жоғары болады.

Хемосорбцияның бірінші сатысы болатын ион алмасу процесінің мүмкіншілігі сол иондардың табиғатының және атомдық радиустарының жақындығымен байланысты.

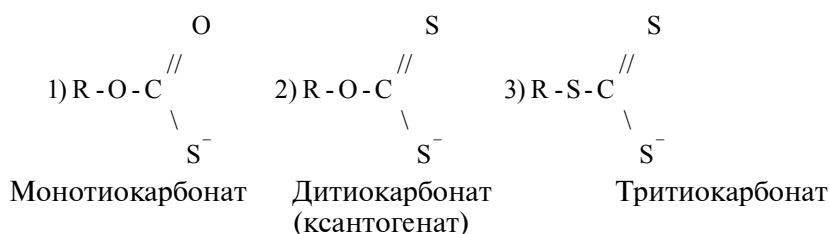
Осы келтірілген жайлар тұрғысынан қарасақ, сульфгидрильді жинағыштардың сульфидті минералдармен әрекеттесуі, сол сияқты оксигидрильді жинағыштардың тотықты минералдармен әрекеттесулері түсінікті. Мысалы, ксантогенаттар мен дитиофосфаттардың солидофильді топтарында екі күкірт атомдары бар, ал олар сульфидті минералдар құрамына кіретін атомдар.

Екіншіден, бұл реагенттердің аниондары ауыр металдар катиондарымен (ерігінді ішінде) суда нашар еритін қосылыстар түзеді. Ерігіштіктеріне қарай олар мынадай қатар жасай орналасады: $KxZn > KxPb > KxCu > KxAg > KxBi$ (Kx -ксантогенат ионы). Осы ерігіштік қасиеттеріне сәйкес, құрамында сол катиондары бар минералдар беттеріне адсорбциялануларыда және минералдардың флотациялануларыда қарама қарсы бағытта күшейе түседі.

Оксигидрильді жинағыштардың солидофильді тобыда екі оттект атомымен бітеді. Олардың да тотықты минералдарға адсорбциялануы және флотациялауы құрам жақындықтарымен тығыз байланысты екені аңғарылады.

Осы екі топтың әр қайсысына кіретін реагенттердің солидофильді бөлегінің құрамдарында болатын өзгерістерге байланысты олардың жинағыш қасиеттері де, демек адсорбциялану күштері де өзгеріп отырады. Бұған көрнекті мысал ретінде ксантогенаттар тобына жатқызуға болатын үш қосылыстың - монотиокарбонат, дитиокарбонат және тритиокарбонат - қасиеттерін салыстырайық.

Төменде осы үш реагенттердің құрылымды формулалары келтірілген:



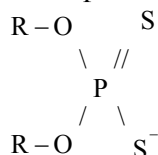
Үш реагентте минерал бетімен күкірт атомы арқылы әрекеттеседі. Солай бола тұрсада монотиокарбонат ауыр металдар катиондарымен суда ерігіштігі жоғары қосылыс түзеді.

Осыған байланысты, оның жинағыш қасиетіде төмен. Оның басты себебі $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$ тобының су

молекулаларымен күшті байланысқа түсуі. Осы топта оттегі атомы күкірт атомымен ауыстырылса реагенттің адсорбциялану күші күрт жоғарылайды. Ксантогенаттардың (дитиокарбонаттардың) күшті жинағыш реагенттері екені белгілі.

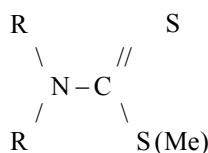
Дитиокарбонаттың солидофильді құрамына оттегі атом орнына үшінші күкірт атомы енгізілсе, оның адсорбциялану күші арта түскенмен жинағыш қасиеті аз өзгереді. Демек, тритиокарбонаттың ксантогенаттан айырмашылығы аз.

Аталған реагенттердің солидофильді тобының орталық атомы көміртек. Дитиофосфаттардың олардан айырмашылығы орталық атомы фосфор болуында:



Фосфор, бес валентті болуына байланысты, төрт валентті көміртекке қарағанда күкірт атомының электрондар бұлтын өзіне күштірек тартады. Осыған байланысты күкірт атомының кристалл катионымен әрекеттесу күші біраз төмендейді. Сондықтан дитиофосфорлы анионның металдар катиондарымен түзетін қосылыстарының ерігіштігі ксантогенаттарға қарағанда жоғарылау, ал жинағыш қасиеттері төмендеу болады.

Ксантогенаттар мен дитиофосфатқа ұқсас реагент д и т и о к а р б о м а т т а р. Оларда ксантогенаттағы оттегі орнына азот кіргізілген:



Бұлар ксантогенаттардан күшті жинағыштар, бірақ қымбаттылықтарына қарай өндірістік қолдану таппады.

Келтірілген жайлардан анионды жинағыштардың минерал бетімен әрекеттесіп адсорбциялануы туралы төмендегідей қорытындылар шығаруға болады:

жинағыш аниондары минерал аниондарымен алмасудан бастап оның катиондарымен әрекеттесіп хемосорбцияланады;

анионды жинағыштар минерал бетінде бет қосылыстарын түзеді;

хемосорбциялану күші реагенттің солидофильді тобының құрамымен анықталады;

түзілетін бет қосылыстарының ерігіштігі неғұрлым аз болса, адсорбциялану күші соғұрлым артады.

Реагенттердің адсорбциялану күшіне және минерал бетінің сусыздануына көмірсутек тізбегінің ұзындығының әсері. Көмірсутек тізбегінде атомдардың симметриялы орналасуына және олар өзара коваленттік байланыспен әрекеттесуі нәтижесінде полярсыз болады, сондықтан су

молекулаларымен тартыспайды. Минерал бетінде бұл топ суға бағытталады. Көмірсутек радикалы тура тізбекті (алифатты қатар) не сахиналы (ароматты) түрде болады. Тізбек иректі келеді және CH_3 не CH_2 тобы қосылған сайын ол 1,26 Å-ға ұзарады. Төменгі молекулалы реагенттерде (мысалы, ксантогенаттарда) көмірсутек тізбегінің ұзындығы 5-7 Å болса, жоғары молекулалы реагенттерде (карбон қышқылдары) ондаған ангстремге жетеді. Егер тізбекте екілік не үштік байланыстар болса, онда сол нүктелерде иректену ұлғаяды да тізбектің ұзындануы бәсең өзгереді. Мысалы, шектелмеген олеин қышқылының ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$) тізбегі оныншы көміртек атомында имектенеді, сол себептен оның ұзындығы тек 12-13 Å.

Реагенттің солидофильді тобы минерал бетінде адсорбциялануы нәтижесінде беттің электр өрісі әлсізденіп су молекулаларының тартылуын төмендеткенмен, су қабатын бұзу ролін көмірсутек тізбегі атқарады. Осыған байланысты, оның ұзындығының реагенттің жинағыштық қасиетін күшейтуге үлкен әсері бар. Мысалы, әр түрлі ұзындықты көмірсутекті тізбегі бар ксантогенаттардың жинағыш күші тізбек ұзындығы өскен сайын арта түседі. Метильді ксантогенаттың жинағыштық қасиеті өте төмен, сондықтан олар қолданылмайды. Этильді ксантогенатқа қарағанда бутильді және амильді ксантогенаттар күшті жинағыштар. Бірақ тізбек ұзындықтары белгілі шектен артқан сайын олардың ерігіштігі азая береді де, қажетті шығыны өседі. Сондықтан, тәжірибеде гептильді ксантогенаттар қолданылмайды. Көмірсутек тізбегі бір CH_3 тобына ұзарғанда ерігіштігі 4,25 есе азаяды. 2-кестеде әртүрлі минералдарды көмірсутек тізбегінде әр санды көміртек атомдары бар ксантогенаттармен өңдегенде, шеттік сулану бұрышының қалай өзгергені келтірілген.

2-кесте

Минералдардың шеттік сулану бұрышының әртүрлі тізбекті ксантогенаттармен өңдегендегі өзгеруі

Минералдар	Шеттік сулану бұрышы, 0°					
	Тізбектегі көміртек атомдар сандары					
	1	2	3	4	5	6
Галенит	0	59	68	74	88	100
Халькопирит	0	60	69	76	90	94
Борнит	0	60	68	73	86	95
Пирит	0	60	67	74	89	95

Шеттік сулану бұрышы тікелей минерал бетіндегі су қабатының қасиетіне байланысты. Көмірсутек тізбегі ұзарған сайын барлық минералдардың шеттік сулану бұрыштары өскенін көреміз. Минералдар тек бір ксантогенатпен ғана өңделсе, онда сулану бұрыштарының шамалары жақын. Демек, шеттік сулану бұрыштарының өзгеруі минералдардың қасиеттерімен емес, көмірсутек тізбегінің ұзындығымен тікелей байланысты екенін көрсетеді. Осыған байланысты көмірсутек тізбегінің минерал бетіндегі су қабатын бұзудағы рөліне тоқтайық.

Бірінші бөлімде минерал бетіндегі ерекше су қабатының қалыңдығы кейде жүздеген ангстремға жететіні және су молекулаларының онда өте ретті орналасатыны келтірілген. Осы қабатты бұзуда, көмірсутек тізбегінің ұзындығы артқан сайын су молекулаларының өз ара байланыстары үзілулері, олардың қатарларының қопсуы, соның нәтижесінде минерал бетінен алыстаулары арта түседі.

Екінші маңызды жай, адсорбцияланған бетте көмірсутек тізбектерінің өзара байланысқа түсуі. Олар полярсыз қасиетті болғандықтан өзара тек дисперсионды энергиямен әрекеттесіп молекулалық байланысқа түседі. Минерал бетінде жинағыш реагенті иондары неғұрлым тығыз орналасса және көмірсутек тізбегі ұзын болса, соғұрлым олардың өзара байланыстары күшейе түседі. Осыған сай су қабатының ыдырауыда күшейеді.

Әр түрлі ксантогенаттардың солидофильді топтары бірдей. Сондықтан олардың бір минералмен әрекетке түсу күштерінде бірдей. Олай болса минерал бетін сусыздандыру қасиеттерінің әр түрлі болуы тек көмірсутек тізбегінің қасиетіне тәуелді.

Сонымен, жинағыштың минерал бетімен әрекеттесуі солидофильді топтың қасиетімен анықталып, көмірсутек тізбегінің оған қатынасы жоқ болсада, жинағыштың адсорбцияланған

қабатының жалпы тұрақтылығы тізбектердің өзара байланысуларының нәтижесінде арта түседі.

Тәжірибеде ұзын көмірсутек тізбекті жинағыштарды қолдану үш жайға байланысты шектеледі:

1) тізбек ұзындығы өскен сайын олардың суда ерігіштері азаяды, соған байланысты шығындары өседі; мысалы, гептилді ксантогенаттан бастап келесілері, майлы қышқылдарды алсақ, олейн қышқылынан жоғарғылары суда аз, не ерімейді;

2) көмірсутек тізбегі ұзарған сайын олардың жинағыш қасиеттері күшейе түседі де минералдарға тандаусыз адсорбцияланады, демек таңдамалы флотация жүргізу қиындайды;

3) тізбек ұзындығына қарай реагенттердің құны өсе береді.

Көмірсутек тізбектерінің тармақталуы, демек изоқұрымдылығы реагенттердің жинағыш күшін азайтады. Себебі тізбек аралықтарындағы әрекеттесу күші бәсеңдейді және ерігіштері артады.

Көмірсутек радикалы ашық (түзу) тізбекті түрден сақиналы түрге көшкенде қасиеттері біраз өзгереді. Бір сақиналы тізбекте бірімен бірі симметриялы жалғанған алты көміртек атомы бар. Олар бір жазықтықта алты бұрыштың әр бұрышына орналасқан. Осындай бір сақиналы тізбекті жинағыш реагенттің күші этильді (C_2) реагенттің күшімен парапар. Демек, олар түзу тізбектілермен (алифатты қатар) салыстырғанда әлсіз реагенттер. Олардың тағы бір ерекшеліктері жағымсыз иісті келеді. Осы қасиеттеріне байланысты олар тәжірибеде сирек қолданылады.

Жинағыш реагенттердің минерал бетінде адсорбциялану тығыздығы ол беттің сусыздануында маңызды роль атқарады. Минералдар беттерінің қасиеттерінің біркелкі еместігіне байланысты реагенттердің адсорбциялануларыда біркелкі болмайды. Көптеген зерттеулермен минерал түйіршіктерінің флотациялануы үшін олардың беттерінде жинағыш реагенттердің бүтін бет ауданында адсорбциялануының қажеті жоқ екендігі анықталды. Жалпы реагенттің адсорбциялы қабатының тығыздығы деп адсорбцияланған реагенттің шамасын минералдың бірлік бет ауданына (мысалы, cm^2) шаққандағы үлесін айтады. Адсорбция тығыздығы минералдың бет қасиетіне, реагенттің активтілігіне және оның судағы (пульпадағы) концентрациясына байланысты. Зерттеулер нәтижелеріне қарағанда, көпшілік жайғайда реагенттер минерал бетінің тек активті аймақтарында ғана адсорбцияланады, ол жерлерде, егер концентрация жеткілікті болса, реагент көп қабат құрай адсорбцияланады. Бірінші қабаттағы иондар тікелей минерал бетімен әрекеттесіп реттірек орналасса, келесі қабаттарда реагент иондары (молекулалары) өзара әрекеттесулерімен байланысты адсорбцияланады. Бірақ бұл қабаттардың болуы анықталғанмен оларда реагенттердің қандай формасының басым болатыны, қабаттардың құрылымдары және олардың қажеттігі туралы анық деректер жоқ. Жалпы болжам бойынша минерал бетінің кей аймақтарында реагенттің шоғырлана қабаттар құрап адсорбцияланулары оның сусыздануына айтарлықтай әсер етпейді. Керісінше, минерал бетіне реагент неғұрлым біркелкі адсорбцияланса, демек реагент адсорбцияланған беттің ауданы артса, соғұрлым минералдың флотациялану ықтималдығы артады. Арнаулы зерттеулермен минерал бетіндегі адсорбция тығыздығы 20-30 %-тен, ал шеттік сулану бұрышы көбінде 90° -тан аспайтыны анықталған.

Минерал бетінің жинағыш реагенттерін адсорбциялау активтілігі.

Жинағыш реагенттердің адсорбциялануы минералдың бет қасиетімен тығыз байланысты. Анионды жинағыштар химиялық адсорбцияланғанда оның анионы мен минерал катионы арасында туатын байланыс су молекулаларымен байланыс күшінен жоғары болады. Минерал катионының реагент анионымен байланысқа түсуі оның өз табиғатына байланысты, мысалы, ауыр металдар катиондары ерітіндіде ксантогенаттар аниондарымен әрекеттесіп суда аз еритін қосылыстар түзеді, ал жерсілтілі металдар катиондары (кальций, магний, барит, стронций) ксантогенаттармен еш қандай байланысқа түспейді. Соған байланысты аталған катиондары бар минералдар бетінде адсорбцияланбайды, ал ауыр металды катиондары (мыс, қорғасын, мырыш, темір) бар минералдар беттерімен күшті байланыстар жасай адсорбцияланады.

Минералдардың бет активтілігіне көп әсер ететін жайдың бірі кристалдық тор ішіндегі компоненттердің өзара байланыс түрлері. Мысалы, сульфидті минералдарда атомдар ионды - коваленттік байланыстармен әрекеттеседі. Екі байланыс түрінің өзара қатынасы катион

қасиетіне байланысты. Оның металдық қасиеті жоғарылаған сайын коваленттік байланыстың үлесі өседі және керісінше, металсыз қасиеті өссе иондық байланыстың үлесі өседі.

Сульфидті минерал беті тотығу кезінде сульфид ионының оттекпен әрекеттесуі нәтижесінде тотықты ионға айнала бастайды да, оның катионымен байланысында иондық байланыс үлесі арта бастайды. Ионды кристалдардың су молекулаларымен әрекеттесуі күшті келеді, ал минерал беті мен су молекулаларының байланысы артқан сайын, жинағыш реагенттерінің адсорбциялануы төмендейді.

Минералдардың бет активтілігі үлкен шекте өзгеруіне себеп болатын жай, олардың таза түрде болмауы. Кен құрамына кіретін минералдардың өзара байланыстарының күрделілігіне қарай, ұнтақтау процесінде таза түрінде толық ажырамайды. Сондықтан бір минерал түйіршігінде қауышпа түрінде екінші бір минералдар кездесіп отырады. Осындай шекаралықтардың химиялық активтілігі жоғары келеді. Осыған байланысты басқа аймақтармен салыстырғанда шекаралықтарда реагенттердің адсорбциялануларыда басқаша жүреді. Арнаулы зерттеулермен минерал бетінің электрлі қасиеттерінің әр аймақтарда әр түрлі екендігі дәлелденген. Мысалы, бір жерлерінің катодты қасиеті болса, екінші жерлерінің анодты қасиеті басым болады. Анионды жинағыштардың минерал бетінің әр жеріне шоғырланып адсорбциялануының негізгі себебінің бірі осы.

Бірінші бөлімде минерал кристалдарында көптеген ақаулардың және кірмелердің болуы қарастырылған. Олардың негізгі әсер ететін түрі минералдардың жартылай өткізгіштік қасиетін өзгерту. Реагенттердің адсорбциялануы үшін жартылай өткізгіш электронды не тесікті типке жатуы өте маңызды. Электронды типті жартылай өткізгіштерде электрон саны (n_p) көп болады, ал тесікті типте керісінше ($n_p > n_o$). Анионды реагенттердің адсорбциялануы n_o/n_p қатынасына тәуелді екені анықталған. Галенитпен пиритте n_o/n_p қатынасының өзгеруіне байланысты. оларда жинағыштардың адсорбциялануы және флотациялануы келтірілген 3-кестеде.

3-кесте

Галенитпен пириттің флотациялық қасиеттерінің n_o/n_p қатынасына қарай өзгеру.

Минерал	Өткізгіш типі	n_o см ³	n_p см ³	n_o/n_p	Көбікті өнім шығымы, %	Салыстыр. адсорбц. Г
Галенит 1	п	$4,96 \cdot 10^{14}$	$3,82 \cdot 10^{14}$	1,30	60,5	20,0
Галинит 2	р	$2,32 \cdot 10^{14}$	$3,96 \cdot 10^{14}$	0,61	70,0	50,0
Галенит 3	р	$3,22 \cdot 10^{14}$	$6,16 \cdot 10^{14}$	0,52	80,4	100,0
Пирит 1	р			0,66	75,0	100
Пирит 2	р			0,69	72,0	25,0
Пирит 3	р			0,72	80,0	20,0
Пирит 4	р			0,83	65,0	9,3

Келтірілген деректерден электрон үлесі артқан сайын реагенттің адсорбциялануы және минералдың флотациялануы төмендейтіні айқын көрінеді. Демек, реагент анионынан кристалдық торға электронның берілуі, соның нәтижесінде күшті орнауы минералда электрондар жетіспегенде (жартылай өткізгіштік n_p типті болғанда) жақсара түседі. Осы деректерден әр түрлі кен орнынан алынған бір минералдың қасиеттері әр түрлі болатындығы олардың генезистерімен тығыз байланысты екенін сипаттайды.

Электрондар мен тесіктердің қатынастарын өзгерту әдістерін қолдану флотациялық процесті қажетті бағытта реттеу, қарқындалу мүмкіндіктерін тудырады. Сондай әдістің бірі пульпаны тотықтандырғыш не тотықсыздандырғышпен өңдеп, оның тотықты-тотықсыздану потенциалын өзгерту. Мысалы, пульпа $KMnO_4$, H_2O_2 , O_2 және т.с.с. тотықтандырғыштармен өңделсе минералда n_o/n_p қатынасы азайып, реагент анионынан минералға электрон берілуі жеңілдейді, демек Ферми деңгейі төмендейді. Керісінше, пульпа тотықсыздандырғышпен өңделсе n_o/n_p қатынасы жоғарылайды.

Айта кететін жай, сульфидті минералдарды флотациялауда олардың тотықтануы тек белгілі бір шекке дейін ғана жүруі қажет. Тотығуда минерал атомдарының ионды-ковалентті байланысы тек ионды байланысқа айналса, онда минерал бетінің сулануы күшейіп, жинағыш

реагенттердің адсорбциялануы өзгереді. Осыған байланысты өндірістік тәжірибеде күшті тотықтандырғыштар сирек қолданылады. Ол үшін су ішінде атмосфералық қысымда еріген оттегі молекулаларының әрекетіде жеткілікті. Минералдардың жартылай өткізгіштік қасиетін электронды типтен тесікті типке айналдырудың бір әдісі минерал құрамына ерітіндіден (пульпадан) диффузиялық жолмен жасанды түрде кірмелер енгізу. Классикалық мысал ретінде сфалериттің флотациялану қасиетін мыс иондарымен активтеуді келтіруге болады. Сфалерит көбінде электронды типті жартылай өткізгішке жатады. Оның ксантогенат иондарымен әрекеттесу күші төмен. Мыс катиондары мырыш иондарымен салыстырғанда күкіртпен аз еритін қосынды жасаумен байланысты сфалерит бетінде мырыш катиондарымен оңай алмасып, қасиеті басқадай қабыршық (CuS) жасай адсорбцияланады. Осының нәтижесінде p_0/p_r қатынасы өзгеріп, бетке ксантогенат аниондарының адсорбциялануы күрт күшейеді.

Келтірілген әдістерден басқада минералдар бетінің қасиеттерін өзгерту жолдары белгілі. Солардың біріне флотациялау кезінде минералдарды әр түрлі сәулелермен әрекеттестіру жатады. Минерал табиғаттарына қарай кейбірінде p_0/p_r қатынасы өсіп флотацияланулары төмендесе, ал кейбіреулерінде, керісінше, p_0/p_r қатынасы азайып минералдық флотоактивтілігі өседі.

Жинағыш реагенттердің әртүрлі формаларының минерал бетін сусыздандырудағы маңызы.

Ионогенді жинағыштардың молекулаларының иондарға диссоциациялануы олардың қасиеттеріне қарай әр дәрежеде жүреді және пульпаның сутек көрсеткішімен (рН) тығыз байланысты. Анионды жинағыштардың негізгі бөлегін иондарға айналдыру мақсатымен флотация сілтілі ортада жүргізіледі. Себебі реагенттерді суда гидролиздеуде түзілетін қышқылдардың көбі орташа не әлсіз электролиттер. Осыған байланысты пульпада олар ионды және молекулалық түрде болады. Осылармен қатар пульпада реагенттердің өзгерген түріде кездеседі. Пульпада әруақытта түрлі себептермен металдар катиондары болады. Олар реагент аниондарымен әрекеттесіп суда ерімейтін қосылыстар түзеді. Сөйтіп жинағыш реагенттер пульпада үш түрде кездеседі.

Олардың ішіндегі ең активті, минерал бетімен тікелей химиялық байланысқа түсетіні ионды түрі. Енді минерал бетіне тек иондардың адсорбцияланулары оның сусыздануын қамтамасыз етеме және молекулалар мен ерімейтін қосылыстардың атқаратын рольдері барма деген сұрақтарға жауап ізделік. Бұл бағытта көптеген зерттеулер жүргізілді. Соның нәтижесінде бірсыпыра жайлар анықталды. Оларды жинақтай келе төмендегідей қорытындылар шығаруға болады:

1. Ертерек кездердегі сульфгидрильді жинағыштардың минерал бетін сусыздандыруда тек хемосорбцияланған қабат қана басты роль атқарады, ал молекулалы формаларының маңызы төмен деген болжамның дұрыс емес екендігі анықталды. Шынында төменгі молекулалы сульфгидрильді жинағыштардың көмірсутек тізбегі $5-7 \text{ \AA}$ ғана болуы, қалыңдығы бірнеше жүз ангстремға жететін су қабатын қопсытып ыдыратуға жеткіліксіз. Онымен бірге реагент минерал бетінің тек әр жерінде шоғырланып адсорбцияланатынын ескерсек, оның сусыздану дәрежесі флотациялануын қамтамасыз етпейді. Сондықтан ертеде Д.А.Шведов сульфидоксантогенат деп атаған қабатта реагенттің ионды түрінің хемосорбциялануы минерал бетіндегі қанықпаған байланыстар күшін азайтып, бос энергияны төмендетеді, бірақ су қабатын ретсіздендіріп, қалыңдығын азайтуға мүмкіншілік тумайды.

2. Анионды жинағыштардың молекулаларының толық диссоциацияланбауы нәтижесінде пульпада әрдайым белгілі бөлегі молекулалар түрінде қалады. Олардың минерал беттеріне адсорбциялануы көмірсутек тізбектерінің өзара дисперсионды әрекетпен байланысу нәтижесінде жүреді. Неғұрлым көмірсутек ұзындаса, соғұрлым олардың өзара байланыстары арта түседі. Мысалы, оксигидрильді (ұзын тізбекті) жинағыштардың молекулалары минерал бетінде ондаған, кейде жүздеген қабат құрай адсорбцияланатыны С.И.Полькиннің зерттеулерімен анықталған.

Сульфгидрильді жинағыштардың тағы бір ерекшелігі сол, оның иондары минерал бетінде оттегі молекулаларының қатысуымен және сульфидті минералдардың жартылай өткізгіштік қасиеттерінің әрекетімен тотығып **д и к с а н т о г е н и т к е** айналатыны анықталған. Ол таза көмірсутектерге ұқсас аполярлы майлы зат. Ол минерал бетімен сол бетке химиялық адсорбцияланған иондардың көмірсутек тізбектерімен әрекеттесуі нәтижесінде байланысады. Көптеген зерттеулер нәтижесінде (А.А.Абрамов) сульфидті минералдардың

беттерінің сусыздануында басты роль атқаратын диксантогенид екені анықталды. Бұған көптеген дәлелдер бар. Мысалы, ауыр түсті металдардың тотықты минералдары (карбонаттары және сульфаттары) ксантогенаттардың жеткілікті адсорбциялануына қарамастан өте нашар не тіпті флотацияланбайды. Оның себебі бұл минералдар ионды кристалды, жартылай өткізгіштік қасиеті жоқ. Сондықтан олардың беттерінде ксантогенат ионды түрде қалады, диксантогенидке айналмайды. Бұл жай минерал бетін сусыздандыруда диксантогенидтің басты роль ойнайтынын көрсетеді.

Минерал бетін сусыздандыруда көмірсутекті молекулалардың маңызды роль атқаратынын көрсетуге бір мысал келтірейік. Егер ионогенді реагенттерге аполярлы майлы заттар қосылса минералдардың флотациялануы арта түседі. Осы вариантты қолданып ионогенді реагенттің (әсіресе бағасы қымбаттарының) шығынын азайтуға болады.

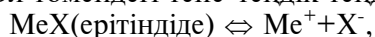
Тек молекулалы формада не майлы түрде болатын (диксантогенид және басқалады) реагенттермен жүргізілген тәжірибелер минералдардың өте нашар флотацияланатынын көрсетті. Оның негізгі себебі аполярлы түрдегі (ионданбайтын) реагенттер полярлы қасиетті минералдардың бетімен әрекеттеспейді, демек адсорбцияланбайды.

Келтірілген жайлардан шығарылатын қорытынды: минералдардың тиімді флотациялануы реагенттің тек екі форма түрінде (ионды және молекулалы) адсорбцияланғанын ғана қамтамасыз етіледі. Тікелей минерал бетіне реагенттің бір қабат жасай адсорбциялануы оның ионды формасына тәуелді болса, оның бетіндегі су қабатын ыдырату молекулалы формасының әрекетімен байланысты. (Аполярлы реагенттердің жеке қолданулары кейінірек қаралады).

3. Жинағыштар анионы тек минерал бетімен ғана емес пульпадағы металдар катиондарымен әрекеттесіп суға нашар еритін қосылыстар түзеді. Олардың минерал бетінің сусыздануына тигізетін әсері әрқилы. Соған байланысты олардың ролі туралы әр түрлі көзқарастың болуы түсінікті. Соларды талдай келе төмендегі қорытындыларға келуге болады:

а) пульпада реагенттердің және металл катиондарының концентрациялары төмен болумен байланысты олардың әрекеттесуінен пайда болатын қосылыстардың негізі - коллойдты-дисперсті түрде болады. Олардың қатты зат бетінде физикалық күштермен әрекеттесуі әр түрлі деңгейде үнемі орындалады. Әрине әрекеттесу күші иондар және молекулалармен салыстырғанда төмен болады. Жалпы минерал бетіне олар молекулалармен аралас түрде адсорбцияланады деген болжам айтуға болады.

б) ауыр металдар ксантогенаттарын қолданып жүргізілген флотациялық тәжірибелер олардың жинағыш қасиеттерінің суда ерігіштіктерімен тығыз байланысты екенін көрсетті. Мысалы, галенитті флотациялауда металдар ксантогенаттарының жинағыш қасиеттерінің төмендеуі мына қатармен сипатталады: мырыш ксантогенаты > қорғасын ксантогенаты > мыс ксантогенаты > күміс ксантогенаты > висмут ксантогенаты. Демек, неғұрлым металл ксантогенатының ерігіштігі жоғары болса (ең ерігіш мырыш ксантогенаты), соғұрлым оның жинағыш қасиеті жоғарылайды. Бұл жай олардың жинағыш қасиеттері тек минерал бетіне коллоидты түрде жабысуы нәтижесінде ғана емес, сонымен бірге олардың суда еру кезінде иондарға диссоциялану-нәтижесінде пайда болатын ксантогенат иондарының әрекетімен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Иондарға диссоциялану дәрежесі метал ксантогенатының ерігіштік көбейтіндісіне тәуелді. Ол төмендегі тепе-теңдік теңдеуімен сипатталады:



мұнда Me^+ -ауыр металл катионы;

X-ксантогенат анионы.

Диссоциацияланудан пайда болған ксантогенат анионы минерал бетіне адсорбцияланып шығындалған сайын тепе-теңдіктің бұзылуынан реакция оңға жылжып отырады. Ксантогенат анионының адсорбциялануы үнемі оның концентрациясының аз мөлшерде болу күйінде жүреді. Сондықтан металл ксантогенатының жинағыш күші суда еріген түрде болатын ксантогенаттардың жинағыш күшінен көп төмен болады.

Осы келтірілген жайлардан ерігіндіде (пульпада) түзілетін металл ксантогенаттарының минерал бетіне әсері олардың еруінен пайда болатын иондарының және коллоидты күйдегі түрінің адсорбциялануларының нәтижесінен туады деп санауға болады.

в) суда еритін ксантогенаттармен флотацияланбайтын минералдарға ауыр металдар ксантогенаттарыда жинағыш бола алмайды.

Анионды жинағыштардың адсорбциялануында сульфидті минералдардың тотығуының маңызы.

Теориялық және тәжірибелік зерттеулермен анионды жинағыштардың тотықпаған сульфидті минерал бетіне адсорбцияланбайтыны анықталған. Адсорбция тек минерал беті оттеппен әрекеттесіп, белгілі дәрежеге дейін тотығуынан кейін ғана басталады.

Көлемді зерттеулерінің нәтижесінде И.Н.Плаксин және С.В.Бессонов минерал бетінің оттеппен тотығу процесі үш сатылы жүретіні туралы төмендегі қорытындыларға келді:

1) оттектің адсорбциялануының бастапқы сатысы; 2) оттектің минерал бетінде тотықсыздануы;

3) оттектің химиялық әрекеттесуі нәтижесінде минерал бетінің тотығуы және ол бетте тотықты қабаттың пайда болуы.

Енді минерал бетінің тотығуының әр сатысының ерекшеліктерін қарастыра алдында, тотықпаған сульфидті бетке анионды жинағыштардың адсорбцияланбау себептеріне тоқталық.

Біріншіден, бұзылған (ұнтақтау нәтижесінде) кристалды тор бетінде күшті байланыстар үзілісінен босаған электрондар концентрациясы теріс зарядты электр өрісін тудырады. Сондықтан ол бетте аниондар адсорбцияланбайды.

Екіншіден, сульфидті минералдарда металл катиондарының күкірт аниондарымен өзара байланыс күштері ксантогенат аниондарымен байланысынан көп жоғары. Ауыр түсті металдар сульфидтерінің, кейбір тотықтарының және металл ксантогенаттарының ерігіштік көбейтінділері келтірілген 4-кестеде. Олар қосылыстар құрайтын атомдардың өзара байланыс күштерін көрсетеді.

4-кесте

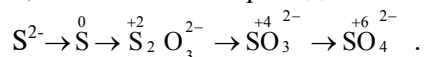
Әр түрлі металл қосылыстарының ерігіштік көбейтінділері (Каковский бойынша)

Металдар	Қосылыстар	Ерігіштік көбейтіндісі	
		Минералдары	Бутил ксантогенаты
Cu	CuS	$3,3 \cdot 10^{-36}$	$4,7 \cdot 10^{-20}$
	Cu ₂ S	$2,5 \cdot 10^{-48}$	
	Cu(OH) ₂	$5,0 \cdot 10^{-20}$	
	CuCO ₃	$2,5 \cdot 10^{-10}$	
Pb	PbS	$2,5 \cdot 10^{-27}$	$6,0 \cdot 10^{-17}$
	Pb SO ₄	$1,6 \cdot 10^{-8}$	
	Pb CO ₃	$2,8 \cdot 10^{-14}$	
	Pb(OH) ₂	$1,1 \cdot 10^{-20}$	
Zn	ZnS	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$3,7 \cdot 10^{11}$
	ZnCO ₃	$1,45 \cdot 10^{-11}$	
	Zn(OH) ₂	$7,1 \cdot 10^{-18}$	

Келтірілген деректерден ксантогенат ионының сульфидті минералдармен әрекеттесіп сульфид ионымен алмасуы мүмкін еместігі көрінеді. Керісінше, бутил ксантогенаты анионының карбонат және сульфат иондарымен ауысу мүмкіндігі жоғары.

Минерал бетінің жинағыштармен әрекеттесуінде оның алдынала тотығуының маңызыда келтірілген кедергілерді күрт төмендетумен тығыз байланысты. Жоғарыда келтірілген бірінші тотығу сатысының мәні оттег молекулаларының бір сәтте (ұнтақтау нәтижесінде) пайда болатын жаңа бетке молекула түрінде адсорбциялануы. Бірінші бөлімде электрлі өрісті бетке тек полярлы су молекулаларының тартылуы айтылған. Оттег молекуласы полярсыз зат. Оның электрлі өріспен әрекеттесуінің негізі тотықтандыру, демек электрон қабылдағыш қасиетінде ($E = -1,47$ эв). Электрондармен әрекеттесу нәтижесінде бет потенциалы күрт төмендейді де су молекулаларының тартылу күші бәсеңдеп, су қабаты қопсиды. Соған байланысты ксантогенат аниондарының минерал бетіне бағытталған диффузиялық қозғалысы оңайлайды. Сонымен тотығудың бірінші сатысы оттег молекулаларының минерал бетіндегі электрондарын қабылдап ионға айналуының ($1/2 O_2 + 2e \rightarrow O^{2-}$) нәтижесінде жинағыш аниондарының минералмен әрекеттесуі жеңілдейді.

Тотығудың екінші сатысы, активті оттегі иондарының минерал бетінде полярлы коваленттік байланыспен, сульфид иондарымен әрекеттесіп оларды тотықтыруымен байланысты. Сульфид ионының оттегімен әрекеттесу қасиеті жоғары. Соған байланысты ол теріс екі валенттік (S^{2-}) күйден оң алты валентті күйге дейін тотыға алады:



Сульфид ионының тотығуының әр сатысы әр түрлі жылдамдықпен жүреді. Оның негізінде судағы еріген оттегі молекулаларының концентрациясымен анықталады. Минерал бетінің Бұл тотығу сатысының бірсыпыра ерекшеліктері бар. Сульфид ионы (S^{2-}) тотығып элементті күкіртке $\overset{0}{S}$ айналғанда минерал бетіндегі су қабатының қопсуы және жұқаруы жоғары дәрежеде болады. Арнаулы қойылған тәжірибелер осы сәтте минералды жинағышсыз флотациялауға болатынын көрсетті. Сонымен қатар, нақтылы жағдайда элементті күкіртті осы күйде белгілі уақыт мөлшерінде тұрақты ұстау (мысалы өндірістік масштабта) мүмкін емес. Сульфид ионның элементті күкіртке айналу сатысы оттегі молекулаларының ионға айналу сатысымен қатар жүретін процесс деуге болады.

Тотығудың келесі сатылары оттегі ионының күкіртпен әрекеттесіп әр түрлі сульфототықтар түзуімен байланысты. Олардың ерекшеліктерінің бірі сол тиосульфат ($S_2O_3^{2-}$) және сульфит (SO_3^{2-}) иондары ауыр түсті металдар катиондарымен суда аз еритін қосылыстар түзеді. Осыған байланысты олардың негізі минерал бетінде қалады. Тотығудың ең ақырғы сатысында пайда болатын сульфат ион (SO_4^{2-}) көпшілік металл катиондарымен суда еритін қосылыстар түзетін болғандықтан (мыс, мырыш, темір) бірден суға шығады. Екінші ерекшеліктері олардың жинағыш аниондарымен оңай алмасуы. Оған негіз болатын екі жайды қарастырайық.

Бірінші. Тотықпаған сульфидте атомдар ионды-ковалентті байланыспен қосылса, тотығу процесінде металл катионымен сульфототықты ион арасындағы байланыс таза ионды түрге көшеді. Ионды байланыстардың полярлық қасиеті жоғары болады, сол себептен су молекулаларымен байланысы қайтадан артады.

Екінші. Оттегімен әрекеттесу процесінде күкірт атомының металл катионымен әрекеттесу процесінде күкірт атомының металл анионымен әрекеттесу күші төмендейді. Осыған байланысты жинағыш аниондарының сульфототықты аниондармен алмасуы жеңілдейді. Оған қосымша себеп болатын жай сульфототықты иондардың сулану энергиясының кристалдық тор энергиясымен парапар болуы не артып кетуі.

Минерал бетінің тотығуының үшінші сатысы ретінде ол бетте тотықты қосылыстардың жеке фаза құрауын, демек үш өлшемді қабыршық жасауын айтуға болады. Басқаша айтқанда сульфидті минерал беті оның тотықты минералымен "қапталады". Соған байланысты оның флотациялық қасиеті мүлдем өзгереді. Ауыр түсті металдар минералдарының алдын ала активтендірілмей сульфгидрильді жинағыштармен флотацияланбайтыны белгілі.

Сонымен сульфидті минералдардың флотациялануында тотығу процесінің белгілі шекке дейін жүруі қажетті болса, мөлшерден артық тотығуы кері әсер етеді. Тотығу процесінің көрсеткіші ретінде минерал бетінің потенциалын келтірсек сапалы түрде оның флотациялану қасиетінің өзгеруін графикалық түрде 18-суретте көрсетілгендей сипаттауға болады.

18-сурет. Минерал бетінің тотығуына байланысты жинағыштың адсорбциялануы және минералдың флотациялануы.

E-минерал бетінің тотығуы;

G-жинағыштың адсорбциялануы;

E-минералдың флотациялануы;

1, 2, 3-тотығу сатылары.

Тотығудың үшінші сатысында сульфототықты иондардың су молекулаларының әрекетімен суға шығуы артқан сайын олардың арасына орналасқан металл катионында

кристалдың іш қабаттарымен байланысы әлсізденіп суға шығады, демек белгілі мөлшерде минерал ериді. Минерал бетінде түзілетін металл ксантогенатыда осы себеп салдарынан суға шығады. Минерал бетінде түзілетін қосылыстың құрылымдық параметрлерімен кристалды тор құрылымының параметрлері неғұрлым өзгеше болса, соғұрлым оның беттен қопарылып бөлінуі арта түседі.

Минералдың бет қасиеті біркелкі болмағандықтан тотығу процесіде әр жерінде әр түрлі жылдамдықпен жүреді. Сондықтан оның флотациялануы келтірілген құбылыстардың (сулануы, тотығуы, реагенттің адсорбциялануы) өзара қатынастарының жиынтығымен анықталады.

Минерал бетінің сусыздануында жинағыш реагенттерінің тіркестерін қолданудың маңызы. Зерттеу нәтижелері және өндірістік тәжірибелер жинағыш реагенттердің тіркестері қолданғанда байыту нәтижелерінің жоғарылайтынын көрсетті. Ксантогенаттардың екі тіркесін қолданып жүргізілген тәжірибелерде (В.А.Глембоцкий, Г.М.Дмитриева) әрдайым бөліп алу дәрежесі жоғарылайды және флотация жылдамдығы артады. Тіркестердің тиімділігі әсіресе реагенттердің шығындары төмендеген сайын байқалады.

Тіркестердің тиімділігінің өсуі минералдық бет қасиетінің біркелкі еместігімен тығыз байланысты. Беттің әр аймағының активтілігі әр түрлі болғандықтан ол жерлерінде реагенттердің адсорбциялану мүмкіндігіде әр түрлі. Оған дәлел ретінде тіркеске кіретін реагенттердің қасиеттеріндегі айырмашылықтар неғұрлым үлкен болса, соғұрлым флотациялау нәтижелеріде жоғарырақ болады. Мысалы, екі ксантогенат тіркесімен салыстырғанда ксантогенатпен дитиофосфат тіркесінің тиімділігі жоғары келеді, ал сульфгидрильді жинағышпен оксидгидрильді жинағыш тіркесі қолданылса минералдың флотациялануы тіпті артады. Мысалы, күшті тотыққан галенитті флотациялауда бутил ксантогенатымен натрий олсаты қолданылғанда төмендегідей нәтижелер алынған (шығын 75 г/т):

	Е%
Бутил ксантогенаты	50.
Натрий олсаты	60.
Тіркес (30% б.к.+70% олсат)	90.

Тіркестердің флотациялау нәтижелерін арттыруларының басты себебі реагенттердің минерал бетінде адсорбциялану тығыздығының артуында, демек сусыздану ауданы өседі.

Тіркестерді қолдану реагенттердің жалпы шығынын, әсіресе құны жоғары реагенттерді, төмендетуге мүмкіндік туғызады. Бірақ іс жүзінде өндірістік тәжірибеде әр түрлі себептермен (бастысы реагенттердің жетіспеушілігі) жинағыш реагенттердің тіркесін қолдану кең тарамай отыр.

§3 Сульфгидрильді жинағыштар

Түсті металдар кендерін флотациялаумен байытуда ең жиі қолданылатындары дитиокарбонаттар (техникалық аты ксантогенаттар) және дитиофосфаттар (техникалық аты-аэрофлоттар). Бұлар анионды жинағыштарға жатады.

Бұл реагенттердің солидофильді тобының құрылымы және құрамы өте ұқсас: екі күкірт атомы кіреді, тек орталық атомдары әр түрлі (ксантогенатта-көміртек, ал дитиофосфатта-фосфор атомдары). Екеуіде дитиоқышқылдарының туындылары.

Осы екі реагентке жинағыш қасиеттері ұқсас, құрамында тікелей көміртекке жалғанған күкірт бар бір топ реагенттер белгілі. Олар жалпы т и о л д ы қосылыстар деп аталады (5-кесте).

5-кесте

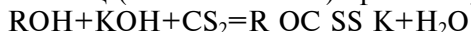
Тиолдар классификациясы

Тиолдар	Монотиолды қосылыстар	Дитиолды қосылыстар	Үштиолды қосылыстар
Меркаптандар	R-SH		
Тиоқышқылдары	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{SH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{SH} \\ \parallel \\ \text{S} \end{array}$	
Тиокөміртекте қышқылдар	$\begin{array}{c} \text{RO}-\text{S}-\text{SH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{RO}-\text{S}-\text{SH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{S}-\text{C}-\text{SH} \\ \parallel \\ \text{S} \end{array}$
		ксантогенді қышқылдар	

Тиокарбомилді қышқылдар	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \backslash \\ \text{N}-\text{C}-\text{SH} \\ / \quad \\ \text{H(R)} \quad \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \backslash \\ \text{N}-\text{C}-\text{SH} \\ / \quad \\ \text{H(R)} \quad \text{S} \end{array}$	
Тиомочевина	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \backslash \\ \text{N}-\text{C}-\text{SH} \\ / \quad \\ \text{H(R)} \quad \text{HN} \end{array}$		
Тиофосфорлы қышқылдар	$\begin{array}{c} \text{RO} \quad \text{O} \\ \backslash \quad // \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{RO} \quad \text{SH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{RO} \quad \text{SH} \\ \backslash \quad // \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{RO} \quad \text{S} \end{array}$	



Ксантогенаттар ксантогенді қышқылының (ROCSSH) натрий не калий тұздары. Олар күкіртті көміртек, спирт және сілтінің (RON не NaOH) әрекеттесулерімен алынады:



Ксантогенат сары түсті кристалды шөгінді түрде түзіледі.

Ксантогенаттың аты қолданылған спирттің және металл атымен (натрий не калий) аталады:

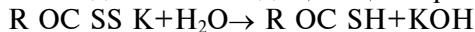
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OCSSK}$ - калийдің этильді ксантогенаты

$\text{C}_3\text{H}_7\text{OCSSK}$ - калийдің пропильді ксантогенаты

$\text{C}_4\text{H}_9\text{OCSSK}$ - калийдің бутильді ксантогенаты және т.с.с. Бұлардан басқа олардың изоқұрылымды түрлері де (изопропильді, изобутильді) қолданылады.

Сілтілі металды (KNa) ксантогенаттардың суда еруі көмірсутекті радикалдың ұзындығына байланысты. Тәжірибеде, әдетте, суда жақсы еритін қысқа радикалды түрлері (этильді, пропанды, бутильді және амильді) қолданылады. Гептильді ксантогенаттардан бастап олардың ерігіштері азая бастайды. Сондықтан олар қолданылмайды және өндірісте шығарылмайды.

Суда гидролиздену нәтижесінде ксантогенді қышқыл түзіледі:



Ксантогенді қышқылдың диссоциациялану тұрақтылығы жоғары:

$$K = \frac{[\text{ROCSS}^-][\text{H}^+]}{[\text{ROCSSH}]} = 3 \cdot 10^{-2}$$

Сондықтан оның иондарға диссоциациялануы оңай жүреді. Қышқылды ортада, әсіресе $\text{pH} < 5$ болса, қышқыл молекуласы бастапқы компоненттерге (спирт, күкіртті көміртек және сілті) ыдырай бастайды. Бірақ сульфидті флотациялау негізінде сілтілі ортада жүргізілетіндіктен ксантогенат ионының тұрақтылығы жоғарылайды. Жалпы ксантогенді қышқылдың күшіне байланысты ортаның сілтілігін жоғарылатудың қажеті жоқ, әдетте $\text{pH} = 7,0-8,0$ болса сол жеткілікті.

Ксантогенаттардың қышқылды ортада ыдырауы олардың көмірсутекті радикалының ұзындығына байланысты. Мысалы, 0,1 нормальды тұз қышқылында этильді ксантогенаттың ыдырауына 5-10 мин. жеткілікті болса, бутильді қышқылдың ыдырауына 50-60 мин. қажет.

Ыдырауды жылдамдататын екінші фактор температура: неғұрлым ол жоғарыласа, соғұрлым ыдырау жылдамдайды. Сол сияқты, ксантогенаттар тұрақтылығы жоғары сілтілі ортада төмендейді. Онымен қатар гидроксил ионының (OH^-) концентрациясы артқан сайын оның металл катиондарымен әрекеттесу күшіне қарай ксантогенат иондарын минерал бетінен ығыстыра бастайды. Осыған байланысты, егер басқа себептермен флотацияны жоғары сілтілі ортада жүргізу қажет болса ксантогенат шығынын жоғарылатуға тура келеді.

Ксантогенат иондарының сульфидті минералдар бетінде адсорбцияланулары олардың ауыр түсті металдар катиондарымен әрекеттесіп, ерігіштіктері төмен қосылыстар түзетіндіктерімен байланысты екендігі алдыңғы параграфта келтірілді. Ал минерал бетінің қажетті мөлшерде сусыздануы реагенттің аполярлы радикалының ұзындығына байланыстығы айтылды. Оған үлкен дәлел ретінде метильді ксантогенаттың (онда бір ғана CH_3 тобы бар) жинағыш қасиеті жоқтың қасы екенін келтіруге болады. Осыған байланысты 6-кестеде әр түрлі ксантогенаттардың аниондарының ұзындықтары келтірілген.

6-кесте

Әр түрлі тұзу тізбекті ксантогенаттардың аниондарының ұзындықтары
(В.А.Мокроусов деректері)

Ксантогенаттар	Анион ұзындығы, о А	Ксантогенаттар	Анион ұзындығы о А
Метильді	7,1	Бутильді	10,9
Этильді	8,4	Амильді	12,2
Пропильді	9,7	Цетильді	26,0

Ксантогенаттардың солидофильді топтарының құрамдары бірдей екенін ескерсек, аниондарының ұзындықтарының өсуі көмірсутек радикалының ұзындауымен ғана байланысты. Метильді ксантогенат өте әлсіздігіне байланысты қолданылмайды. Этильді ксантогенаттың анион ұзындығы метилдікінен $1,3 \text{ \AA}$ ғана артық болғанмен оның жинағыш күші жоғары. Ал бутильді ксантогенат күші этильдіден көп артық.

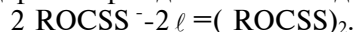
Көмірсутек тізбегі минерал бетімен әрекеттеспеседе оның ұзындығы жинағыш анионының металл катионымен әрекеттесу күшін арттыратынын төменде (7-кестеде) келтірілген деректерден көруге болады.

7 -кесте.

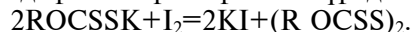
Кейбір металдар ксантогенатының көмірсутек радикалдарының ұзындықтарына байланысты ерігіштерінің өзгеруі

Металдар	Этильді	Пропильді	Бутильді	Амильді
Zn	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$
Hg	$1,55 \cdot 10^{-35}$	$1,3 \cdot 10^{-39}$	$1,7 \cdot 10^{-40}$	-
Cd	$2, \cdot 10^{-14}$	-	$2,8 \cdot 10^{-16}$	$8,5 \cdot 10^{-18}$
Cu	$4,9 \cdot 10^{-20}$	-	$4,1 \cdot 10^{-21}$	-

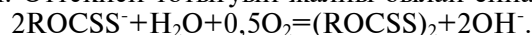
Ксантогенаттардың өте маңызды қасиетінің бірі - тотықтануы суда ерімейтін, ионданбайтын майлы затқа-д и к с а н т о г е н и д к е $(\text{ROCSS})_2$ айналуы. Демек, екі ксантогенат анионы екі электрондарын беріп диксантогенид молекуласын түзеді:



Тотығу көптеген тотықтандырғыштар әсерімен жүреді. Мысалы, иодпен:



Ксантогенаттардың жинағыш қасиеттеріне байланысты маңызды жай олардың пульпада тотығуы. Зерттеулермен ксантогенат суда еріген оттегімен өте аз жылдамдықпен тотығатыны, ал егер суда металдар не сульфидті минералдар болса оның тотығу жылдамдығы өте жоғарылайтыны анықталды. Оттегімен тотығуын жалпы былай сипаттауға болады:



Ксантогенаттың пульпада тез тотығуында минерал бетінің үлкен роль ойнайтыны күмән тудырмайды. Бұл процестерде негізгі тотықтандырғыш оттегі. Оның минерал бетімен әрекеттесуінің бірініші сатысы хемосорбциялану процесінде электрондар қабылдап, активті анионға айналуы алдыңғы параграфта қаралған. Осыған байланысты мынадай болжам жасауға болады: оттегі молекуласы минерал бетінің электрондарын ғана емес, олармен бірге ксантогенат аниондарының электрондарын қабылдайды, ал минерал бетінің ролі олардың электрондар алмасуын жоғарылату. Демек, минерал беті катализаторлар ролін атқарады. Ондай қасиет тек металдарда не жартылай өткізгіштік заттарда ғана болады. Сульфидті минералдардың барлығы әр түрлі дәрежеде жартылай өткізгіштер екені белгілі. Осы тұрғыдан қарасақ, мысалы, ауыр түсті металдардың карбонатты не сульфатты минералдарының ксантогенатпен флотацияланбайтыны түсінікті: олардың жартылай өткізгіштік қасиеттері жоқ. Сондықтан олардың бетінде ксантогенат минерал бетінің сусыздануын қамтамасыз етпейтін тек ион түрінде ғана адсорбцияланады.

А.А.Абрамов зерттеу жұмыстарында сульфидті минералдардың тиімді флотациялануы минерал бетінде сульфидрильді реагенттердің екі формасы (ионды және молекулалы) адсорбцияланғанда болатынын көрсетті.

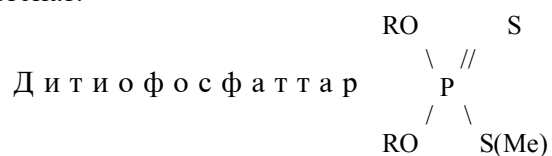
Зерттеулер нәтижесінде ксантогенаттардың көмірсутек радикалы ұзындаған сайын жинағыш қасиеттерінің артуының тағы бір сыры ашылды: радикал ұзындаған сайын олардың тотығуы арта бастайды. Демек, адсорбцияланған жинағыш қабатында диксантогенидтің үлесі арта түседі де, ерекше су қабатының ыдырауы қарқынды жүреді. Ксантогенаттардың дитиофосфаттарға қарағанда жинағыш күшінің артықшылығы, олардың оңай тотығуына байланысты екені анықталды.

Ксантогенаттың диксантогенидке айналуы қайтымды процесс, демек тотықсыздандыру ортада ол қайтадан анионға айналады. Осыған байланысты оны жеке қолдану (алдын ала әр түрлі жолдармен ксантогенатты тотықтыру арқылы алып) мүмкіншілігіде зерттелді. Бірақ ол зерттеулерден біртекті қорытынды шығару қиын. Себебі белгілі нәтиже тәжірибе қандай жағдайларда жүргізілуіне байланысты шығады. Жалпы диксантогенидті жеке қолданудан алынған нәтижелер ксантогенатпен салыстырғанда көп төмен. Ол түсінікті де, себебі аполярлы зат полярлы бетке адсорбцияланбайды. Тек минералдың бет қасиетінің біркелкі еместігіне байланысты, оның кейбір полярлығы төмен аймақтарына физикалық адсорбциялануы мүмкін.

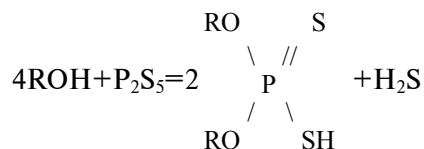
Сонымен, ксантогенаттардың сульфидті минералдар үшін күшті жинағыштар болуы екі жайға тәуелді екен: аниондарының кристал торындағы ауыр металдар катиондарымен әрекеттесіп ерігіштері төмен бет қосылыстарын жасауы және минерал бетінде тотығып диксантогенидке айналуы нәтижесінде ерекше су қабатын күшті ыдыратуы.

Өндірістік тәжірибеде ең жиі қолданылып келгендері этильді, изопропильді және бутильді ксантогенаттар. Бұлардың өте маңызды қасиеттерінің бірі - жерсілтілі металдардың (Ca, Mg және т.б.) минералдарымен, тотықтармен, силикаттармен және алюмосиликаттармен әрекеттеспейді. Соның нәтижесінде олар сульфидті минералдарды таңдамалы флотациялауға қолданылады. Жоғарыда аталған минералдар тобы үшін сульфидті флотацияда арнаулы басқаша реагенттерді қолданудың қажеті жоқ.

Жинағыш қасиеттерінің күштілігіне және тек сульфидті минералдарға адсорбциялануына байланысты олардың шығындары төмен. Таңдамалы флотациялауда орташа бір тонна кенге шығымдары 10-50 г. Тек бірікті (коллективті) флотациялауда 100 грамнан асады. Құндары жинағыш қасиеттеріне қарай өседі: ең арзаны этильді, ал ең қымбаты амильді ксантогенат.



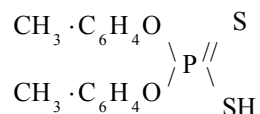
Дитиофосфаттар дитиофосфор қышқылының-(RO)₂PSSH калий не натрий тұздары. Ксантогенаттардан құрылымы жағынан айырмашылығы орталық атом бес валентті фосфор болғандықтан екі көмірсутекті радикалы бар. Тәжірибеде қолданылатын дитиофосфаттар бескүкіртті фосфордың (P₂S₅) спирттермен әрекеттесуінен алынады:



Егер түзу тізбекті (алкил қатарынан) спирттер қолданылса (мысалы, этильді спирт), онда реакция кезінде бөлініп шығатын дитиофосфор қышқылын содамен бейтараптандыру нәтижесінде дитиофосфат құрғақ ұнтақ түрінде алынады. Сондықтан бұлар содалы аэрофлоттар (дитиофосфаттар) деп аталады.

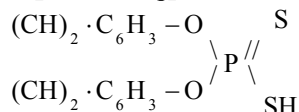
Егер ароматты спирттер (крезол, ксиленол) қолданылса, оларға бес күкіртті фосфор белгілі мөлшерде ғана қосылады және реагент нөмірленеді. Мысалы, крезильді дитиофосфат 15 болса реагент ішінде бес күкіртті фосфордың үлесі 15 % болғаны, ал қалғаны крезолдан тұрады. Басқаша айтқанда реагенттің негізі крезолдан тұрады да, аз бөлегі дитиофосфаттан тұрады. Сондықтан бұл дитиофосфаттар тек сұйық түрде алынады.

Крезильді дитиофосфат 15 қоңыр қошқыл түсті сұйық, құрылымды формуласы төмендегідей:



Сол сияқты өндірісте крезильді дитиофосфаттың 25 және 31 нөмірлері шығарылады. Неғұрлым олар жоғарлы нөмірлі болса, соғұрлым жинағыш күші арта түседі.

Төменде ксиленолды дитиофосфаттың құрылымды формуласы келтірілген:



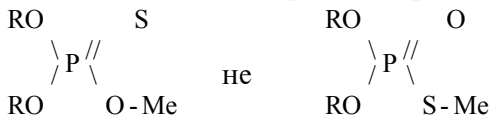
Технологиялық тұрғыдан қарасақ содалы дитиофосфаттардың тек жинағыш қасиеті болса, крезильді және ксиленолды дитиофосфаттардың жинағыш қасиеттері және көбіктендіргіш қасиеттерінде бар: бес күкіртті фосфор үлесіне сәйкес түзілген дитиофосфат жинағыш ролін, ал бос крезол не ксиленол көбіктендіргіш ролін атқарады.

Солидофильді топтың орталық атомы фосфор күкірттің электронды бұлтын өзіне көбірек тарту нәтижесінде күкірт кристалды тордың металл катиондарымен әлсіздеу байланысады. Сондықтан бұлардың жинағыш күші ксантаттардан төмен, демек таңдамалықтары жоғары. Осыған байланысты бұл жинағыштар жеңіл флотацияланатын мыс және қорғасын сульфидтерін пириттен және сфалериттен таңдамалы бөлуге тиімді реагенттер. Сол сияқты активтендірілген сфалеритті пириттен бөлуге қолданылады.

Ксантогенаттармен салыстырғанда дитиофосфаттардың қышқыл ортада тұрақтылықтары жоғары және пульпадағы оттеппен тотығу дәрежесі төмен.

Дитиофосфаттарда әрқашан күкіртті сутектің (H_2S) қалдықты концентрациясы болады. Сондықтан олардың аз болсада күкірттендіргіш қасиеттері болады.

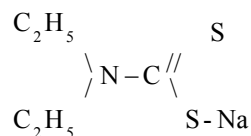
Аэрофлоттарға құрылымы жағынан жақын реагенттер м о н о т и о ф о с ф а т т а р :



Бұл реагенттер цементті мысты және мыс не мырыш сульфидтерін пириттен қышқылды ортада бөлуге жарамды.

Моно-және дитиофосфаттардың тіркесі г и д р о л и з д і аэрофлоттар деп аталады. Бұлар мыс сульфидтерінің, цементті мыстың, мыс купоросымен активтендірілген сфалериттің тиімді жинағыштары, галенитке әсері төмендеу, ал пирит өте әлсіз флотацияланады. Демек, бұл тіркестің таңдамалық қасиеттері жоғары.

Сульфгидрильді жинағыштардың ең күштілері - д и т и о к а р б а м а т т а р (дикарбамильды қышқылдарының тұздары). Төменде, натрийдың диэтилдитиокарбанаты келтірілген:



Олар суда еріген оттегімен тез тотығады:



Құндарының жоғары болуына байланысты өндірістік масштабта қолданылмайды.

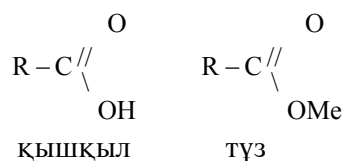
М а р к а п т а н д а р (R-алкильді қатардан) мен т и о ф е н о л д а р д ы ң (R-ароматты) жалпы формуласы RSH. Сульфидті минералдардың күшті жинағыштары. Сонымен қатар ауыр түсті металдардың тотықты минералдарыда флотацияланады. Оның себебі құрамынан үнемі күкіртті сутек (H_2S) бөлініп отырады да, тотықты минералдарды күкірттендіреді. Күкіртті сутек бөлінуіне байланысты өте жағымсыз иісті болады. Сол себептен ол өндірісте қолданылмайды.

Аттары аталған реагенттерден басқада біраз сульфгидрильді жинағыштар белгілі. Жалпы ксантогенаттар мен дитиофосфаттардан басқалары әр түрлі себептермен (өндірісте аз шығарылғандығы, құндарының жоғарылығы, жағымсыз қасиеттерінің және т.б.) өндірістік тәжірибеде кеңінен таралмады.

§4 Оксигидрильді жинағыштар

Оксигидрильді жинағыштарға әр түрлі органикалық қосылыстар кластарына кіретін көптеген жинағыш-реагенттер жатады. Олардың ішінде өндірістік тәжірибеде көп тарағандары көмір, күкіртті, фосфорлы және гидроксамды қышқылдардың органикалық туындылары.

К ө м і р қ ы ш қ ы л ы н ы ң о р г а н и к а л ы қ т у ы н д ы с ы - к а р б о н қ ы ш қ ы л д а р ы^x ж ә н е о л а р д ы ң т ұ з д а р ы (сабындары). Олардың жалпы құрылымды формуласы:



демек, молекула құрамына көмірсутек радикалы және карбоксильді топ $-\text{C} \begin{array}{c} \parallel \\ \text{O}^- \end{array}$ кіреді.

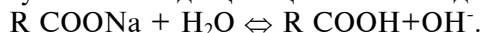
Минерал бетімен әрекеттесуі солидофильді (карбоксильді) топтың қасиетімен байланысты. Бұл топта электронды бұлт көміртек атомымен қос байланыспен жалғасқан, оттекке қарай ығысқан күйде болады. Соның салдарынан OH тобындағы оттектің көміртекпен байланысы күшейіп, ал сутекпен байланысы азаяды да молекула иондарға диссоцияланады. Бірақ электролитикалық диссоциациялану тұрақтысы минералды қышқылдармен салыстырғанда өте әлсіз, ал дитиокөмірлі (ксантогенді) және дитиофосфорлы қышқылдарда көп төмен (10^{-4} - 10^{-5}). Сондықтан олардың су ерітінділері сілтілік реакция көрсетеді. Диссоциациялану тұрақтысының төмендігіне қарағанда оттектің сутекпен байланысы (OH тобында), ал аниондардың минералдардың кристалдық торларының металл катиондарымен байланысы ксантогенат және дитиофосфаттармен салыстырғанда күштірек болуы керек. Іс жүзінде карбонды қышқылдардың жинағыш қасиеттері ксантогенат және дитиофосфаттардан көп төмен. Оны (19-сурет) галениттің бутилді ксантогенатпен және валериан қышқылымен флотациялануынан көруге болады. Екі реагенттеде көмірсутек радикалдарының ұзындықтары бірдей.

19-сурет. Галениттің бутилді ксантогенатпен және валериан қышқылымен флотациялануы
 1-бутильді ксантогенат - C_4H_9OCSSK ;
 2-валериан қышқылы - C_4H_9COOH

Сонымен, карбонды қышқылдардың жинағыш қасиеттері сульфгидрильділермен салыстырғанда көп төмен. Оның басты себебі солидофильді топтағы өте полярлы карбонильді $>C=O$ топтың болуы, демек ол су молекулаларымен күшті байланысады.

Сульфгидрильді жинағыштармен салыстырғанда карбоксильді жинағыштардың бірсыпыра ерекшеліктері бар.

1. Қышқылдардың әлсіздігіне байланысты молекулаларының иондарға диссоциациялануы тікелей сутек көрсеткішіне (рН) байланысты. Тәжірибеде неғұрлым иондарға көбірек айналдыру үшін, ортаның сілтілігі көбінде рН=9-10 мөлшерінде болуы қажет. Сілтілік одан жоғары болғанда гидроксил иондары жинағыш аниондарын минерал бетінен ығыстыра бастайды да, реагент шығыны өседі. Сонымен қатар аниондардың концентрациясы белгілі мөлшерден (мицелла құрудың аумалы концентрациясы) асса олар мицеллаларға бірігіп, одан молекулалық мицеллалар құрып, біртіндеп коллоидты түрге айналады (мысалы натрий олеатының мицеллалар құру концентрациясы 10^{-3} моль/л). Реагенттің рН-қа тәуелділігі ол қышқыл түрінде, не болмаса сабын түрінде қолданылуына байланысты емес. Сабын түрінде қолданылғанда сумен гидролиздену нәтижесінде қышқылға айналады:



Бейтарапты ортадан қышқылды ортаға ауысқан сайын карбон қышқылдары (сабындары) негізінде молекулалы түрде болады. Соған байланысты қышқылды ортада олардың ерігіштігі азайып эмульсияға айналады.

2. Ксантогенаттармен және содалы дитиофосфаттармен салыстырғанда карбонды қышқылдар екі реагент ролін - ионды түрі жинағыштың, ал молекулалық формасы көбіктендіргіш ролін атқарады. Сондықтан көпшілік жағдайда арнаулы көбіктендіргіштер қолданылмайды. Карбонды қышқылдардың бұл қасиеті технологиялық процесті реттеуге кедергі жасайды. Мысалы, жинағыш ретінде шығыны жоғарылатылса көбік көлемі шектен тыс өсіп тасымалдауды және концентратты сусыздандыруды қиындатады.

3. Карбонды қышқылдардың жинағыш қасиеттері көмірсутек радикалының ұзындығына, демек, ондағы көміртек атомының санына байланысты. Көміртек атом саны 8 ден аз болса жинағыш қасиеті жоғалады деуге болады. Іс жүзінде жинағыш ретінде тек көміртек атом санының 12-ден жоғарғылары ғана қолданылады. Олардың ең көп тарағаны олеин қышқылы ($C_{17}H_{33}COOH$) болды.

4. Олардың жинағыш қасиеттеріне үлкен әсер ететін жай қышқылдардың қанықты, не қанықпаған күйде болуы. Қанықпағанды дәрежесі артқан сайын, жинағыштың қасиеті де күшейе түседі. Мысалы, көмірсутек радикалында 17 көміртек атомы бар қышқылдардың түрлері төмендегідей:

	құрылымы	қос байланыс саны
Стеарин қышқылы $C_{17}H_{35}COOH$	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	-
Олеин қышқылы $C_{17}H_{33}COOH$	$C_8H_{17}CH=CH-(CH_2)_7COOH$	1
Линол қышқылы $C_{17}H_{31}COOH$	$CH_3(CH_2)_3=CH-CH_2$	
	$\quad \quad \quad $	
	$HOOC-(CH_2)_8-NC=CH$	2
Линолен қышқылы $C_{17}H_{29}COOH$	$CH_2CH=CH-CH_2CH=CH-CH_3$	
	$\quad \quad \quad $	
	$CH=CH(CH_2)_8-COOH$	3

Қаныққан карбон қышқылдарының көмірсутек радикалында көміртек атом саны 8 ден асса қатты затқа айналады, ал қанықпағандары көміртек саны 18-ге дейін сұйық түрде болады.

5. Карбон қышқылдарының көмірсутек радикалдарының ұзындықтарына байланысты суда ерігіштіктеріне пульпа температурасы үлкен әсер етеді. Температура неғұрлым жоғары

болса (>18-20⁰С) олардың тиімділігі артады. Егер температура 10⁰С төмендесе, жинағыш қасиеттері күрт төмендейді, қажетті шығындары көп жоғарылайды.

6. Карбон қышқылдарының маңызды ерекшеліктерінің бірі олардың аниондары жерсілтілі топқа жататын металдар катиондарымен (кальциймен, магниймен, стронциймен және бариймен) өте аз ерігішті қосылыстар (тұздар) жасауы. Сондықтан бұл реагенттер құрамында жоғарыда аталған металдар бар көптеген тотықты минералдардың тиімді жинағыштары. (Сульфгидрилді жинағыштарда ондай қасиет жоқ). Олардың осы қасиетіне байланысты суда (пульпада), мысалы кальций және магний, сол сияқты темір катиондарының концентрациялары жоғарлаған сайын шығындарыда өседі.

Сол сияқты карбон қышқылдары (тұздары) түсті металдар катиондарыменде аз еритін тұздар түзеді. Демек, олармен түсті металдардың тұз реуешті минералдарыда (карбонатты, сульфатты) флотацияланады. Бірақ олар мен бірге кендегі бос жыныс минералдарының флотациялануларымен байланысты бұл вариант өте тиімсіз. Сондықтан олар алдын ала сульфидтендіріліп, тек сульфгидрилді жинағыштармен флотацияланады.

Сонымен қорыта айтсақ, карбон қышқылдарын не сабындарын қолданғанда олардың жинағыштық қасиеттеріне ең үлкен әсер ететін жай реагенттің қандай формада (ионды, молекулалы, мицелла, коллоидты) болуы. Реагент неғұрлым ионды түрге айналдырылса, соғұрлым тиімділігі арта түседі. Осы бағытта қолданылатын шаралар:

пульпаның рН-ын оптимальды шекте ұстау; молекуласында қос байланыс сандары көбірек реагенттерді қолдану;

майлы қышқылды алдын ала сабынға айналдырып қолдану;

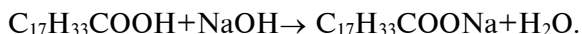
олардың ерігіштерін арттыратын заттарды (мысалы, керосин) қосу;

эмульсиялану дәрежесін арттыруға көмектесетін заттарды (алкилсульфаттар, сульфанола және т.б.) қосу;

пульпаның температурасын жоғарылату мақсатымен жылыту және т.б.

Карбон қышқылдарының ең көп зерттелгені олеин қышқылы және оның натрий олеаты.

Н а т р и й о л е а т ы $C_{17}H_{33}COONa$ олен қышқылын сілтімен өңдеп бейтараптау арқылы алынады:

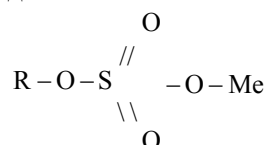


Олеин қышқылы және оның сабыны көптеген тотықты минералдардың тиімді жинағыштарды. Оларға, мысалы, кальций, магний, вольфрам, молибден, бериллий, литий, қалайы, темір минералдары, фосфориттер, апатиттер, барит, флюорит және басқалары жатады. Бұлармен қатар, суда ерігіш тұздарды олардың қанықты ерітінділерінен флотациялауға қолданылады. Силикатты минералдар тек активтенген болса ғана (демек, олардың беттерінде жинағыш аниондарымен әрекеттесетін катиондар адсорбцияланған болса) флотацияланады. Сол сияқты активтенбеген таза кварцта флотацияланбайды.

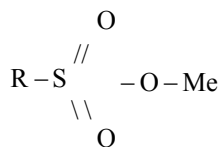
Жалпы карбон қышқылдары мен олардың сабындарының таңдамалық (селективтілі) қасиеттері төмен. Сондықтан оларды пайдаланғанда флотацияны таңдамалы жүргізу үшін қосымша реттегіш реагенттерді дұрыс таңдай білу қажет.

Олен қышқылы және оның сабыны (натрий олеаты) күшті жинағыштар. Сондықтан таңдамалықтары өте төмен. Сонымен бірге құндары жоғары және жеткілікті шығарылмайтын болғандықтан кейінгі кездерде олар көптеген басқа реагенттермен ауыстырылды.

К ү к і р т қ ы ш қ ы л ы н ы ң о р г а н и к а л ы қ т у ы н д ы л а р ы - а л к и л с у л ь ф а т т а р мен алкилсульфанаттар. Олардың құрамына көмірсутек радикалы мен күкірт қышқылының қалдығы кіреді. Егер радикал көміртегі күкіртпен оттек арқылы жалғасса онда мұндай қосылыс сульфозфир (алкилкүкіртті қышқыл) деп, ал оның тұзы алкилсульфат деп аталады:



Егер радикал көміртегі тікелей күкіртпен жалғасса, онда қосылыс сульфонды қышқыл деп, ал оның тұзы алкилсульфонат деп аталады:



Көмірсутек радикалы алкилді және арилді (ароматты) қатардан, не алкилді болуы мүмкін.

Бұл реагенттердің де карбон қышқылдарына ұқсас жинағыш-көбіктендіргіш қасиеттері бар. Көптеген тотықты минералдарды флотациялауға қолданылады. Сонымен қатар бұлардың жуғыш қасиеттері бар. Соған байланысты жуғыш заттардың (“Новость”, “Прогресс” және көптеген басқалары) құрамына кіреді.

Алкилкүкіртті және сульфонды қышқылдар карбонды қышқылдармен салыстырғанда күшті келеді, демек қышқылды ортада диссоциациялану дәрежелері жоғары. Сондықтан оларды қышқылды ортада флотациялауға қолдануға болады.

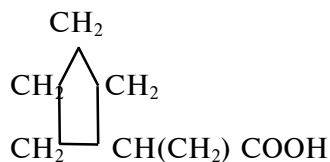
Карбон қышқылдарымен салыстырғанда бұл реагенттердің жинағыш қасиеттері әлсіздеу соған байланысты таңдамалықтары жоғары.

Алкилсульфаттар және сульфонаттар кейінгі 20-30 жылда шеелит-баритті, қорғасын-баритті және басқада кендерден баритті флотациялауға кеңінен қолданылуда. Қазіргі кезде оның жоғары молекулалық фракцияларының араласы (C₁₅-C₂₀) б а р и т о л деген атпен белгілі. Сол сияқты алкильсульфаттар бірсыпыра кендерден темір минералдарын флотациялауға қолданылады.

Зерттеулер нәтижесінде алкилсульфаттарды әлсіз қышқылды ортада (pH=6,8) флюоритті (CaF₂) касситериттен бөліп алуға, pH=1,5-3 ортада циркон мен пироклорды таңдамалы бөлуге, pH=10 ортада флюоритті вольфрам минералдарынан бөлуге болатындығы анықталған.

Тотықты минералдарды флотациялауда бірсыпыра реагенттер қолдану тапты. Олардың ішінен нафтен қышқылдарын және олардың тұздарын, таллды (сульфатты) майын, тотыққан керосинді, тотыққан рисайклды, гидроксам қышқылдарын және олардың тұздарын, фосфор және мышьяк қышқылдарының органикалық туындыларын атауға болады.

Н а ф т е н қ ы ш қ ы л д а р ы н ы ң солидофильді бөлігінің құрамында да карбоксил тобы бар, бірақ көмірсутек радикалы бес бұрышты түйік циклден тұрады және онда бензол сақинасындай қос байланыстар жоқ, сондықтан әр бұрышында метилен тобы орналасқан. Олардың жалпы құрылымдық формуласы былай:



Нафтен қышқылдары парафинге кедей мұнайлардан алынады. Ол мұнайдан алынатын өнімдер құрамына кірсе (бензин, керосин және т.б.) олардың сапасын төмендетеді, сондықтан оларды бөліп алу қажет. Ол үшін мұнай өнімдері натрий сілтісімен өңделіп бейтараптандырылады. Соның нәтижесінде суда ерігіш нафтен сабыны -м ы л о н а ф т түзіледі. Араластыруды тоқтатқанда мылонафт астыңғы қабатқа түседі де, беткі қабатқа тазаланған өнім жиналады.

М ы л о н а ф т - нафтен қышқылының мазь тәрізді сабыны. Бұлардың карбон қышқылдары сияқты жинағышта және көбіктендіргіште қасиеттері бар. Бірсыпыра минералдарды флотациялауға қолданылады. Карбон қышқылдарына қарағанда бұлар арзан келеді. Нафтен қышқылдарының төменгі температурада ерігіштігі жоғары, мысалы 10⁰ тада қолдануға болады. Бұлардың тағы бір артықшылығы кальций және магний катиондарымен әрекеттесулері төмен.

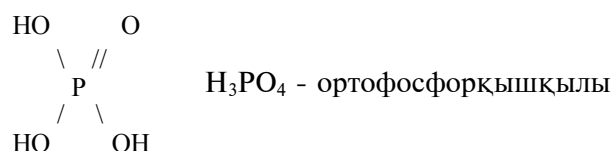
Нафтен қышқылдарына флотациялық қасиеті жағынан жақын келетін реагент - т о т ы қ қ а н к е р о с и н. Ол жоғары температурада катализатор әсерімен керосинді оттеппен

тотықтандыру арқылы алынады. Оның құрамы күрделі. Оның суда ерігіштігін жоғарылату үшін сілтімен өңделеді. Бұл реагент негізінде көмірді флотациялауға қолданылады.

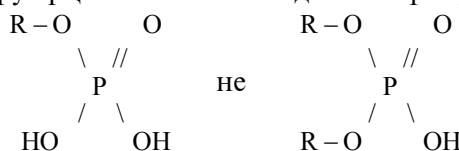
Көптеген минералдар үшін тиімді жинағыш ретінде қолдану тапқан реагент - т а л л д ы (с у л ь ф а т т ы) м а й. Оның негізін құрайтындар майлы (карбонды) және канифольды (смодалы) қышқылдар. Майлы қышқылдар қанықпаған қосылыстар - олеин, линольды және линоленді-түрінде, аз мөлшерде ғана қаныққан қосылыстар - (пальмитинді және стеаринді) түрінде кіреді.

Ф о с ф о р және м ы ш ь я к қ ы ш қ ы л д а р ы н ы ң о р г а н и к а л ы қ т у ы н д ы л а р ы.

Ортофосфор қышқылының гидроксильді тобындағы сутек атомдарының біреуін не екеуін

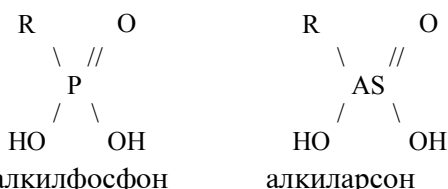


көмірсутек радикалымен алмастыру арқылы моно - не диалкилфосфор қышқылдары алынады:



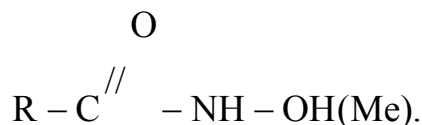
Бұлар касситеритті, апатитті, фосфоритті, пироксид және цирконды флотациялауда тиімді жинағыштар екендігі дәлелденді. Мысалы қышқылдардан (тұздардан) артықшылықтары кальций және магний катиондарымен аз әрекеттесулері.

Ортофосфорлы және мышьяқты қышқылдарының бір OH тобы көмірсутек радикалымен ауыстырылса



моноалкилфосфонды және алкиларсонды қышқылдар алынады. Егер екі OH тобы ауыстырылса диалкилфосфонды қышқыл алынады.

Бұрынғы СССР-да табылған келешегі бар ИМ-50 реагентінің негізгі а л к и л г и д р а к с а м д ы қышқылынан тұрады:



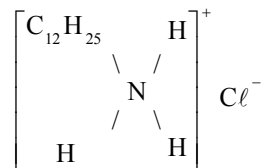
Гидраксамды қышқылының диссоциациялану тұрақтысы $2 \cdot 10^{-10}$. pH=3-10 шегінде тұрақтылығы жоғары қосылыс. Реагенттің құндылығы сонда, көптеген металдар катиондарымен ерігіштігі төмен комплексті қосылыстар түзеді. Жерсілтілі металл катиондарымен (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} және т.б.) әлсіз байланысады да, ал өтпелі металдармен (Ti, V, Mn, Zn, Nb, Ta және басқалары), сол сияқты жоғары валентті катиондармен (Al^{3+} , Fe^{3+}) күшті байланысады. Осыған байланысты пироксидорлы лопаритті, перовситті, касситеритті және тағы басқа кендер үшін ИМ-50 таңдамалы жинағыш ретінде қолдануға болады.

§ 5 Катионды жинағыштар

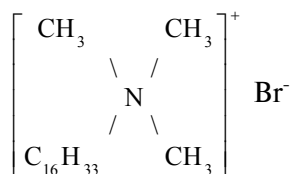
Катионды жинағыштар - ионогенді реагенттер. Көмірсутектер радикалы катион құрамына кіреді. Бұлардың көпшілігі аминнің және аммоний тұздарының туындылары.

Аминдер аммиактың (NH_3) органикалық туындылары. Оның құрамындағы сутек атомының нешеуі көмірсутек радикалына алмасуына байланысты біріншілік (RNH_2), екіншілік ($\text{R}_1\text{R}_2\text{NH}$) және үшіншілік ($\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{N}$) аминдерге бөлінеді. Аминдердің аты органикалық радикал атына “амин” жалғанып аталады.

Катионды жинағыштардың ішінде маңыздылары біріншілік аминдер мен төртіншілік аммоний негіздері. Бұлар қышқыл ортада диссоциацияланатын тұздар түрінде қолданылады. Төменде мысал ретінде біріншілік аминге жататын лаурил-амингидрохлорид



және төртіншілік тұзына жататын цетилтриметиламмоний бромид



келтірілген.

Біріншілік амин тұздары суда жақсы ериді, қышқыл және әлсіз сілтілік ортада иондарға диссоциацияланады, $\text{pH}=9$ -дан жоғары тек молекулалық (RNH_2) формада, ал біразы коллоидты түрде болады.

Анионды жинағыштармен салыстырғанда катионды жинағыштардың флотациялық активтілігі ортаның pH -мен тығыз байланысты және оның тар шегінде жоғары болады. Тым қышқылды не жоғары сілтілі ортада жинағыштық қасиеттері өте төмендейді. Осы тұрғыдан қарағанда олардың активтілігі иондыда және молекулалық формаларына тәуелді екенін көрсетеді.

Катионды реагенттердің жинағыштық активтілігі көмірсутек радикалының құрамында көміртек атомдар саны 24-ке жеткенше өседі де, ал одан әрі төмендейді. Тәжірибеде көбіне радикалдарында 8-19 көміртек атомдары бар жинағыштар қолданылады.

Иондардың не молекулалардың көбірек адсорбциялануы минерал бетіндегі электростатикалық өрістің мәнімен, таңбасымен және градиентімен, сонымен қатар минерал бетіндегі байланыстың табиғаты сипаттамасымен, пульпадағы жинағыштың қандай күйде екенімен анықталады. Осы көрсеткіштердің барлығы әр минерал бетінде әр түрлі болғандықтан иондармен молекулалардың адсорбциялану күштерінде өзгеріп отырады. Соған байланысты әр минералдың флотациялануына қажетті pH мөлшерінде әр түрлі болады. Мысалы, кварц және темір тотықтары $\text{pH}=6-8$ де, берилл, сподумен және дала шпаты $\text{pH}=9-9,5$ да, сульфидті минералдар $\text{pH}=9,5-10,5$ да, тотықты мырыш минералдары (смитсонит, каламин) $\text{pH}=10,5-11,5$ да, кальцит $\text{pH}>11,5$ да жақсы флотацияланады. Осыған байланысты әр түрлі минералдардың катионды жинағыштармен флотациялануын түсіну үшін олардың әрқайсысының бет қасиетін тек нақтылы білу қажет.

Катионды жинағыштардың әрекет механизмін қорыта айтсақ негізгі факторлар ретінде минерал беттерінің теріс зарядты болу қажеттілігін және аминдердің пульпадағы негізі ионды формада болуын атаған жөн, ал молекулалық түрде адсорбциялануы минерал бетінің заряд мөлшері төмен болғанда ғана мүмкін. Жалпы катионды жинағыштардың адсорбциялану күші анионды жинағыштардан көп төмен. Оған дәлел олардың минерал бетінен оңай десорбциялануы. Сонымен қатар адсорбциялануы минерал бетінің зарядына тікелей тәуелді болғандықтан негізінде олар қос электрлі қабаттың сыртқы қабатына физикалық күшпен адсорбцияланады деу шындыққа жақын. Анионды жинағыштарға ұқсас бұлардың минерал бетін сусыздандыруы иондармен бірге молекулаларыда адсорбцияланғанда қамтамасыз етіледі.

Осы уақытқа дейін катионды жинағыштардың екі түрі қолданылып келді - ИМ-II және АНП. Екеуіде біріншілік аминогидрохлоридтердің көмірсутек тізбектерінде CH_2 тобының саны 13-тен 16-ға дейінгі аралықтағы қосындыларының әр түрлі араласынан тұрады. ИМ-II темір, фосфорит, берилл, дала шпатын флотациялауда тиімділігін байқатты. АНП кварцты, силикаттарды (дала шпаты, литий және бериллий минералдарын), темір кендерін флотациялауда қанағаттандыруарлық нәтижелер көрсетті.

§ 6. Аполярлі (ионданбайтын) жинағыштар

Аполярлы реагенттердің көпшілігі мұнай өңдегенде алынатын көмірсутекті сұйықтар. Олар суда ерімейді және иондарға диссоциацияланбайды. Олардың құрамында полярлі топтар жоқ. Молекулалар ішінде атомдар тек ковалентті байланыспен әрекеттеседі. Осы ерекшеліктерінің нәтижесінде олар минерал бетімен тек физикалық, демек адгезиялық күшпен адсорбцияланады. Олардың адсорбциялануының басты шарты-минерал бетінің сумен неғұрлым аз әрекеттесуі. Сондықтан олар табиғи аз суланатын көмір, графит, күкірт, алмаз, молибденит, тағы сол сияқты молекулалық торлы минералдар үшін дербес жинағыштар ретінде қолданылады. Демек, жоғарыда келтірілген минералдарға аполярлы жинағыштар таңдамалы адсорбцияланады.

Олардың суда нашар ерулерімен байланысты эмульсияға айналдыру қажет. Неғұрлым эмульсиялану дәрежесі жоғары болса, соғұрлым шығындары азаяды, минерал бетінде орналасу тығыздығы артады. Сол үшін сумен интенсивті араластыру қажет, ұсақтанған тамшылардың қайтадан бірігуін азайту үшін арнайы бет-активті заттар - эмульгаторлар қолданылады. Әсіресе реагенттің концентрациясы 0,1%-тен асса эмульсия тұрақтылығы төмендейді.

Аполярлы реагенттің полярлығы әр түрлі минералдар бетінде адсорбциялануының термодинамикалық мүмкіншілігі жүйенің (май-су, май-қатты зат, қатты зат-су) бет энергиясының реагенттің адсорбциялануына дейінгі және одан кейінгі деңгейлерінің айырмашылығымен анықталады. Оған әсер ететін басты фактор қатты зат бетінің полярлық дәрежесі. Неғұрлым ол төмен болса, яғни гидрофобтығы жоғары болса, соғұрлым жүйенің бос энергиясының төмендеуі арта түседі. Реагенттің адсорбциялану шамасының ең жоғарғы мәні минералдық бет заряды нольге тең болғанда орын алады. Заряд өскен сайын (оң не терісі бірдей әсерлі) реагенттің адсорбциялануы төмендей бастайды.

Аполярлы жинағыштардың физикалық адсорбциялануында молекулалық әрекеттесудің үш компонентіде - дисперсионды, индукционды және ориентационды — әр үрлі қатынаста орын алады. Зарядсыз бетпен полярсыз көмірсутек молекулаларының әрекеттесуі дисперсионды күштерге негізделген. Ионды кристал тор бетімен полярлы сұйық әрекеттескенде ориентационды күш басым болады. Ал ионды кристал бетімен полярсыз молекулалар әрекеттескенде байланыс индукционды және диперсионды күштерге тәуелді.

Аталған күштердің өзара қатынасы минерал бетінің бос энергия деңгейімен, демек полярлығымен және реагенттің қасиетімен анықталады. Минерал бетінің қасиеті барлық аймағында біркелкі еместігі белгілі. Сол сияқты көмірсутекті заттардың қасиеттерінде құрамына қарай өзгерімді болады. Гомологиялық қатарда көмірсутектер молекулаларының сыртқы электр өрісінің әсерімен поляризациялануы олардың тізбектері ұзарған сайын арта түседі. Мысалы октанның C_8H_{18} поляризациялануы қарағанда пентанға 1,5 есе, ал бутанға C_4H_{10} қарағанда 2 есе үлкен. Ароматты қосылыстардың (сақиналы тізбекті) поляризациялануы сақиналар (бензолды) саны өскен сайын және оларға жалғанатын бүйірлі тіркестер саны өсуімен бірге арта түседі. Көмірсутектердің бұл қасиеті олардың полярлі беттеде белгілі мөлшерде адсорбциялану мүмкіндігін көрсетеді.

Сонымен, ионогенді жинағыштарға ұқсас аполярлы реагенттердің де жинағыш қасиеттері көмірсутек радикалдарының ұзындығына тәуелді екен.

Аполярлы реагенттердің құрамдарының күрделілігіне, соған сай қасиеттерінің өзгерімділігіне байланысты мәселе олардың жинағыштық қасиеттерін бағалауға болатын басты көрсеткішті анықтау болды. Осы бағытта жүргізілген арнаулы зерттеулер (В.А.Глембаций және

басқалары) нәтижесінде аполярлы реагенттердің жинағыш қасиеттерінің басты критериясы ретінде олардың тұтқырлығын алуға болатындығы туралы қорытынды жасалды.

Сұйық көмірсутектердің әр түрлі қасиеттерінің барлығы олардың тұтқырлығына әсер етеді. Оларға жататындардың негізгілері молекулалар құрылымы, тізбек ұзындығы, поляризациялану қасиеті, молекулалардың өзара әрекеттесу энергиялары. Тұтқырлық сұйықтың тиісіп жатқан екі қабатының қозғалысында пайда болатын өзара кедергі күштері (τ) сипатталады. Ол мына өрнекпен анықталады:

$$\tau = \eta \frac{\partial \vartheta}{\partial \gamma};$$

мұнда η -динамикалық тұтқырлық, пуазбен (П) өлшенеді, $1\text{П}=2/\text{см}\cdot\text{с}$.

$\frac{\partial \vartheta}{\partial \gamma}$ - "у" өсі бойымен жылжу жылдамдығының градиенті (өзгеруі).

Тұтқырлық, біріншіден гомологиялық қатарда $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ тобының санымен, екіншіден, көмірсутек тізбегінің тарамдануымен бірге өседі. Сол сияқты түзу тізбектен ароматтыға көшкенде, одан нафтенді көмірсутекке көшкенде тұтқырлық арта түседі. Оның басты себебі молекулалардың өзара байланыстарының, демек әрекеттесу энергияларының күшеюінде. Молекулалардың осы қасиеті минерал бетімен әрекеттескенде де сақталады. Сондықтан көмірсутек ішінде молекулалардың өзара әрекеттесу энергиясы неғұрлым жоғары болса, демек тұтқырлығы өскен сайын олардың минерал торының бетімен әрекеттесу энергиясында соғұрлым арта түседі.

Аполярлы реагенттердің минерал бетін сусыздандырудың бір шарты оның тамшысының жайылуы. Бірақ бұл шарт тек егер шеттік сулану бұрышы 90° тан асса ғана орындалады (П.А.Ребиндер), ал толық жайылуы үшін $\Theta=180^\circ$ болуы қажет. Мұндай минералдар кездеспейді деуге болады. Осыған байланысты, минерал беті қанағатты деңгейде сусыздануы үшін май тамшылары ол бетте аралары жақын орналасуы қажет. Олар бір-біріне тиісе бастағанда өзара қосылып үш өлшемді қабат түзеді. Бұл шарт тек егер май тамшыларының эмульсиялануы жоғары болса, демек пульпа ішінде бірлік көлемдерде концентрациясы біркелкі болса ғана орындалады.

Қазіргі кезде аполярлы жинағыштар табиғи гидрофобты қасиеттері бар минералдар үшін ғана емес, сонымен қатар гидрофильді минералды флотациялауға да гетерополярлі (ионогенді) жинағыштармен бірге қолданылады. Бұл варианттың негізгі мәні сонда, алдын ала ионогенді реагентпен өңделіп, сулануы төмендетілген минерал бетіне май тамшылары оңай адсорбцияланады. Оның тағы бір ерекшелігі май тамшылары тікелей минерал бетімен емес, ионогенді реагенттің көмірсутек радикалымен әрекеттеседі. Олар бір текті зат ретінде қосылып, май тамшыларының жайылуы оңайлайды. Бұл құбылыс схематикалық түрде (20-суретте) көрсетілген.

20-сурет. Май тамшысының ионогенді реагенттің көмірсутек радикалымен қосылып жайылуы.

Аполярлы реагенттер гетерополярлы реагенттермен бірге қолданылғанда жалпы әр түрлі рольдер атқарады. Оларды, мысалы, суда нашарлау еритін (майлы қышқылдар) ионогенді реагенттердің ерігіштігін арттыру үшін, көбіктің структурасын өгертіп оны оңай жарылатын күйге (науаға сыпырылып алынғаннан кейін) келтіру үшін қолданылады. Сонымен қатар, оларды қосымша қолдану арқылы құны жоғары ионогенді реагенттердің шығынын азайту үшін қолдану өте тиімді. Кезегінше, ионогенді және аполярлы жинағыштар бірге берілгенде гетерополярлі иондар май тамшысы бетіне адсорбцияланып олардың эмульсиясының

тұрақтылығын арттырады. Май тамшыларының тағы бір пайдалы жағы гидрофобты өте ұнтақ минерал түйіршіктерін таңдамалы флокуляциялау арқылы біріктіріп олардың ірі түйіршіктерге не ауа көпіршіктеріне жабысуын жалдамдатуы.

Жалпы оксигидрильді және сульфгидрильді ионогенді реагенттермен бірге аполярлі жинағыштарды бірге қолдану әрқашанда тиімді деуге болады. Тек тәжірибелер жүргізу арқылы олардың өзара шығын қатынастарын анықтау қажет.

Аполярлі реагент ретінде жиі қолданылатын көмірсутектерге жататындар керосин, мұнай және таскөмір айдауда алынатын әр түрлі фракциялар.

Керосин сұйық қанықты көмірсутектердің араластарынан тұрады. Қайнау температурасы 150-200⁰С. тығыздығы 0,82-0,84 г/см³. Ол графитті, күкіртті және молибденитті флотациялауда кеңінен қолданылады.

Аполярлы жинағыштардың шығыны кеннің ұнтақталу дәрежелеріне сәйкес үлкен шекте өзгереді (300-200 г/т). Шығындарының жоғарлығы олардың суда аз еруімен және ауа көпіршіктерінің бетіне қалың қабыршақ жасай адсорбциялануымен байланысты. Олардың шығындарын азайтудың басты жолы пульпаны интенсивті араластыру арқылы, эмульгаторлар (мысалы алкилсульфаттар) қосу арқылы эмульсиялау.

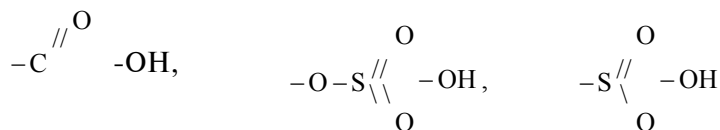
III-ТАРАУ

КӨБІКТЕНДІРГІШ РЕАГЕНТТЕР

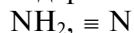
§1. Көбіктендіргіштердің құрамы және құрылымы.

Көбіктендіргіштер ретінде негізінде гетерополярлы бет активті органикалық қосылыстар қолданылады. Демек, олардың молекулаларының құрамына көмірсутекті радикал және полярлі топ кіреді. Осындай қосылыстардың молекулалары су-ауа шекарасында көмірсутек радикалы ауаға бағытталып, ал полярлы тобы су молекулаларымен әрекеттесіп адсорбцияланады.

Көбіктендіргіштердің полярлі топтарының құрамы әр түрлі болып келеді. Ионданбайтын полярлы топқа жататындары: -ОН, =C=O. Ионданатын анионды топқа жататындар:



Ионданатын катионды топқа жататындар:



Көмірсутек тізбегі алкильді (түзу тізбекті) не арильді радикал болуы мүмкін.

Көбіктендіргіштердің полярлы тобының иондануының не ионданбауының айтарлықтай маңызы бар. Егер полярлі топтың ионданбайтын қасиеті болса, ондай қосылыстар тек көбіктендіргіш ролін атқарады, демек оларда жинағыштық қасиет болмайды. Осындай қосылыстарға, мысалы, полярлі тобы гидроксильден (-ОН) тұратын спирттер жатады. Олар осы қасиетімен (молекулалары диссоциацияланбайды) жоғары бағаланады.

Егер полярлі топ карбоксильден (-COOH), сульфотоптарынан (-OSO₃H, -SO₃H) тұрса, ол қосылыстар жинағыш және көбіктендіргіш рольдерін бірге атқарады. (Ол қосылыстар алдыңғы тарауда жинағыш реагенттер ретінде қаралған).

Олардың ионданбаған молекулалары көбіктендіргіш болса, ал ионданған бөлегі жинағыш ролін атқарады. Мұндай екі жақтық қасиет технологияны реттеуді бірсыпыра қиындатады. Жалпы олар жинағыш реагенттері ретінде қолданылады да, пульпаны көбіктендіру мүмкіншілігінше қосымша реттеледі.

Полярлі бөлегі аминді топтан (-NH₂) тұратын көбіктендіргіштердіңде аздап жинағыштық қасиеттері бар.

Көбіктендіргіштердің молекулаларында бірнеше полярлі топтар болуы мүмкін. Тәжірибе олардың сандары бір-екі болса жеткілікті екенін, одан көбейгенде көбіктендіру қасиеттерінің жоғарыламайтынын көрсетті.

Бет активті қосылыстардың көбіктендіргіш қасиеттері де аполярлі радикалдарының құрамы және құрылысымен тығыз байланысты. Көмірсутек тізбегінің ұзындығы бір $-CH_2$ тобына ұзарғанда Траубе ережесіне сай көбіктендіргіштің бет активті қасиеті 3 еседей артады. Мысалы, метилспирттің көбіктендіргіш қасиеті жоқ, ал этилспиртінен бастап ол қасиет пайда бола бастайды. Тәжірибеде көмірсутек тізбегінде, көміртек атомы саны 5-6 дан кем көбіктендіргіштер қолданылмайды. Ал радикалда көміртек атомдарының жоғары саны 12 ге дейін жетеді. Радикалдары одан ұзындарының суда ерігіштігі төмендеуімен байланысты сирек қолданылады. Көбіктендіргіштердің бір ерекшелігі-әр полярлі топқа белгілі бір радикал сай келгенде оның көбіктендіргіш қасиеті де жоғары болады. Мысалы, өте аз ерігіштігіне байланысты цетилді спирттің $C_{16}H_{33}OH$ көбіктендіргіш қасиеті жоқтың қасы деуге болады, ал оның полярлі $-OH$ тобын сульфо тобымен ($C_{16}H_{33}SO_4H$) ауыстырса ол күшті көбіктендіргішке айналады.

Тәжірибеде тағы бір анықталған жай, тарамды көмірсутекті тізбектілермен салыстырғанда тұзу тізбекті қосылыстардың көбіктендіргіш қасиеттері күшті келеді.

Сонымен гетерополярлі қосылыстардың көбіктендіргіш қасиеттерінің көмірсутекті радикалдың ұзындығымен байланысын қорыта айтсақ: тым қысқа радикалды қосылыстар су-ауа шекарасында адсорбцияланғанда олардың радикалдары полярлы топтың күшті сулануынан бір-бірімен әрекеттесе алмайды, ал радикал ұзындығы белгілі мөлшерден артқанда олардың өзара әрекеттесулері күшейіп, ерігіштері тым төмендейді де, молекулалар мицеллалар түзеп, оданда ірі шоғырларға айналып кетеді.

§2. Көбіктендіргіштердің әрекет механизмі

Көбіктендіргіштердің әрекет механизмі олардың молекулаларының су-ауа шекарасында адсорбциялануларымен байланысты. Соның нәтижесінде флотациялық процеске қажетті әр түрлі рольдер атқарады. Олардың ішінде ең бастысы ауа көпіршіктерін біріктірмеу, соның нәтижесінде олардың неғұрлым ұсақ қалуын қамтамасыз ету. Сол сияқты олардың әсерімен ауа көпіршіктерінің көтерілу жылдамдығы төмендейді, олардың сумен шекаралығының механикалық қасиеті өзгереді және көбікті қабаттың тұрақтылығы артады.

Ауа көпіршіктерінің бірікпей ұсақтығын сақтап қалуы. Флотация процесінің жылдамдығы (бағалы минералдар түйіршіктерінің көбікке шығуы) су-ауа көпіршіктерінің шекаралық ауданымен анықталады: неғұрлым шекаралық аудан үлкен болса, соғұрлым түйіршіктердің көпіршіктерге жабысуы жылдамдайды. Пульпа ішіндегі ауаның көлемі белгілі мөлшерде болғанда неғұрлым ауа көпіршіктері ұсақ диаметрлі болса, соғұрлым шекаралық аудан үлкейеді. Бірақ таза суда ұсақ ауа көпіршіктері соқтығысқанда тез бірігіп іріленеді. Оның себебі шекаралық ауданның үлкен болуы жүйенің бос бет энергиясының молайюына әкеліп соғады. Ал бұл құбылыс термодинамикалық заңдылыққа қайшы келеді. Сондықтан жүйе ауа көпіршіктерінің бірігуі нәтижесінде тұрақсыз қалыптан тұрақты күйге келеді.

Көбіктендіргіштердің молекулаларының полярлы тобы суға, ал көмірсутек радикалы ауаға бағытталады. Соның нәтижесінде түйісетін фазалардың (су, ауа) полярлықтарының айырмашылықтары азаяды да, жүйенің бос бет энергиясы төмендейді. Молекулалардың су-ауа шекаралығында осылай бағытталуы полярлы топтың су молекулаларымен әрекеттесуі, ол су молекулаларының аполярлы радикалмен әрекеттеспеуіне негізделген. Аполярлі радикалдың су ішінде болуы олардың сумен әрекеттесулеріне байланысты жүйенің бос бет энергиясын арттырады, демек жүйе тұрақсыз күйде болады. Радикалдардың су ішінен ығыстырылып ауаға бағытталулары жүйенің бос энергиясын төмендетеді.

Гетерополярлі молекулалардың шекаралықта осылай бағытталуы көпіршік бетін поляризациялап сол бетке су дипольдарының тартылуына себеп болады. Соның нәтижесінде су-ауа шекаралығында белгілі тәртіппен тығыз орналасқан ерекше қасиетті су қабаты пайда

болады. Су-ауа шекарасында гетерополярлі молекулалардың адсорбциялануы және су қабатының пайда болуы көрсетілген 21-суретте.

-  - гетерополярлы молекула
- су молекулаларының дипольдары

21-сурет. Ауа-су шекаралығында көбіктендіргіштің молекулаларының орналасуы және оларға су молекулалары дипольдарының тартылу схемасы.

Ауа көпіргішінің бетінде қалың су қабатының (кейбір әрекеттерге қарағанда қалыңдығы 10^6 - 10^5 см-ге жетеді) болуы ол бетті “қатайтып”, оның пішінін шар тәріздендіреді де, өзара соқтығысқанда олардың бірігуіне жол бермейді.

Ауа көпіршіктерінің көтерілу жылдамдықтарының төмендеуі. Бетінде гидратты қабат жоқ ауа көпіршіктері сумен шекаралықта үйкеліс тудыратын кедергі жоқтығынан және бет пішінінің оңай өзгеретініне байланысты суда көтерілу жылдамдығы жоғары. Ал бетінде су қабаты бар көпіршіктер бет пішінін аз өзгертуіне байланысты және су қабатымен көлемді су шекаралығында үйкеліс күштердің пайда болуымен және олардың диаметрлерінің кішіреюімен байланысты олардың көтерілу жылдамдығы төмендейді (8-кесте).

8-кесте.

Көбіктендіргіш ауа көпіршіктерінің көтерілу жылдамдығына әсері (О.С.Богданов)

Көпіршік размері	Көпіршіктердің өлшенген жылжу жылдамдықтары, см/с		
	Реагентсіз	Қарағай майы, (20 г/м ³)	Терпинеол (20 г/м ³)
0,96	19,80	11,26	11,05
1,54	30,20	14,05	17,10

Мұның өзі ауа көпіршігінің пульпада көп уақыт болуына, соның нәтижесінде минерал түйіршіктерімен көбірек соқтығысып, бір-біріне жабысу ықтималдығы жоғарылайды.

Көбіктің тұрақтылығының артуы. Оның басты себебі әр көпіршіктің бетінде молекулалардың полярлі тобымен байланысқан су қабатының көпіршіктердің арасындағы бос судың ағып кетуіне кедергі болуы, ол судың атмосфералық ауамен шектескен жерінде аз булануы және көпіршік бетінің иілімді (созылымды) болуы. Ақырғы жай көпіршік сырт күштерімен кенеттен пішіні бұзылып созылса, сол аймақта көпіршіктердің молекулаларының концентрациясы азаяды да бет тартылысын өсіреді. Соның нәтижесінде әлгі аймақтың одан әрі созылуына кедергі күш пайда болады. Көпіршік бетінің иіліп созылмалығы көбіктендіргіштің табиғатымен оның пульпадағы концентрациясына байланысты. 22-суретте спирттің алкилді радикалының ұзындығы, көбіктің көлемі және спирттің концентрациясы аралығындағы тәуелділік көрсетілген.

22-сурет. Судағы ауа көпіршіктерінің бірікпеуіне жеткілікті спирт концентрациясының және көбіктің көлемінің көмірсутек тізбегіндегі көміртек атомының санына тәуелділігі.

1-көбік көлемі; 2-спирттің жеткілікті концентрациясы.

Көбікті тұрақтандыру үшін қажетті концентрация көбіктендіргіш үшін әр түрлі. Тәжірибеде көбіктенуді тұрақтылаудың бір жолы көбіктендіргіштердің тіркестерін қолдану.

Түйіршіктің көпіршікке жабысу күшінің артуы. Көбіктендіргіштер тек су-ауа шекаралығында ғана емес сонымен қатар су-минерал шекаралығында да адсорбцияланады. Мысалы, сульфидті минералдардың флотоактивті кластары жинағышсыз көбіктендіргіштермен қанағатты флотацияланады.

Көбіктендіргіштердің минерал бетінің сусыздануын арттыруға себеп болатын жайлар: молекулалардың белгілі бір механизм мен минерал бетімен әрекеттесу нәтижесінде аполярлі тобының сусыздануды арттыруы;

оның молекулаларының минерал бетіне адсорбцияланған жинағыштармен қабаттасып комплекс құрап, түйіршікпен көпіршік арасындағы су қабатының бұзылуын жылдамдатуы;

көбіктендіргіштердің беттартысына тәуелді көпіршік ішіндегі капилярді қысымды азайтып олардың түйіршіктерге жабысу күшін арттыруы;

суда нашарлау еритін жинағыштардың эмульсиялануын арттырып, олардың әрекет күшін жақсартады.

Көбіктендіргіштердің әрекетіне олардың құрамы мен құрылысы және концентрацияларынан басқа әсер ететін факторларға пульпаның температурасы және рН жатады.

Пульпа температурасы нашар еритін қосылыстардың ерігіштігін арттырып концентрациясын өсіреді, молекулалардың қозғалымдығын жоғарылатып көпіршік бетінің бірлікті ауданына, адсорбциялық қабаттың біркелкі қалыпқа келуіне мүмкіншілік туады.

Ортаның рН мөлшерінің әсері. Көбіктендіргіштердің молекулалық не ионды түрде болуы, ортаның рН мөлшеріне тікелей қатысты. Олар неғұрлым аз диссоциацияланса, яғни молекулалық түрде болса, көбіктендіргіш қасиеттері соғұрлым жоғары болады.

Көбіктендіргіштердің ортаның рН мөлшеріне қарай диссоциациялануы бойынша олар төмендегі топтарға бөлінеді:

1. Ортаның рН мөлшері 7-ден төмендеу, не жоғарылау болғанда қышқылды көбіктендіргіштер молекулалы түрде болады да тиімділіктері артады. Оларға жататындар: фенолды реагенттер (крезол, ксиленол және басқалары).

2. Негізді көбіктендіргіштер рН мөлшері жоғары болғанда молекулалық түрде болады (ауыр пиридинді негіздер және басқалары).

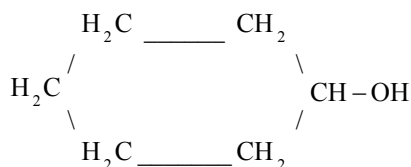
3. Ортаның рН-на тәуелсіз бейтарапты көбіктендіргіштер ионданбайды. Оларға жататындар алифатты (түзу тізбекті спирттер, ароматты спирттер және басқалары), эфирлі байланысты заттар (ОПСБ, ОПСМ және т.с.с.).

§ 3. Өндірістік тәжірибеде қолданылатын көбіктендіргіштер

Көбіктендіргіш реагенттер ретінде көптеген қосылыстар белгілі. Бірақ нақтылы өндірістік тәжірибеде қолданылатындары аз. Оның басты себебі көпшілігінің жеткілікті мөлшерде шығарылмауы, құндарының жоғары болуы және т.с.с. Технологиялық тұрғыдан қарағанда көбіктендіргіштерге қойылатын басты талаптар: суда ерігіштіктері, жинағыш қасиеттерінің жоқ болуы, құндарының және улылықтарының төмен болуы. Жалпы ең көп тарағандары гетерополярлі құрылымды және полярлі топтары ионданбайтын көбіктендіргіштер.

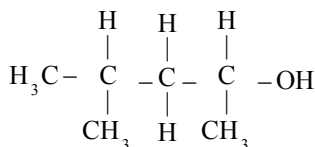
Қарағай майы ерте кездерде ең көп қолданылған көбіктендіргіш болды. Қазір қымбаттығына және жеткілікті мөлшерде шығарылмауын байланысты сирек қолданылады. Оның құрамына кіретін басты компонент терпенді спирттер ($C_{10}H_{17}OH$). Олардың проценттік үлестері А,Б және В сорттарында 60, 50 және 40%. Басқа компоненттер ретінде көмірсутектер және басқалары кіреді. Шығын мөлшері 10-100 г/т.

Сульфидті минералдарды тандамалы флотациялауда қолданылатын жасанды реагенттердің ішінен циклогексанолды атауға болады:



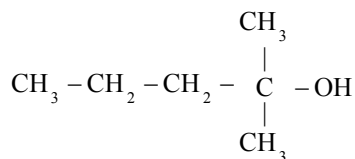
Соңғы 20-30 жылдарда ең көп тараған көбіктендіргішке Т-66, ал кейінірек Т-80 жатады. Екеуінің де алынатын бастапқы заттары бірдей. Олардың негізгі компоненттері пиранды және диоксандықтарға жататын бір атомды спирттер. Олардың кең тарауына себеп болған жайлар: құрамдарының тұрақтылығы, улылықтарының төмендігі, шығындарының аздығы және әр түрлі кендерді флотациялауға жарамдығы болды.

Полиметалды кендерді таңдамалы байытуда қолданыс тапқан көбіктендіргіш метилизобутилкарбинол (МИБК) - екіншілік гексилді спирт. Құрылымды формуласы:



МИБК-нің орташа шығыны 10-50 г/т.

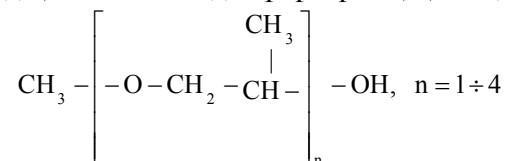
Зерттеу нәтижелеріне қарағанда сульфидті кендерді флотациялауда келешегі бар реагентке үшіншілік гексилді спирт жатады:



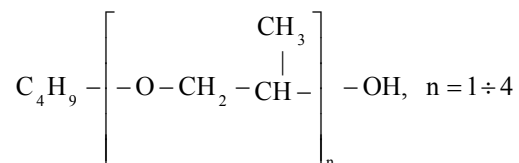
Түсті метал кендерін флотациялау үшін табылған, улылығы төмен көбіктендіргішке Реагент ВВ-2 жатады. Ол алифатты екі және үш атомды спирттерден тұрады (орташа шығыны 50-200 г/т).

Көбіктендіргіш қасиеттері спиртті көбіктендіргіштерге жақын реагент полиэтиленгликольдердің монобутильді эфирлерінің қосындысынан тұратын Э-1. Жалпы құрылымды формуласы $\text{C}_4\text{H}_9-[-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n-\text{OH}$, $n=2,3,4$. Бұл реагент Лениногор фабрикасында крезол орнына қолданылған, шығыны крезолдан 5-6 есе кем.

Құрылымы және технологиялық қасиеті жағынан Э-1-ге жақын көбіктендіргіш ОПСМ. Ол полипропиленгликольдердің монометильді эфирлерінің қосындысынан тұрады:



Э-1 және ОПСМ -ге қарағанда көбіктендіргіш қасиеті күштірек реагент ОПСБ. Ол полипропиленгликольдердің монобутильді эфирлерінің қосындыларынан тұрады:



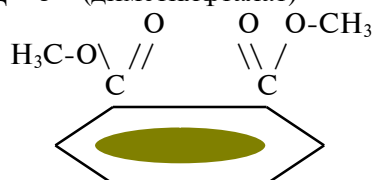
Реагенттік ерекшелігі сол, көмірсутекті майлармен бірге қолданылғанда жақсы көбіктендіреді. Сондықтан оны жинағыш ретінде майлар қолданылатын молибден, мыс-молибден, мыс және т.б. кендерді флотациялауда пайдалану өте тиімді.

Реагент ДС радикалында 5-11 көміртек атомы бар алкиларилсульфонаттардың араласы. Суда жақсы ериді, күшті көбіктендіргіш және аздап жинағыш қасиеті бар. Өндірісте барит қорғасын кендерін флотациялауда қолданыс тапты.

Құрылымы жағынан Э-1-ге жақын оксиэтиленген алкилфенолды реагенттерге ОП-4, ОП-7 және ОП-10 жатады. Бұларды негізінде көбіктендіргіштер мен жинағыштар үшін эмульгаторлар ретінде қолдану тиімді. Демек, олар жинағыштардың эмульсиялануын арттыру нәтижесінде шығындарын азайтады, көбіктің тұрақтылығын қажетті мөлшерге дейін төмендетеді.

С у л ь ф а т т а р (сульфоэфирі) ROSO_2OH және **с у л ь ф о н а т т а р** (сульфокислоты) RSO_2OH алдыңғы тарауда жинағыштар ретінде қаралды. Оларда жинағыш қасиет егер көмірсутек радикалында көміртек атом саны 12-ден кем болмаса ғана болады. Егер көміртек атом саны 8-12-ге тең болса, онда олар тек көбіктендіргіш қана бола алады. Негізінде олар сілтілі ортада қолданылады.

Р е а г е н т Д - 3 (диметилфталат)



полиметалды кендерді флотациялауда қолдану мүмкін. Орташа шығыны 25-75 г/т.

Келтірілген мысалдардан көбіктендіргіштердің түрлері көп екенін байқауға болады. Оларға қойылатын талаптардың бәріне әрқайсысы бірдей сай келе бермейді. Сондықтан олар әр түрлі кендерді флотациялауда арнаулы сынақтан өтулері қажет. Көптеген тәжірибелік деректер көбіктендіру және жиналған көбіктің тұрақтылығы белгілі мөлшерден аспауын қамтамасыз ететін ең тиімді режимдерді көбіктендіргіштердің белгілі бір тіркестерін қолдану арқылы табуға болатындығын көрсетеді. Бірсыпыра жағдайларда көбіктендіргіштерге аполярлі (яғни көмірсутекті) заттар қосылғанда жақсы нәтижелер алынатындығына күмән жоқ, аполярлі заттар көбіктендіруді ғана жақсартып қоймай, минерал бетіне жинағыштармен қоса адсорбцияланып, ол беттің сусыздану дәрежесін арттырады.

III ТАРАУ

АКТИВТЕНДІРГІШТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ӘРЕКЕТ МЕХАНИЗМІ.

§1. Активтендіргіштер туралы жалпы түсініктер

Минералдың флотациялануы олардың бетіне жинағыш реагенттер адсорбцияланып сусыздандырылса ғана іске асады. Бірақ, біріншіден барлық минералдар бетіне (флотациялауға жататын) жинағыш реагенттер әр түрлі себептермен адсорбциялана бермейді. Екіншіден, көпшілік кендерде бірнеше бағалы минералдар болатындықтан олар байыту нәтижесінде жеке концентраттарға бөлініп алынулары қажет. Осы жайларға байланысты флотациялау процесінде жинағыштар мен көбіктендіргіштерден басқа көптеген реттегіш реагенттер қолданылады. Солардың бір тобы активтендіргіш реагенттерге жатады. Оларды қолданудағы негізгі мақсат - флотациялауға қажетті минералдар беттерінің жинағыш реагенттерімен әрекеттесулеріне дайындау. Көпшілік сульфидті минералдар активтендіруді қажет етпейді, ал бірсыпыра минералдар активтендірілмей флотацияланбайды. Осы жайларға байланысты активтендіргіштер екі жағдайда қолданылады:

1) егер минерал табиғи қасиетіне байланысты жинағыш реагентімен нашар әрекеттесетін болса;

2) таңдалмалы флотация жүргізілгенде (кенде бірнеше бағалы минералдар болғанда) бір не екеуі флотацияланады да, ал біреуі (не бірнешесі) басқыш реагенттермен арнайы өңделіп,

флотациялануы басылады, ал флотациялау кезегі келгенде жинағыш реагентімен өндеу алдында активтендіріледі.

Активтендіргіштердің минералдар бетімен әрекеттесу нәтижесінде жүретін процестерді үш топқа бөлуге болады:

1) табиғи жағдайда не өндеу кезінде минералдар бетінде пайда болған, оның жинағыштармен әрекеттесуін төмендететін, қабыршық қосылыстар еріп минералдың кристалдық тор беті тазаланады;

2) минералдар бетіне жинағыш реагенттермен әрекеттесетін иондар хемосорбцияланып бет қосылыстарын түзеп, активті аймақ ауданын өсіреді;

3) минерал бетінмен активтендіргіш иондары гетерогенді химиялық реакцияларға түсіп үш өлшемді көлемді қабыршық түзеді. Демек, жинағыштармен активті әрекеттесетін жаңа фаза пайда болады.

Реттегіш реагенттер, олардың ішінде активтендіргіштер ретінде анорганикалық қышқылдар, сілтілер және тұздар қолданылады.

§2. Минерал бетін тазалау арқылы активтендіру.

Қышқылдармен активтендіру. Ең көрнекті мысал ретінде пиритті (FeS_2) активтендіруді келтіруге болады. Пирит беті ауада да, сулы ортада да тез тотығады. Соның нәтижесінде бетінде кейде үш өлшемді тотықты ксантогенатпен әрекеттеспейтін қабыршақ пайда болады. Сульфидті кендерді флотациялауда көпшілік жағдайда басқа бағалы минералдар флотацияланғанда, ол ақ кірішпен жоғары сілтілі орта жасалып басылады. Соның нәтижесінде оның бетінде ерігіштігі төмен гидраттар $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ түзіледі. Осы екі жағдайда да оны флотациялау үшін тотықты қабыршықтарды еріту қажет. Осы мақсатпен ортаның рН мөлшері 5-6-ға дейін төмендетіледі. Қышқыл орта жасау үшін көбіне құны төмен күкірт қышқылы қолданылады. Беті осылай тазаланған пирит ксантогенаттармен өте активті флотацияланады.

Мыс-никель кендерін флотациялағанда құрамында никель бар пирротин минералын активтендіру мақсатымен щавель не күкіртті қышқылдар қолданылады.

Көптеген тотықты минералдарды (касситерат, ильменит, вольфрамит және т.б.) оксигидрильді жинағыштармен флотациялауда да қышқылдар қолданылады. Берилді флотациялауда оны фторсутекті қышқылмен (HF)^x өндегенде оның бетінде бериллий катиондары ашылып, жинағыш реагенттермен әрекеттесуі күрт артады.

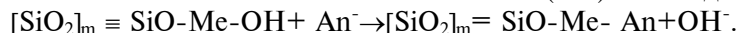
Қышқылдармен қатар минерал беттерін жаңартуға сілтілер, кейбір комплекс түзетін реагенттер қолданылады. Мысалы, сподуменді таңдамалы флотациялауда күйдіргіш натрий (NaOH) силикатты жартылай еріту үшін пайдаланылады. Сол сияқты тотығу нәтижесінде мыс сульфидтерінің бетінде пайда болған тотықты қабыршақтарды ерітуге цианидтер қолданылады. Бірақ цианид концентрациясы тек тотықты қабатты ерітуге ғана жететін мөлшерде болуы қажет, ал концентрациясы белгілі мөлшерден асса ол басқын реагентіне айналады.

§3. Минерал беті иондардың хемосорбциялануы нәтижесінде активтенуі

Иондардың минералдар бетінде хемосорбциялану нәтижесінде бет қосылыстар түзіледі, демек иондар кристалдық тордың тек бетімен ғана әрекеттеседі де, жинағыш иондарының сол бетке адсорбциялануына мүмкіншілік тудырады. Осындай иондарға көбінде жерсілтілі металдар катиондары (кальций, барий және басқалары) және ауыр металдар (мыс, қорғасын, темір) катиондары жатады. Жерсілтілі металдар катиондары негізінде силикатты минералдарды активтендіреді. Айта кететін бір жай, жерсілтілі металдар катиондары пульпада табиғи жағдайда минералдардың белгілі мөлшерде ерігіштік қасиеттеріне байланысты пайда болады. Сондықтан табиғи таза түрінде анионды жинағыштармен флотацияланбайтын (мысалы, кварц) минералдар активтену арқылы көбікті өнімге шығады. Ауыр металдар катиондары кварцтың күшті активтендіргіштері. М.А. Эйгелестің деректері бойынша кварцты активтендіру қасиеттеріне қарай катиондар қатарда былай орналасады: $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. А.А.Абрамов және

^x Орысша техникалық аты - плавиковая кислота.

басқалардың болжамы бойынша металл катиондарының кварц бетіне адсорбциялануы суда оның бетінде түзілетін силаноль тобының ($[\text{SiO}_2]_{\text{m}} = \text{Si-OH}$) гидролизденген металл катионымен (MeOH^+) әрекеттесуіне негізделген. Хемосорбцияланған металл катионы бір валентті байланыспен минерал бетімен, ал екінші валенттігімен гидроксиль ионымен (OH^-) әрекеттеседі. Осыдан кейін OH^- ионы жинағыш анионымен (An^-) алмасады:

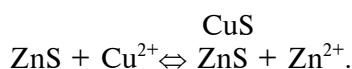


Минерал бетіне хемосорбцияланған жинағыш иондарымен қабаттаса оның молекулаларының адсорбциялануы нәтижесінде кварц беті флотациялауға қажетті дәрежеде сусызданады да, ауа көпіршіктеріне жабысады.

§4. Активтендіргіштердің минерал бетімен гетерогенді химиялық реакцияға түсуі

Ауыр металдар тұздарының активтендіру әрекеті. Олардың ішінде ең көп тарағаны, барлық полиметалды кендерді флотациялауда қолданылатын мырыш сульфидінің (сфалеритті) активтендіргіші мыс купоросы ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Сфалериттің активтендірусіз нашар флотациялануының екі себебі бар: 1) басқа ауыр түсті металдар катиондарымен салыстырғанда мырыш катионы ксантогенатпен әлсіздеу әрекеттеседі; 2) сфалерит бетінде ксантогенат диксантогенитке айналмайды, демек тотықпайды. Осы екі жайда сфалерит бетінің теріс зарядты болу салдарынан.

Мыс купоросының сфалеритті активтендіруі, оның катионының мырыш катионымен алмасуына негізделген:



Мыс катионының мырыш катионымен алмасуы мынадай заңдылықтарға негізделген: 1) мыс және мырыш катиондарының иондық радиустары өте жақын; 2) мыс катионы металдардың активтілік қатарында (электрохимиялық кернеу қатары) сутектің оң жағында орналасқан, демек электротерістігі төмен; 3) мыс катионы ксантогенатпен ерігіштігі төмен (мырыш ксантогенатымен салыстырғанда) тұз түзеді:

$$\text{PR}_{\text{cus}} = 3,5 \cdot 10^{-45}, \text{PR}_{\text{zns}} = 1,1 \cdot 10^{-24}.$$

Мыс катионы тек минерал бетіндегі мырыш катиондарымен ғана алмасып қоймай, одан кейінгі іш қабаттарына өтеді де, үш өлшемді көлемді қабыршық түзеді, демек минерал бетінде гетерогенді химиялық реакция жүреді. Қабыршақ қабатының қалыңдығы мыс катиондарының пульпадағы концентрациясына байланысты: неғұрлым ол жоғары болса, соғұрлым қабат қалыңдығы өседі. Кезегінше, мыс катиондарының концентрациясына үлкен әсер ететін фактор ортаның рН-ы. Сілтілі ортада мыс катионы ерігіштігі төмен гидроокись түзеді $[\text{Cu}(\text{OH})_2]$. Сондықтан мыс катиондарының концентрациясы көп төмендейді. Көпшілік жағдайда флотация сілтілі ортада жүргізілетіндіктен катион концентрациясы қажетті мөлшерде болуы үшін мыс купоросының шығыны әдетте жоғары келеді (бір тонна кенге бірнеше жүз грамм). Өндірістік тәжірибеде оның шығынын азайту үшін гетерогенді реакцияның аз жылдамдықпен жүруіне байланысты пульпаны онымен өңдеу уақыты кейде 20-30 минутке жетеді.

Мыс купоросының шығыны жоғары болудың тағы бір себебі, ол тек минерал бетінде хемосорбцияланып қоймай гетерогенді химиялық реакцияға түсуі. Жоғарыда сфалериттің ксантогенатпен нашар флотациялануының бір себебі ксантогенаттың диксантогенитке айналмайтыны айтылды, демек жинағыш минерал бетінде ионды түрде ғана адсорбцияланады да, сусыздану қажетті деңгейге жетпейді. Ксантогенаттың диксантогенитке айналуы минералдың жартылай өткізгіштік қасиетіне тәуелді. Минерал беті оң зарядты болса және n/p қатынасы (n -электрондар, p - тесіктер концентрациялары) неғұрлым аз болса, демек жартылай өткізгіштік p - типті болса, соғұрлым ксантогенаттың тотығуы жоғары болады.

Сфалерит n - типті жартылай өткізгішке жатады, ал мыс сульфиді (CuS) p - типті жартылай өткізгіш және беті оң зарядты. Айта кететін жай сфалерит бетінде мыс сульфидінің осы қасиеттері пайда болуы үшін ол жеке фаза түзуі қажет. Басқаша айтсақ CuS қабыршығының қалыңдығы белгілі мөлшерден аз болмауы қажет. Ол үшін мыс катиондарының сфалерит бетінде тек хемосорбциялануы жеткіліксіз. Қабыршықтың жеткілікті қалыңдығы тек гетерогенді химиялық реакция жүру нәтижесінде ғана құралады. Қорыта

айтсақ, сфалерит бетінде мыс катионының адсорбциялануы оның ксантогенатпен (сол сияқты дитиофосфатпенде) берік әрекеттесуіне және минерал бетінде жинағыштың ионды және молекула (диксантогенид) түрінде адсорбциялануына мүмкіндік тудырады.

Мыс купоросы тек сфалеритті ғана емес, басқада сульфидтерді активтендіреді. Көңіл аударарлық жай барлық сульфидті кендерде пириттің болуы. Мырыш флотациясында пирит басылуы қажет, ал мыс купоросы оған да активтендіргіш әсерін тигізеді. Осыған байланысты өндірістік тәжірибеде пиритті басу үшін мырыш флотациясы жоғары сілтілі ортада жүргізіледі. Мыс катионының темір катионымен алмасуыда жоғарыда келтірілген заңдылықтарға бағынады. Демек, мыс сульфидінің ерігіштігі темір сульфидіненде көп төмен. Металл сульфидінің ерігіштігі неғұрлым төмен болса, осы металл ксантогенатыныңда ерігіштігі соғұрлым аз болады, демек минерал бетіндегі металл катионымен ксантогенат берік байланысады. Осыған байланысты металл сульфидтерінің ерігіштіктері белгілі болса, олардың жинағыштармен (анионды) әрекеттесу күшінде болжауға болады. Осы тұрғыдан қарасақ, мысалы, қорғасын, күміс және сынап катиондары сфалериттің активтендіргіші бола алады.

Активтендіргіштердің де басқа көпшілік реагенттер сияқты таңдамалы адсорбциялануы сирек кездеседі. Сондықтан әр кенді байытуда оның нақтылы ерекшеліктерін білу нәтижесінде ғана активтендіргішпен өңдеу режимін табу қажет (ортаның рН-ы, қосымша реагенттерді пайдалану, пульпаға түсіру орнын және т.б.).

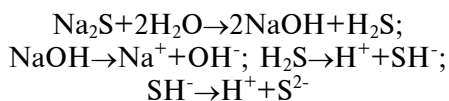
А у ы р т ү с т і м е т а л д а р д ы ң т о т ы қ т ы м и н е р а л д а р ы н а к т и в т е н д і р у . Оларға жататындар мыс, қорғасын және мырыштың карбонаттары мен қорғасынның сульфаты. Оларды активтендірусіз оксигидрильді жинағыштармен (мысалы, карбон қышқылдарымен) флотациялауға болады. Бірақ ол жинағыштар көптеген басқа тотықты минералдарды да флотациялауы нәтижесінде селективті концентраттар алу мүмкін емес. Сондықтан өндірістік тәжірибеде жоғарыда аталған металдар тотықтары алдын ала сульфидтендіріледі (яғни, күкірттендіріледі) де сульфгидрильді жинағыштармен флотацияланады.

Сульфидтегіш реагенті ретінде кез келген суда еритін жерсілтілі металдардың күкіртті қосылыстарын (Na_2S , NaHS , K_2S , KHS , CaS , BaS) және аммоний қосылыстарын ($(\text{NH}_4)_2\text{S}$, NH_4HS) қолдануға болады. Өндірістік тәжірибеде ең құны төмен және оңай алынатын күкіртті натрий (Na_2S) қолданылады.

Мыс, қорғасын және мырыш тотықты минералдарына сульфгидрильді жинағыштар активтендірусіз - ақ жеткілікті түрде адсорбцияланады, бірақ олар флотацияланбайды. Енді осы жайдың негізгі себептерін қарастырайық. Біріншіден, бұл минералдар беттерінде ксантогенат ион карбонат және сульфат иондарымен (PbSO_4) оңай алмасады, себебі ол карбонат және сульфат иондарымен салыстырғанда аталған металдар катиондарымен ерігіштіктері аз қосылыстар түзеді. Осының салдарынан металл катионы - жинағыш ионынан тұратын қосылыс минерал бетімен берік байланыс жасалмайды. Екіншіден, карбонат және сульфат иондары металл катиондарымен тек ионды байланысты болады. Сол себепті бұл минералдардың жартылай өткізгіштік қасиеттері жоқ. Сондықтан адсорбцияланған ксантогенат ионы тотықпайды, демек диксантогенидке айналмайды. Тек ионды түрде адсорбцияланған ксантогенат минерал бетін сусыздандырмайды.

Сульфидтеу арқылы активтендіруде минерал бетінің сусыздануы жинағыш реагентімен өңдеуге дейін төмендейді (бұл жай сульфидті минералдардың тотығуына байланысты қаралған). Бірақ жинағыш реагентсіз ол тұрақты күйде болмайды. Жеткілікті сульфидтенген минерал бетінде ксантогенаттың адсорбциялануы және оның ионының тотығып диксантогенидке айналу схемасының табиғи сульфидті минералдар бетінде жүретін процестерден еш айырмашылығы жоқ.

Күкіртті натрий (Na_2S) күшті сілті және әлсіз қышқылдан құралған тұз ретінде суда былай гидролизденеді:



Күкіртті сутек қышқылы өте әлсіздігіне байланысты нашар диссоциацияланады, сондықтан оның сулы ерітіндісі тек сілтілік реакция көрсетеді. Гидролиз нәтижесінде ерітіндіде (пульпада) пайда болатын иондар: OH^- , SH^- және S^{2-} . Күкіртті сутек молекуласымен SH^- және S^{2-} иондарының концентрациялары ортаның рН-на байланысты өзгереді. Күкіртті сутек

қышқылының диссоциациясының бірінші сатысының тұрақтысы $K_1 = \frac{[H^+][HS^-]}{[H_2S]} = 10^{-7}$, екінші сатысының $K_2 = \frac{[H^+][S^{2-}]}{[HS^-]} = 10^{-15}$

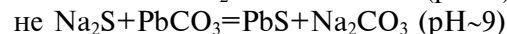
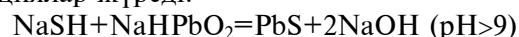
Демек, күкіртті натрий ерітіндіде сілтілі ортада негізінде $[HS^-]$ түрінде болады. Сульфид ион $[S^{2-}]$ концентрациясы тек жоғары сілтілі ортада ғана біраз өседі.

Күкіртті натрийдың жеткілікті концентрациясында карбонат және сульфат иондары $[HS^-]$ және $[S^{2-}]$ иондарымен алмасып минерал бетінде сульфидті қабыршақ пайда болады. Сульфидтеу әдетте $pH=9-9,5$ мөлшерінде жүргізіледі. Осындай сілтілікте $[HS^-]$ концентрациясының мәні жоғары деңгейге жетеді. Сілтілікті $[S^{2-}]$ ион концентрациясын өсіру мақсатымен одан әрі жоғарылату жақсы нәтиже бермейді. Себебі $[OH^-]$ ионының концентрациясы жоғарылаған сайын оның минерал бетімен әрекеттесуі күшейіп, сульфид және гидросульфид иондарының адсорбциялануын төмендетеді.

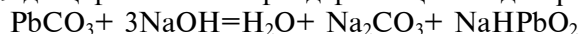
Минерал бетінің сульфидтенуінің және соның нәтижесінде жинағыштың адсорбциялануының бірсыпыра ерекшеліктері бар. Сульфидтеу процесінің режимі сол ерекшеліктерге сай жүргізілуі қажет:

1. Сульфидті қабыршақтың қалыңдығы қажет мөлшерге жеткеннен кейін араластыру жүргізіле берсе, ол қабыршақ минерал бетінен сыдырыла бастайды. Себебі қабыршақ құрылымының параметрлері негізгі минерал торының құрылымынан өзгеше. Сондықтан пульпаны күкіртті натриймен араластыруды да баяу жүргізу қажет.

2. Жинағыш реагентімен өңдеу алдында жүргізілетін активтендіру процесінде, сульфид-ион $[S^{2-}]$ концентрациясы флотациялау кезіндегіден көп есе жоғары болуы тиіс. Тек сонда ғана тотықты минерал бетінде жеткілікті қалыңдықпен сульфидті қабат пайда болады. Мысалы, церуссит бетінде мына реакциялар жүреді:



$NaHPbO_2$ - плюмбат, $pH > 9$ да қорғасын минералдарының бетінде түзілетін қосылыс:



3. Ксантогенат сульфидтенген бетте тотығу реакциясы жүре бастаған кезде ғана адсорбциялана бастайды, ал тотығу реакциясы пульпада сульфид ион концентрациясы нольге жақындағанда (оның оттегімен тотығуы нәтижесінде) басталады.

4. Минерал бетінің флотациялануға жеткілікті сусыздануы тек адсорбцияланған жинағыш қабатында диксантогенид түзелгенде ғана басталады.

5.. Флотациялау кезінде сульфид ион концентрациясының өте төмендеуімен байланысты минерал бетінің тотығуы ұлғая түседі де, оның бетінде жинағыштың адсорбцияланған жылдамдығы төмендей береді.

Осындай құбылыстар қорғасын және мыс тотықты минералдарының барлығы үшін бірдей жүреді. Тек, сульфид ион, ксантогенат және ортаның сілтілігінің (pH) ара қатынастары өзгеріп отырады. Мысалы, барлық тотықты мыс минералдарын бутилды ксантогенатпен флотациялауда олардың ара қатынастарының өзара тәуелділігі төмендегідей (А.А. Абрамов):

$$\lg[S^{2-}]_{\text{онм}} = -16 + \lg[\text{бутКх}^-] + pH$$

6. Пульпада сульфид ионмен әрекеттесетін компоненттер болғанда (мырыш және темір сульфаттары, басқада минералдардың шламдары) оның сульфидтеуге қажетті концентрациясы өседі, демек күкіртті натрийдың шығыны артады.

Қорыта айтсақ, сульфид ион концентрациясы жеткіліксіз болса минерал активтенбейді, ал оның концентрациясы белгілі мөлшерден артық кетсе басқышқа айналып кетеді. Ең жақсы технологиялық көрсеткіштер сульфид ион концентрациясы белгілі шекаралықта болғанда ғана алынады. Ондай режимді тек процесті автоматтандыру арқылы ғана жасауға болады. Өндірістік тәжірибеде автоматтандырылған жағдайда кейде күкіртті натрий флотация процесіне бөлшектеп беріледі.

Күкіртті натрий шығыны кен қасиетіне қарай үлкен шекте өзгереді (мысалы, 0,2-1,0 кг/т).

V ТАРАУ.

БАСҚЫШТАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ӘРЕКЕТ МЕХАНИЗМІ.

§1. Басқыштар туралы жалпы түсініктер.

Кен байытуда одан бағалы заттарды неғұрлым толық бөліп алумен қатар басты мақсат-негізі бір металдың ғана минералдарынан тұратын селективті концентраттар алу. Ондай бір металды концентратты тек жинағыштарды қолданып алу қиын. Себебі тек бір минералға ғана адсорбцияланатын жинағыш жоқ. Олардың әр қайсысы азды-көпті бірнеше минералдарға адсорбцияланады да, концентрат көп металды болып алынады. Мұндай концентраттар, біріншіден, оларға қойылатын талаптарға сай болмайды, екіншіден металлургиялық өңдеуде концентраттан тек бір ғана басты металл алынып, ал қалғандары жоғалады. Осы жайға және кендердің көп металды болуына байланысты әр металды жеке концентрат түрінде алу өте маңызды жай. Кендерді флотациялап байытуда осы мақсатты іске асыру үшін басқыш реагенттер қолданылады.

Басқыш реагенттердің әрекеті жинағыштардың әрекетіне қарама-қарсы: минерал бетіне адсорбциялану нәтижесінде оны суландырып, ауа көпіршіктеріне жабысу мүмкіншілігін күрт төмендетеді. Олардың көпшілігі суда жақсы еритін аорганикалық қосылыстар: тұздар, сілтілер және қышқылдар. Өндірістік тәжірибеде көп тараған басқыштарға жататындар: сілтілер, сілтілі металдардың сульфидтері, тұздары, күкіртті натрий, мырыш сульфаты, күкіртті қышқылы (H_2SO_4) және оның тұздары, хром тұздары, сұйық шыны, күкірт қышқыл (H_2SO_3), сутекті фтор қышқылы (HF), фосфор қышқылы және тағы басқалары. Осылармен қатар кейбір жоғары молекулалы органикалық қосылыстар қолданылады.

Осы келтірілген аттардан басқыш реагенттердің көп түрлі екендігін көреміз. Қасиеттеріне қарай олардың минералдар бетімен әрекеттесу және суландыру механизмдері де әр түрлі. Оларды төрт топқа бөлуге болады:

1. Минерал бетіндегі жинағыштардың бет қосылыстарын еріту және жинағыштардың қайтадан адсорбциялануына жол бермеу. Жоғарыда аталған басқыштардың ішінен циан тұздарының әрекеті осы механизммен сипатталады. Циан ионы көптеген металдармен ерігіштігі аз қосылыстар (ерімейтін және диссоциацияланбайтын комплексті иондар) түзу қасиетіне байланысты минерал бетіндегі метал-ксантогенат қосылысын ерітіп жібереді.

2. Минерал иондарымен ерігіштігі өте төмен қосылыстар түзу қасиеттеріне байланысты адсорбцияланған жинағыш иондарын минерал бетінен ығыстырып суға шығарады. Мысалы, гидроксил (OH^-) және сульфид ион (S^{2-}) әрекеттері осындай механизммен байланысты.

3. Минералдың бет ауданы қасиеттерінің біркелкі еместігіне байланысты жыйнағыш адсорбцияланбаған бос аймақтарға адсорбцияланып, беттің сулануын арттырып, флотациялану мүмкіншілігін төмендетеді.

4. Басуға қажетті минералдар бетінде аорганикалық не органикалық өте ұнтақ шламды, не коллойдты заттардың жабысуынан бет сулануы артады.

Басқыштардың басу механизмдері схематикалық түрде (23-суретте) көрсетіледі.

23- сурет. Басқыш реагенттердің басу механизм схемалары.

§2. Сілтілі реагенттердің басу механизмі

Анионды жинағыштарды қолданып байытуда флотация сілтілі ортада жүргізіледі

Оның негізгі себебі - жинағыштарды және қолданылатын басқыш реагенттерді активті ионды түрге айналдыру. Осымен қатар сілтілі ортада флотациялау процесіне әсерін тигізетін басқада процестер жүреді. Бұл параграфта сілтілі ортаның негізгі компоненті гидроксил ионының (OH^-) басқыш әрекеті қаралады.

Сілтілі орта жасау үшін өндірістік тәжірибеде сода, ақ кіріш және күйдіргі натр (NaOH) қолданылады. Ақырғы сілті құнының жоғары болуына байланысты сирек пайдаланылады. Ортаның сілтілігі тек арнайы қолданылатын реагенттерден басқа пульпада сумен әрекеттесу нәтижесінде гидроксил ионын тудыратын минералдардың (кальцит, магнезит, доломит) болуына да байланысты.

Гидроксил ионының басқыш әрекеті, оның ауыр металдар катиондарымен ерігіштігі төмен гидроксидтер түзуімен байланысты. Төменде мыс, қорғасын, мырыш және темірдің гидроксидтерінің және олармен салыстыру үшін сол металдардың ксантогенаттарының (бутильды) ерігіштіктері келтірілген

	$\text{Me}(\text{OH})_n$	MeK_x (бутил)
Мыс	$5,6 \cdot 10^{-20}$	$4,7 \cdot 10^{-20}$
Қорғасын	$1,1 \cdot 10^{-20}$	$6,0 \cdot 10^{-17}$
Мырыш	$7,1 \cdot 10^{-18}$	$3,7 \cdot 10^{-11}$

Бұл деректерден минералдар бетінде OH^- иондарының ксантогенат иондарын ығыстырып шығаруға мүмкіндіктері бар екені анық байқалады. Уорк және Кокстың көптеген зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып Барский гидроксил және ксантогенат иондарының өзара қатынастарын төмендегі түрге келтірді:

$$[\text{X}^-] = m[\text{OH}^-]^y$$

мұнда m -пропорционалдық коэффициент;

y - басқа сипаттамалы тұрақты (ол минерал қасиеті мен қолданылатын жинағыш түріне байланысты).

Бұл қатынас ксантогенаттың минералға абсорбциялануы гидроксил ионының концентрациясымен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Басқаша айтқанда ксантогенат ионы гидроксил ионының концентрациясы белгілі мөлшерден аспағанда ғана абсорбцияланады. Төменгі 9-кестеде кейбір минералдарды этильді ксантогенатпен флотацияланғандағы ортаның аумалы рН мөлшері келтірілген (Уорк бойынша).

9-кесте

Концентрациясы 25 мг/л этильді ксантогенат қолданылғандағы рН аумалы мөлшері (одан асқанда минерал флотацияланбайды)

Минерал	рН	Минерал	рН
Сфалерит	х)	Ковеллин	13,2
Пирротин	6,0	Борнит	13,8
Галенит	10,4	Тетраэдрит	13,8
Пирит	10,5	Халькозин	14,0
Халькопирит	11,8		

х) Сфалерит барлық рН-та ауа көпіршігіне жабыспаған.

Бұл кестедегі деректерден әр түрлі минералдар үшін гидроксил ионының аумалы концентрациясы үлкен шекте өзгередіні көрінеді. Көзге түсетіні мыс минералдарының өте сілтілікті ортада да флотациялану қасиетін жоғалтпаулары. Ауытқы рН мөлшері ксантогенат түрлеріне қарай да өзгереді: оның көмірсутек тізбегі ұзарған сайын аумалы рН мөлшері де жоғарылайды.

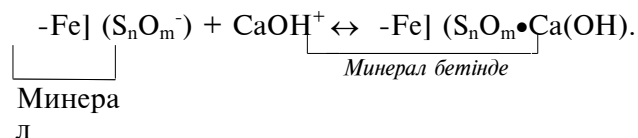
А.А.Абрамов жинағыш реагентінің минералдар бетінде абсорбциялануының ықтималды реакцияларын термодинамикалық талдау нәтижесінде ксантогенаттың флотациялауға қажетті

ең аз концентрациясын әр түрлі рН-та есептеу теңдеулерін тапты. Мысалы, темірдің барлық сульфидті минералдары (пирит, марказит және пирротин) үшін теңдеудің жалпы түрі:

$$\lg [K_x]_{\text{қажетті}} = [\lg K + \lg [\text{FeOH}^+][K_x]] + \alpha \text{pH} + \beta \lg [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}],$$

мұнда $\lg K$ минералдардың термодинамикалық сипаттамалары, ал α және β минералдардың химиялық құрамдарымен байланысты.

Аталған сілтілердің ішінде ақкіріш (оның сулы ерітіндісі ақкіріш сүті деп те аталады) темір сульфидтерінің күші басқышы ретінде қолданылады. Оның сілтілік қасиетінен басқа минералдар бетіне тигізетін әсері кальций ионының әрекетімен байланысты. Кальций ионы сульфоксидті иондарымен ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, SO_3^{2-}) ерігіштігі аз қосылыстар түзеді. Темір сульфидтерінің суда еріген оттегімен тез тотығуы нәтижесінде олардың бетіндегі сульфид ион сульфоксидті (бірінші кезеңде) иондарға айналады. Осы сәтте кальций иондары минерал бетінде олармен әрекеттесіп қосылыс түзеп, гидроксил иондарымен бірге минерал бетінің сулануын күрт арттырады. Ақ кірішті қолданғанда оның минерал бетімен әрекетін төмендегі реакциямен сипаттауға болады (А.А.Абрамов):



Бұл реакцияны минерал бетінің гипстенуі не цементациялануы деп те атайды.

Ақкіріштің басқыш әрекеті әр сульфидтер үшін әр түрлі. Мысалы, мыс сульфидтерінің жоғары сілтілі ортада флотациялану қасиеттері төмендесе темір сульфидтері күшті басылады, ал қорғасын сульфидінің (галенит) флотациялануы екі аралық шекте өзгереді. Осыған байланысты қорғасын кендерін флотациялағанда қажеттігі болмаса ақкіріштің қолданылмауы дұрыс, ал сілтілік соданы пайдаланып жасалады.

Жалпы ақкіріштің басқыштық қасиетінде кальций ионының ролі минерал бетінде сульфид-ионының тотығу жылдамдығына және минерал бетінде металл-сульфоксид комплексінің ерігіштік қасиеттеріне байланысты. Мысалы, галенит бетінде сульфид-ион сатылай тотығып, ақырында суда аз еритін қорғасын сульфаты (яғни англезит PbSO_4) түзіледі. Галениттің мыс минералдарымен салыстырғанда ақкірішті ортада флотациялану қасиетінің төмендеуі осы жаймен байланысты. Пириттің басылуының негізгі себебі темір катиондарының гидроксил иондарымен ерігіштігі өте аз гидроксидтер түзеуі. Соның нәтижесінде гидроксил иондары ксантогенат иондарын оңай ығыстырады.

Жалпы реагенттердің флотациялық қасиеттері қаралғанда, бірінші кезекте олардың абсорбциялану әрекеттері қаралады. Шын мәнінде, сульфидті флотацияда реагенттердің абсорбциялануы және флотациялану мүмкіншіліктері әр түрлі заңдылықтарға байланысты құбылыстар. Осы тұрғыдан Абрамовтың көз қарасын толық мақұлдауға болады. Бұған толық дәлел бола алатын жайлар аз емес.

Мысалы, қорғасын және мыс тотықты минералдарының бетіне ксантогенат қанша жеткілікті абсорбцияланғанмен олар флотацияланбайды. Себебі, ксантогенат тотығып диксантогенитке айналмайды. Демек, сульфидті минералдардың сульфгидрильді жинағыштармен флотациялануында негізгі фактор-минерал бетінде диксантогениттің түзілуі.

Сілтілік орта жасауда соданың басқалардан ерекшелігі оның күшті негізден және әлсіз қышқылдан тұруы. Суда гидролиздену нәтижесінде NaOH толық диссоциацияланғанда көмір қышқылы өте нашар диссоциацияланатын сілтілік орта түзіледі:



Бірақ сілтілік ортаның жоғарылауы (соданың шығынын өсіргенде) көмір қышқылының диссоциациялануының артуы нәтижесінде өте баяу өседі: Мысалы, соданың 1,0 %-ті ерітіндісінің сілтілігі $\text{pH}=11$ -ге әрең жетеді. Ал өндірістік флотациялауда оның шығыны өте аз. Көпшілік жағдайда содамен ортаның pH -ы оннан арытпайды. Сондықтан жоғары сілтілік қажет болғанда ақкіріш (не NaOH) қолданылады.

§ 3. Сілтілі металдар сульфидтерінің басу механизмі

Сілтілі металдар сульфидтерінің ішінде ең жиі қолданылатыны күкіртті натрий. Ол молибдениттен (MoS_2) басқа барлық сульфидтердің күшті басқышы. Оның басу механизмі минерал бетінен сульфгидрильді жинағыштар иондарын оңай ығыстырып шығаруына негізделген. Себебі ол көпшілік ауыр металдар иондары мен суда металдар ксантогенаттарымен салыстырғанда аз еритін қосылыстар түзеді. Сульфидті кендерді флотациялауда күкіртті натрий әр түрлі мақсаттармен өте жиі қолданылады. Мысалы, кеннен алынған коллективті сульфидті концентраттарды бөлу алдында минералдар бетінен адсорбцияланған жинағыштарды десорбциялауға, ұнтақтау процесінде сульфидтердің тотығуын тежеу үшін, ал мыс-молибденді концентратты бөлгенде мыс сульфидтерін селективті басуға қолданылады. Күкіртті натрий активтендіргіш ретінде де қаралды. Оның флотациялауда қандай роль атқаратыны пульпадағы концентрациясына байланысты. Ол тек сульфидті минералдардың ғана емес, олармен қатар кейбір тотықты минералдардың да басқышы. Мысалы, қорғасын, мыс және мырыш тотықты минералдарын активтендіру үшін сульфидтегенде, сульфид ионының концентрациясы белгілі мөлшерден асса олар флотацияланбайды. Сол сияқты темір және мыс катиондарымен активтенген кварцта осы реагентпен басылады. Бұл катиондар мен сульфид ион әрекеттесіп, олардан минерал беті тазаланады.

Сульфид ионының сульфидті минералдар бетімен күшті әрекеттесуі оның сол минералдардың құрамдарына кіретін компонент болуы, басқаша оларды потенциал анықтағыш иондар деп атайды. Олардың басу механизмі гидроксил иондарының әрекетіне сәйкес, демек минерал бетінен жинағыш иондары ығыстырылып шығарылады. Соның нәтижесінде минерал беті теріс зарядтанады.

Сульфид ионының әр минерал бетінен ксантогенат ионын ығыстырып шығаруға жеткілікті аумалы концентрациясы әр түрлі. Ол, біріншіден, металл-сульфид ион қосындысының ерігіштігіне байланысты: неғұрлым ол төмен болса, соғұрлым аумалы концентрациясы мөлшері азаяды. Екіншіден, пульпаның сілтілік дәрежесіне қарай сульфид және гидросульфид (HS^-) иондарының концентрациялары үлкен шекте өзгереді. Әдетте олар жеткілікті болуы үшін $\text{pH}=9\div 9,5$ болуы қажет. Үшіншіден, неғұрлым ксантогенат ионының пульпада концентрациясы жоғары болса, соғұрлым сульфид ионының аумалы концентрациясы да жоғары болады.

Сонымен, күкіртті натрий басқыш ретінде қолданылғанда $[\text{K}_x^-]$, $[\text{S}^{2-}]$ және pH концентрациялары белгілі қатынастарда болуы қажет. Оған үлкен әсер ететін сульфид ионының тез тотығуы. Осыған байланысты пульпаны онымен өңдегенде араластыру уақыты үлкен роль атқарады. Уақыт ұзарған сайын оның концентрациясы тез азайып, ксантогенат ионының абсорбциялануына мүмкіндік туады. Активтендіргіш ретінде қолданылғанда белгілі өңдеу уақытынан кейін оның концентрациясының төмендеуі қажет болса, басқыш ретінде қолданылғанда оның қалдықты концентрациясы бір мөлшерден төмен азаймауы қажет.

§ 4. Цианидтердің басу әрекеті

Цианидтер мыс-мырышты, мыс-қорғасынды, қорғасын-мырышты және мыс-қорғасын-мырышты кендерді флотациялауда кеңінен қолданылады. Ол NaCN , KCN және $\text{Ca}(\text{CN})_2$ түрінде, олармен қатар техникалық өнім цианплав түрінде пайдаланылады.

Цианидтердің басу әрекеті минерал бетіндегі металл-ксантогенат қосылыстарын ерітуге негізделген. Циан ион металдар катиондарымен, әсіресе темір және мыспен, берік комплексті иондар түзеді $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ және $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$.

Циан ионымен алдымен пульпадағы темір және мыстың бос катиондары әрекеттесіп, олардың концентрациялары азаюы нәтижесінде минерал бетіндегі жинағыш қосындысы біткенше ериді, егер циан концентрациясы жеткілікті болса.

И.А.Каковский ксантогенаттардың ерігіштігіне қарай барлық металдарды үш топқа бөлді:

1-топ - қорғасын, висмут, қалайы, сурьма, мышьяк, рубидий. Бұлардың ксантогенаттары цианда ерімейді;

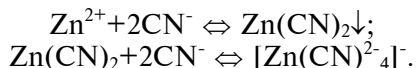
2-топ - сынап, кадмий, мыс. Бұлар цианмен беріктігі орташа комплексті иондар түзеді. Ксантогенаттары орта дәрежеде ериді де, ал сульфидтері тек циан концентрациясы жоғары болғанда ғана ери бастайды;

3-топ -мырыш, палладий, никель, алтын, темір. Бұл металдар цианмен берік комплексті иондар түзеді. Сондықтан олардың ксантогенаттары оңай ериді де, сульфидтері цианның аз концентрациясымен басылады.

Әр топта металдар ксантогенаттарының ерігіштіктері осы бағытымен орналасқан. Металдар неғұрлым бір-бірінен алыс тұрса, соғұрлым олардың сульфидтері бір-бірінен оңай бөлінеді. Мысалы, қорғасын сульфиді (галенит) мырыш сульфидінен (сфалерит) оңай бөлінеді, ал темір сульфидінен (пириттен) бөлу үшін цианның өте аз концентрациясы да жеткілікті. Ал қорғасын сульфидін мыс сульфидінен бөлу үшін циан концентрациясы жоғары болуға тиіс. Өте қиын бөлінетіндерге мыс және мырыш сульфидтері жатады. Себебі олар бір-біріне жақын орналасқан. Егер циан концентрациясы мырыш сульфидін басуға жеткілікті алынса, мыс сульфидіне де оның басу әрекеті әсер ете бастайды, ал циан концентрациясы оған әсер етпейтіндей мөлшерде алынса, мырыш сульфиді толық басылмайды. Демек, бұл екі минералды циан технологиясымен бөлгенде (басқа технологияны қолдану мүмкіншілігі болмағанда) бір металл екінші металл концентратында жоғалып отырады.

Мыс және мырыш сульфидтерін бөлу қиындығы кенде мыстың әр түрлі минералдар түрінде болуымен тығыз байланысты. Олардың сульфидтерінің цианмен әрекеттесу нәтижесінде ерігіштіктері әр түрлі. Олардың ішінде ең тұрақтысы мыстың түпкілікті минералы халькопирит. Ал туынды минералдарының (борнит, халькозин, новеллин), әсіресе тотықты минералдарының (малахит, азурит) цианда ерігіштіктері жоғары. Осының нәтижесінде пульпада сфалеритті активтендіретін мыс катиондарының концентрациясы көбейе береді.

Цианның металдар катиондарымен әрекеттесуі екі сатылы жүреді. Алдымен суда ерігіштіктері аз циан тұздары түзіледі, одан кейін, егер циан ионы концентрациясы жеткілікті болса, еріп комплексті аниондар түзіледі. Мысалы, мырыштың цианмен әрекеттесуі төмендегідей сипатталады:



Мыс және темірдің цианмен әрекеттесуі де осындай реакциялар арқылы жүреді.

Цианмен басу әрекетін толығырақ түсіну үшін еске алатын жай флотация тек сілтілі ортада жүргізіледі. Ол циан тұздарының гидролизденуінде өте әлсіз сутекцианды қышқылының түзілуімен байланысты:



Диссоциацияланбаған сутекциан қышқылының молекулалары пар түрінде оңай ұшады, ал ол өте улы зат. Тек сілтілі ортада ионға айналу нәтижесінде оның, біріншіден, әрекет тиімділігі артады, екіншіден, оның атмосфераға шығуы тоқтатылады.

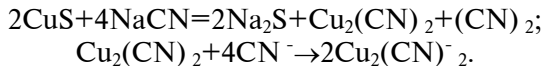
Сонымен циан тұздарын қолданғанда пульпада циан ион, комплексті циан иондары, металдар гидроксидтері, металл цианидтері ($\text{Me}(\text{CN})_2$) пайда болады. Осыған байланысты цианның басу механизмінің күрделі екенін байқауға болады. Минерал бетімен тек иондар ғана емес, олармен қатар ерімейтін металл цианидтері және гидроксидтері де коллойдтар түрінде адсорбцияланып суландыруын арттырады.

Келтірілген деректерді еске ала отырып, цианидтердің басу әрекеті механизмін былай тұжырымдауға болады:

1. Циан ионының концентрациясы жеткіліксіз болса ол минерал катиондарымен әрекеттесіп минерал бетінде ерімейтін $\text{Me}(\text{CN})_2$ қосылыстарын түзеді. Соның нәтижесінде ксантогенаттар абсорбцияланбайды.

2. Егер циан концентрациясы жеткілікті болса, ол, біріншіден минерал бетіндегі $\text{Me}(\text{CN})_2$ қосылыстарын ерітіп, берік комплексті иондар түзеді. Екіншіден, металл катиондарымен әрекеттесу нәтижесінде металл - ксантогенат қосылыстары еріп біткенше біртіндеп ыдырайды. Соның нәтижесінде минерал беті жинағыштардан тазаланады.

3. Мыс катионымен активтенген сфалерит бетіндегі ковеллин қабыршағы (CuS) ериді;



4. Пульпада пайда болатын $\text{Me}(\text{CN})_2$ және $\text{Me}(\text{OH})_2$ типті қосылыстар минерал бетіне физикалық байланыстармен адсорбцияланып оның сулануын арттырады.

Осы айтылғандардан цианның басу әрекетінде, оның концентрациясының үлкен әсері бар екенін көреміз. Оның қажетті концентрациясы ксантогенат ионының, олардың көмірсутек тізбектерінің ұзындығымен және ортаның сілтілігімен (pH) тығыз байланысты.

Цианидтердің басты кемшіліктері олардың өте улылығы және алтынды ерітіп жоғалымын көбейтетіні. Осы кемшіліктеріне қарамастан дүние жүзілік тәжірибеде полиметалды кендерді флотациялап байытуда басты реагенттердің бірі болып отыр. Ол қорғасын-мырыш кенін байытуда сфалериттің селективті басқышы, қорғасын-мыс концентратын бөлгенде мыс сульфидтерін басуға, сол сияқты мыс-мырыш кендерін байытқанда сфалериттің (әсіресе егер мыс халькопирит түрінде болса) басқышы ретінде қолданылып келеді.

§ 5. Мырыш купоросының және басқа реагенттермен оның тіркестерінің басу әрекеті

Мырыш купоросы жеке қолданылғанда бейтарапты не сілтілі ортада активтенбеген сфалериттің флотациялануын толық баспағанмен бірсыпыра төмендетеді. Зерттеушілердің тұжырымы бойынша, оның басу әрекеті минерал бетіне мырыштың коллоидты шөгінділерінің жабысуына байланысты. Мұндай шөгінділер мырыштың суда еріген көмір қышқылы және гидроксил иондарымен әрекеттесу нәтижесінде пайда болады. Шөгінділер мырыш гидроксиді, мырыш карбонаты және олардың күрделі қосылысы -мырышкарбонат түрінде болатындығы анықталған. Зерттеу нәтижесінде бұл шөгінділер басқада сульфидті минералдар беттеріне жабысатыны дәлелденген. Бірақ, сфалериттен басқаларының флотацияланулары төмендемейді. Бұл жай, шөгінділердің сфалерит бетіне берігірек жабысатынын көрсетеді. Оның бірнеше себептері бар: біріншіден, шөгінділер құрамында минералдың кристалдық торына кіретін катион (мырыш) бар; екіншіден, минерал бетінде пульпада түзілетін шөгінділерге сәйкес қосылыстар бар, демек, гидроксил және карбонат иондары пульпадағы бос мырыш катиондарымен ғана емес, минерал бетіндегі катиондармен де әрекеттеседі; үшіншіден, пульпа көлемінде және минерал бетінде түзілген қосылыстардың құрамы және құрылымдары бірдей болғандықтан олар өзара берік әрекеттеседі. Сфалериттің селективті басылуының негізгі себептері осылар.

Енді мырыш купоросының кейбір басу ерекшеліктеріне тоқтайық. Көптеген арнаулы жүргізілген зерттеулер (Л.И.Гросман, П.Г.Хаджиев) нәтижесінде мырыш купоросының басу күші оны тікелей пульпаға берген кезде ғана байқалады. Бұл жай, шөгінділер пайда болған бастапқы сәтте кристалдық қалыпқа жетпей, өте активті коллоидты түрде болған кезде минерал бетіне берік жабысатынын көрсетеді. Егер күйдіргі натр беріліп pH тез жоғарылатылса, басу әрекеті күрт төмендейді. Себебі, бұл режимде шөгінділер кристалды қалыпқа көшеді және pH=11 ден артса мырыш гидроксиді еріп кетеді. Сондай-ақ орта pH-ы гидроксид түзуге жетпесе (мөлшері pH<6), басу әрекеті байқалмайды. Гидроксид және гидрокарбонаттың ең ерігіштігі аз және тұрақты басу әрекеті pH=9÷9,5 шегінде болатындығы анықталған.

Мырыш купоросының басу әрекетінің тағы бір ерекшелігі сол, минерал бетіне шөгінділердің тек физикалық байланыспен жабысуына байланысты химиялық адсорбцияланған ксантогенатты ығыстыра алмайды. Олар жинағыш адсорбцияланбаған бос аймақтарға жабысып, минерал бетінің сулануын жоғарылатып жібереді. Демек, оның басу әрекеті төртінші механизммен сипатталады.

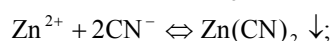
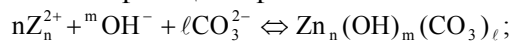
Өндірістік тәжірибеде мырыш купоросын жеке қолданғанда оның басу әрекетінің күшті болмауына байланысты басқа реагенттермен бірге қолданылады. Шөгінділер жеткілікті мөлшерде түзілу үшін мырыш купоросы әдетте сода мен бірге беріледі. Егер сілтілі орта жасауға күйдіргі натр қолданылса, сфалерит өте тар сілтілі шекте (pH=9÷9,5) басылады. Ал сілтілі орта содамен жасалса pH шегі кеңейеді (24-сурет).

*24-сурет. Сфалериттің мырыш купоросымен содалы және күйдіргі
натр орталарында рН-қа байланысты басылуы
1- Na_2CO_3 ; 2- NaOH*

Мырыш купоросының басу әрекеті бірсыпыра факторлармен байланысты. Егер рН 10,5-11 ден асса, араластыру уақыты созылса, температура жоғарыласа басу әрекеті төмендейді. Осы келтірілген факторлардың барлығы минерал бетіне жабысқан шөгінділерді азайту бағытында әсер етеді.

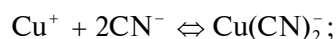
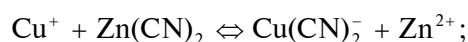
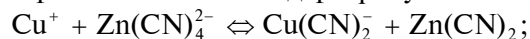
Мырыш купоросының цианидпен тіркесінің әрекеті. Полиметалды кендерді байытқанда, сфалеритпен пиритті басуға жиі қолданылатын тіркес -мырыш купорасы мен цианид.

Содалы сілтілі ортада жүретін негізгі реакциялар:



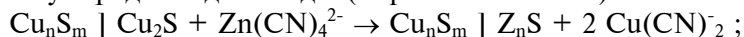
Пульпада пайда болатын компоненттердің әр қайсысының азды - көпті болуы негізінде циан ионының концентрациясына байланысты. Ол жеткіліксіз болса, $\text{Zn}(\text{CN})_2$ ерімей шөгінді түрде қалады және шөгіндінің дені мырыштың гидратты карбонат түрінде түзіледі. Егер KCN-ның ZnSO_4 -на молярлық қатынасы 4 еседен артса, цианның дені комплексті ион түріне айналады да, ал біразы бос циан ионы түрінде қалады. Тәжірибеде әдетте олардың молярлық қатынасы 3 мөлшерінде алынады.

Сфалериттің және пириттің мыс ионымен активтенбеуі, біріншіден, цианның мыс катиондарымен әрекеттесіп берік комплексті иондар түзілуімен байланысты:



екіншіден, сфалерит және пириттің бетіндегі жинағыш қосылыстары еріп, минерал беті тазаланады (бірінші механизм);

үшіншіден, мыстың туынды сульфидтері бетінің жинағыш қосылыстарынан тазаланып, оның бетінде мырыш сульфиді пайда болады (Абрамов бойынша):



төртіншіден, коллойдты шөгінділердің жабысуы нәтижесінде, минерал бетінің сулануы артады.

Келтірілген екі реагент тіркесі қорғасын және мырыш кендерін байытуда өте тиімді қолданылады. Себебі сфалеритті басу үшін реагенттердің концентрациясы жеткілікті мөлшерде болғанда галенитке еш әсері тимейді. Мыс-қорғасын-мырышты кендерді байытқанда сфалеритті басуға цианның толық жеткілікті концентрациясы қолданылса мыс сульфидтерінде әсері тие бастайды.

Қорғасын - мыс коллективті концентратын бөлуде дүние жүзілік тәжірибеде ең жиі қолданылатын бөлу әдісі - цианды технология. Бұл әдісте мыс сульфидтерінің флотациясын басу үшін циан концентрациясы сфалеритті басумен салыстырғанда көп жоғары. Бірақ бұл әдіс мыс халькопирит түрінде болғанда ғана тиімді. Егер мыс туынды сульфидтер түрінде болса (борнит, халькозин және коваллин), таза цианды процесс тиімділігі көп төмендейді. Себебі олардың цианды ортада ерігіштіктері жоғары. Қазіргі кезде құрамына мыс туынды сульфидтер түрінде кіретін қорғасын-мыс концентраттарын бөлу үшін Ю.Н.Еропкин ұсынған реагенттік режим қолданылады: цианидпен мырыш сульфаты әрекеттескенде комплексті $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ ион түзілетін стехиометриялық қатынаста алынады.

Цианидтердің улылығына байланысты оның орнына улылығы төмен реагенттер іздеу мәселесіне зерттеушілер үнемі назар аударуда. Осыған байланысты мырыш купоросының күйдіргі натрмен тіркесін жоғары сілтілі ортада қолдану ұсынылды (В.А.Конев). Оның мәні

Zn(CN)_4^{2-} комплексінде цианды OH^- ионымен ауыстыру, демек цинкат түрінде қолдану. Мырыштың гидроксиді ортаның $\text{pH} > 11$ болғанда еріп цинкатқа айналады:



В.А.Конев деректері бойынша, цинкат ионы галенит, халькопирит және пиритке еш әсер етпей, тек сфалерит бетіне адсорбцияланады. Оның сфалеритке селективті адсорбциялану механизмі төменгі pH -та мырышты шөгінділердің минерал бетіне жабысу механизміне сәйкес деп жорамалданады. Демек, цинкат ионының құрылымы мен минерал бетінде түзілетін қосылыстың құрылымдары бірдей болуы олардың өзара әрекеттесуін жеңілдетеді. Өндірісте бұл режим тұрақсыздығына байланысты қолданылмайды.

Жалпы сфалеритке құрамында мырыш бар ерімейтін шөгінділер, сол сияқты комплексті иондар басқа минералдармен салыстырғанда ерекше адсорбцияланатыны еш күмән тудырмайды. Сондай шөгінділерге мырыш купорасы мен күкіртті натрийдың тіркесін қолданғанда пульпада түзілетін мырыш сульфиді (ZnS) жатады. Оның басу әрекетіде пульпада коллоидты түрде түзілу кезінде, минерал бетіне активті жабысуымен байланысты. Осы тіркес мыс-мырыш кендерін байытатын Орал фабрикаларында жиі қолданылады.

Мырыш купорасының шығыны кен қасиетіне және реагенттік режимге байланысты 100 г/т дан 1500 г/т дейін жетеді. Онымен берге қолданылатын цианид шығыны 25-150 г/т мөлшерінде өзгереді. Ал активті қорғасын-мыс концентраттарын бөлгенде (мыс туынды сульфидтер түрінде болғанда) цианид шығыны концентраттың бір тоннасына шыққанда 1-2,5 кг.

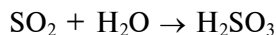
Өндірістік тәжірибеде кендердің қасиеттерінің өте өзгермеліктеріне байланысты аталған реагенттер тіркестері көбінде күрделенген түрде қолданылады. Мысалы, қандай тіркес қолданылсада көпшілік фабрикаларда күкіртті натрий бірге қолданылады. Себебі, пульпада сульфид ионның болуы сульфидті минералдардың тотығу жылдамдығын тежейді. Соның нәтижесінде сульфидтердің флотациялық қасиеттеріндегі айырмашылық белгілі дәрежеде сақталады да, реагенттердің таңдамалы әрекеті жоғарылайды.

§ 6. Сульфоксидті қосылыстар және олардың басқалармен тіркестерінің басу әрекеті

Сульфоксидті қосылыстар арнайы реагенттер ретінде қолданылмағанның өзінде сульфидті кендердің пульпасында азды-көпті үнемі болады. Олар сульфидті минерал бетінде сульфид ионның тотығып, бет қабаттың ерігіштігі артуымен байланысты суға шығып, біртіндеп тотығып, әр түрлі қосылыстарға айналады. Тотығу процесі олардың сульфат ионына айналуымен бітеді.

Реагент түрінде қолданылатын сульфоксидті қосылыстардың негізгі түрлері-күкіртті қышқыл H_2SO_3 , оның тұзы Na_2SO_3 және тиосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Осы қатарға сәйкес судағы иондары SO_3^{2-} және $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. Бұлар, күкірт атомының валенттілігі алтыдан кем болуына байланысты, тотықсыздандырғыштар болғандықтан тұрақсыз қосылыстар. Суда еріген оттектен тотығып, белгілі уақыттан кейін сульфат ионына айналады.

Бірсыпыра шет ел фабрикаларында (Япония, Германия, Канада және т.б.) пульпаға тікелей күкіртті газ (SO_2) енгізіледі. Ол сумен қосылып күкіртті қышқыл түзеді:



Күкіртті қышқыл тұрақсыздығына байланысты концентрацияланған түрде бөлініп алынбайды.

Сульфит және тиосульфат иондарының басу әрекеті олардың екі қасиетіне негізделген деуге болады: біріншіден, олар тотықсыздандырғыш ретінде пульпада оттек концентрациясын күрт төмендетіп, сульфидті минералдардың тотығуын тежейді; екіншіден, олар көптеген-металдар катиондарымен (Fe , Ni , CO , Cu , Zn , Ag , Cd , Pt , Au , Hg) комплексті иондар түзеді. Яғни, минералдар бетінде көрсетілген катиондармен әрекеттесу нәтижесінде адсорбцияланады.

Көптеген зерттеулерден олардың жеке қосылыстары ешқандай минералды толық баса алмайтындығы анықталған. Басқалармен салыстырғанда күштірек басылатын мырыш сульфиді сфалерит.

Қосылыстардың тұрақсыздығына байланысты олардың басу механизміне көптеген зерттеушілер назар аударсада әлі тұрақты көз қарастар туған жоқ.

Соңғы 30-40 жылдарда сульфоксидті қосылыстардың басқа реагенттермен тиімді тіркестері табылды.

Натрий сульфиті және темір сульфаты тіркесі сфалериттің, пириттің және галениттің тиімді басқышы. Ал мыс сульфидтерінде ол екі валентті болса (халькопирит, ковеллин) басылмайды да, бір (халькозин) не екі аралықты валентті болса (борнит) басылады. Демек, егер мыс сульфиді халькопирит түрінде болса оны сфалериттен, пириттен және галениттен бөліп алуға болады. Халькопирит тек басылмайды ғана емес, керісінше, ол өте активті флотацияланады.

Бұл тіркес N3 Лениногор байыту фабрикасында мыс-қорғасын коллективті концентратын бөлуге қолданылады. Басқа Алтай фабрикаларында бұл әдіс әр түрлі себептермен тиімді нәтиже бермеді. Реагенттік режимнің шартты жайлары:

1. Коллективті концентрат алдын ала десорбциялау процесінен өтуі қажет.

2. Реагенттер тіркесімен өңдеуде пульпаның рН-ы тек 5,6-6,0 шекте ғана болуы керек. Ол үшін қосымша күкірт қышқылы қолданылады.

3. Пульпаның температурасы 25-28⁰С шекте болуы қажет. Мысалы, ол 20⁰С -тан төмендесе бөлу тиімділігі төмендейді.

4. Мыстың негізі (85-90 %) халькопирит түрінде болғанда ғана қанағаттандыруарлық технологиялық көрсеткіштер алынады.

Бұл тіркестің әрекет механизмі туралы авторлардың көз қарастары әр түрлі. К.Г.Бакинов реагенттердің басқыш әрекеттері минерал беттеріне олардың өзара әрекеттесуінен пайда болатын шөгінділердің жабысуымен байланысты деп тұжырымдаса, В.А.Конев минерал бетіне дисульфатоферритті не сульфитосульфатоферритті комплексті иондардың адсорбциялануының нәтижесі деп қорытындылайды. Демек, олардың әрекет механизмі туралы толық дәлелді қорытындылар жоқ. Оған басты себеп-сульфоксидті қосылыстардың тұрақсыздығынан дәл деректер алудың қиындығы.

Реагенттердің әрқайсысының шығыны коллективті концентраттың бір тоннасына шаққанда 2-3 кг.

Натрий сульфиті және мырыш купорасы тіркесі мыс-мырыш-пиритті кендерді байытуда жиі қолданылады. Бұл тіркестің сфалеритті басу күші цианидтен әлсіздеу. Бірақ кенде мыс цианидте оңайырақ еритін минералдар түрінде болғанда (борнит, халькозин, ковеллин, карбонатты тотықтар) сфалеритті натрий сульфиті және мырыш купорасы тіркесімен басу тиімдірек. Көпшілік жағдайларда осы реагенттер тіркесіне қосымша күкіртті натрий қосылса процестің тұрақтылығы артатыны анықталған.

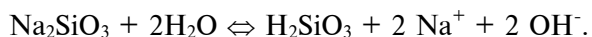
Сфалерит және пиритті басуда күшті әрекетті тіркес натрий сульфитінің, мырыш купоросының және цианидтің араласы. Тіркестің әрекет механизмі өте күрделі, жалпы жоғарыда келтірілген процестердің жиынтығынан тұрады деуге болады.

Натрий сульфитінің мыс купоросымен тіркесінің ерекшелігі сол, ол молибдениттен басқа барлық сульфидті минералдардың басқышы. Сондықтан бұл тіркес мыс-молибденді коллективті концентратты бөлуге ұсынылған. Бұл тіркестінде басу әрекет механизмі туралы айқын қорытындылар жоқ.

Дүние жүзілік өндірістік тәжірибеде келтірілген тіркестерден басқа олардың көптеген комбинациялары қолданылады. Бірсыпыра фабрикаларда тіркес құрамдарына хром тұздары, калий перманганаты, крахмал және т.б. кіреді. Жапонияның көптеген байыту фабрикаларында натрий сульфитінің орнына пульпаға тікелей күкіртті газ (SO₂) енгізіледі. Бұл варианттың тиімділігі, біріншіден, қымбат тұратын натрий сульфиті орнына өте арзан газ қолданылады; екіншіден, бейтарапты не әлсіз қышқылды (рН = 5,5-6,5) орта қажет болғанда қосымша күкірт қышқылын қосудың қажеті жоқ. Себебі күкіртті газ суда күкіртті қышқылын түзіп ортаның сілтілігін төмендетеді.

§ 7. Сұйық шынының басу әрекеті

Сұйық шыны деп натрий силикатының (Na₂SiO₃) сулы ертіндісін атайды. Натрий силикаты күшті негізбен әлсіз қышқылдың тұзы болғандықтан оның сумен әрекеттесуінде сілтілі орта түзіледі:



Кремний қышқылы (H_2SiO_3) өте әлсіз қышқыл. Сондықтан оның иондарға диссоциациялануы өте жоғары сілтілі ортада ғана жүреді. Демек, оның негізі молекула не олардың бірігуінен туатын мицелла түрінде қалады.

Сұйық шынының жалпы формуласының түрі $\text{R}_2\text{O} \cdot x \cdot m\text{SiO}_2$, мұнда R_2O - Na_2O немесе K_2O , ал m -сұйық шыны модулі. Ол сілтілі тотықтардың бір молекуласына неше кремнезем молекуласы келетінін көрсетеді. Әдетте $m = 2-4,5$. Модуль сұйық шыны әрекетіне бірсыпыра әсерін тигізеді: ол неғұрлым төмен болса, оның ерітіндісінің сілтілігі жоғарылайды да, басу әрекеті төмендейді. Модуль 3-тен жоғарыласа сұйық шынының еруі қиындайды және кремний қышқылының гелі ірілене бастайды.

Сұйық шынының ерітіндісінің құрамы (H_2SiO_3 , HSiO_3^- , HSiO_3^{2-} , OH^-) және кремний қышқылының мицеллаларының ірілігі ортаның рН-на, концентрациясына және оны дайындағаннан кейін сақталу уақытына байланысты өзгереді. Жалпы оның әрекетін тұрақтандыру үшін дайындау процесі бір қалыпты жағдайда жүргізілуі қажет.

Сұйық шыны жиі қолданылатын реагенттің бірі. Тотықты кендерді флотациялауда ол қажетті реагенттің бір, ал сульфидті кендерді флотациялағанда да кеннің бос жыныс минералдарының құрамына қарай кейде қажетті реагентке айналады. Ол негізінде кварцтың және силикатты минералдардың басқышы.

Оның басқыш реагенті ретінде таңдамалы адсорбциялануы шығыны жоғары болмағанда ғана орын алады. Ал шығыны мөлшерден тыс жоғары болса (мысалы 1,0-1,5 кг/т) барлық минералдарға жабысып, олардың флотациялануын төмендетеді. Оның таңдамалылығын арттыруға шығынынан басқа әсер ететін факторлар: соданың және жинағыш реагенттердің шығыны, температураны жоғарылату және қосымша поливалентті металдардың тұздарын қолдану, пульпаны алдын ала қышқылдармен өңдеу.

Өндірістік тәжірибеде елеулі роль атқарған, Н.С.Петров ұсынған оның таңдамалылығын арттыру әдісі болды. Ол әдіс шеелит-кальцитті ($\text{CaWO}_4\text{-CaCO}_3$) коллективті концентратты бөлуге қолданылады. Екі минералдың катиондары бірдей және құрамдарында силикатты топ болмаса да ұсынылған әдіс тиімді нәтиже берді. Кеннен алдымен карбоксильды жинағышпен коллективті концентрат алынады. Ол қойылдырылып $60-80^\circ\text{C}$ температурада 30-60 мин шығыны 8-15 кг (1 т концентратқа шаққанда) сұйық шынымен өңделеді. Осыдан кейін концентратты қайта флотациялағанда шеелит (CaWO_4) флотациялану қасиетін сақтап көбікті өнімге шығады да, ал кальцит камералық өнім түрінде қалады. Зерттеу нәтижесінде сұйық шыны кальцит бетінен олеин қышқылын десорбциялайтыны анықталған.

Сұйық шынының минерал бетіне әрекет механизмі жеткілікті айқын емес. Оған себеп, оның құрамының дайындау кезінде ғана емес, сонымен қатар уақыт өткен сайын біртіндеп өзгеруі дәл деректер алуға мүмкіндік бермейді. Оның әрекет механизмі туралы жалпы жорамалдар төмендегідей:

HSiO_3^- , SiO_3^{2-} және OH^- иондар минерал бетінен жинағыш иондарын ығыстырады (екінші механизм). Бұл әрекет тек жоғары сілтілі ортада ғана орын алады;

силикатты иондар жинағыш иондарымен қатарлас адсорбцияланып, беттің сулануын күшейтеді (үшінші механизм);

кремний қышқылының сулы коллоидты мицеллалары жабысу нәтижесінде минералдың сулануы күшейеді (төртінші механизм).

кремний қышқылының өте әлсіз екенін еске алсақ, сұйық шынының негізгі әрекеті төртінші механизмге көбірек сәйкес деуге болады. Оған дәлел ретінде оның көптеген минералдарға жабысуын және минерал бетінен оңай десорбциялануын (пульпаны сұйылдыру не шаю арқылы) келтіруге болады.

Сұйық шынының орташа шығыны 100-500 г/т.

§ 8. Хром тұздарының (K_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) басу әрекеті

Хроматтар (K_2CrO_4) және бихроматтар ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) галенитті сульфидрильді жинағыштармен флотациялағанда оның басқышы ретінде қолданылады.

Сулы ортада хроматпен бихромат қозғалмалы тепе-теңдікте болады:



Хромат иондары минерал бетінен адсорбцияланған жинағыштарды ығыстырып шығармайды, тек жинағыштан бос аймақтарда минерал бетіндегі сульфоксидті, карбонатты және сульфат иондарымен алмасу арқылы адсорбцияланады. Осының нәтижесінде оның суландыру әрекеті жинағыштың сусыздандыруынан басым болып, галенит флотацияланбайды.

Хром тұздарының басу әрекеті мыс-қорғасын коллективті концентратын бөлуде падаланылады. Бірақ бұл әдістің тиімділігі егер мыс халькопирит түрінде болғанда ғана байқалады. Егер мыс туынды сульфидтер түрінде болса, олардың ерігіштік қасиеттеріне байланысты пульпада мыс катиондары пайда болады да, галенит бетіне адсорбцияланады. Соның нәтижесінде хромат иондарының адсорбциялануы күрт азайып, басу әрекеті төмендейді. Көпшілік мыс-қорғасын кендерінде мыс халькопиритпен қатар азды-көпті үнемі туынды сульфидтер түрінде кездесетіндіктен хром тұздары жеке сирек қолданылады.

Хром тұздары минерал бетіне тек адсорбциялану арқылы ғана әсер етпейді, сонымен қатар тотықтырғыш ретінде де әрекет етеді. Галениттің тотығуы $pH < 10,5-11$, ал халькопириттің тотығуы $pH < 6 \div 8$ де интенсивті жүреді.

Сонымен бұл басқыштардың үлкен кемшілігі- мыс-қорғасын концентратында мыс тек халькопирит түрінде болғанда ғана қолдануға болатындығы. Шет елдер байыту фабрикаларында хром тұздарын әр түрлі басқа реагенттермен бірге қолдану жиірек кездеседі.

§9. Органикалық басқыштар

Органикалық басқыштар ретінде ең бірінші рет крахмал, декстрин, квебрахо типтес жоғары молекулалы заттар қолданыла бастады. Олардың құрамында гидрофобты көмірсутек радикалдары болмайды, бірақ су молекулаларымен берік байланыста болатын көптеген қасиетті полярлы топтар бар.

Полярлы топтар түрлеріне қарай органикалық басқыштар 4 топқа бөлінеді:

ионогенсіз басқыштар, полярлы топтары ионданбайтын гидроксидтен- OH , кетон $=C=O$ және альдегид - COH тотықтарынан тұрады (крахмал және басқалары);

ионогенді анионды басқыштар, полярлы топтары анионды полярлы топтардан $-COOH$, $-SO_3H$, $-OSO_3H$ тұрады (карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) лигносульфонаты және басқалары);

ионогенді катионды басқыштар; полярлы топтары- NH_2 , $=NH$ -тан тұрады (поливиниламин, хиптозан және басқалары);

ионогенді амфотерлі басқыштар, құрамдарына анионды және катионды полярлы топтар кіреді (гидролизденген полиакриламид, казеин және басқалары). Бұлар сілтілі ортада анионды, ал қышқылды ортада катионды басқыштар ретінде қолданылады.

Бұлардың ішінде өндірістік тәжірибеде негізінде ионогенсіз және ионогенді анионды басқыштар қолдану тапты.

Зерттеу нәтижелерінде әр түрлі полярлі бір топтың 2-4 су молекуласымен берік байланысатыны анықталған.

Ионогенсіз анионды басқыштар ішінен жиірек қолданылатындары крахмал мен декстрин. Олар сульфидті флотацияда табиғи аз суланатын силикаттарды (слюдалар, тальк және басқалары) басуға, мыс-молибден кендерін байытқанда молибденитті басуға, кей кендерді байытқанда халькопирит, сфалерит, галенитті басуға қолданылады. Жалпы айта кететін жай, олардың шығыны жоғары болса минералдарға таңдамай жабысып, кез келген минералдардың флото активтілігін күрт төмендетеді.

Ионогенді анионды басқыштардан жиірек қолданылатындары КМЦ, сульфатты және сульфонатты целлюлозалар. Бұлар өндірістік тәжірибеде мыс-никель кендерін байытқанда табиғи гидрофобты силикаттарды -тальк, серицит, хлорит (слюда тобы және басқаларын) басуға кеңінен қолданылады. Флюорит кенін байытуда кальцит және баритті таңдамалы басуға сульфитцеллюлоза экстракты (СЦЭ) қолданылады. Лигнинсульфонды қышқылдар фторлы натриймен бірге сподумен-берилді кенді байытқанда қолдану тапты.

Органикалық басқыштардың әрекет механизмі толық зерттелген жоқ. Сондықтан олардың әрекеті туралы негізгі жорамалдар төмендегідей:

1. Олардың флотацияны басу әрекеті минералдар бетіне адсорбциялануларымен байланысты, бірақ жинағыш реагенттерді ығыстырып шығармайды.

2. Минерал бетінің сулануы басқыштардың молекулаларының көмірсутек радикалдарының размерлерінен үлкен болуларына байланысты, олардың сусыздандыру әрекетінен анағұрлым басым келеді.

3. Ионогенсіз органикалық басқыштардың минерал бетіне адсорбцияланулары сутек байланысы арқылы жүзеге асады. Осындай байланыс түрімен минерал бетімен көптеген полярлы топтар әрекеттесулері нәтижесінде молекулалардың байланыс беріктігі көп жоғарылайды. Бұл жайға дәлел, минерал бетінен олардың десорбцияланулары ыстық сумен шайғанда да нашар жүреді. Мұндай әрекет механизмінің схематикалық түрі (25-суретте) келтірілген.

25-сурет. Кварц бетінде крахмалдың адсорбциялану түрлері.

Анионды басқыштар минерал бетімен тек сутек байланысымен ғана емес, онымен қатар карбоксильді және сульфид топтарының минералдар бетіндегі катиондармен химиялық байланыстармен де әрекеттесе алады да, байланыс өте берік болады. Химиялық байланыстың болуы қызылқұлгінді спектроскопиялық әдіспен де анықталған. Осы жолмен адсорбциялану схемасы (26-суретте) келтірілген.

26-сурет. Гематит бетіне карбоксиметилцеллюлозаның адсорбциялану схемалары.

Катионды басқыштар минералдар бетімен әлсіз байланысады. Оған дәлел, тек шаю арқылы олардың оңай десорбциялануы. Минералдар бетімен тікелей байланысқан бөлігі ғана шайылмай қалады.

4. Органикалық басқыштармен минералдар жинағыштарға дейін өңделсе, онда жинағыштардың адсорбцияланулары күрт төмендейді.

Қорыта айтсақ, органикалық басқыштардың әрекеттері 3 және 4 механизм арқылы жүреді.

§ 10. Басқыштардың кейбір басқа түрлері

Келтірілген басқыштардан басқа, зерттеу нәтижелерінде, бірсыпыра қосылыстардың басқыш әрекеттері анықталған.

Фосфатты басқыштар - үш натрийлы фосфат Na_3PO_4 , үш полифосфат $\text{Na}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$, гексаметафосфат $(\text{NaPO}_3)_6$, натрий пирогосфаты $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, бетінде жергілікті металдар катиондары бар минералдарды басуға болатындығы анықталған. Олармен қатар фосфаттар галениттің флотациялануын белгілі жағдайда төмендетеді, ал мыс минералдарына әсер етпейді.

Ферри- және ферроцианидтер $-\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ және $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ - мыстың туынды сульфидтерінің (халькозин, борнит) басқыштары болатындығы айқындалған. Олар минералдар беттерінен жинағыштарды ығыстырмайды, тек беттің олардан бос аймақтарына адсорбцияланулары арқылы сулануды күшейтеді.

Бұл реагенттердің басу әрекетінің екінші түрі-пульпадағы ауыр металдар катиондарымен әрекеттесіп, коллоидты шөгінділер жасап, олардың минералдар бетіне жабысу арқылы суландырулары. Олардың берік жабысуларының бір шарты - коллоидты шөгінді құрылымының минерал бетінің құрылымына сәйкес келуі. Мысалы, бұл шөгінділер мыс катиондарымен активтенген сфалеритке жабыспайды да, басу әсерін тигізбейді. Бұл деректерден ферро - және феррицианидтердің тек белгілі жағдайда ғана, демек мыс халькозин және борнит түрінде болғанда ғана қолданылатынын көрсетті.

Құрамдарында минералдардың кристалдық торларында бар иондар мен аттас иондары бар электролиттер әрекеті. Осы тарауда сульфид ионының сульфидті минералдар үшін күшті басқыш екені қаралды. Оның осы әрекетті минерал бетінде берік адсорбциялануымен байланысты. Оның басты себебі ол сульфидті

минералдың меншікті ионы болуы, демек оның барлық параметрлерінде (иондық радиусы, валенттігі) ешқандай айырмашылық жоқ. Неғұрлым сульфидтің ерігіштігі аз болса, демек кристалдық тор энергиясы жоғары болса сульфид ионның адсорбциялану беріктігіде жоғары болады. Осы қағидаға байланысты басқа бірсыпыра қосылыстардың әрекетін мысал ретінде келтіруге болады. Сульфид ион сияқты иондарды потенциал анықтайтын иондар деп атайды. Себебі олар адсорбцияланғанда минерал беті сол ионның таңбасымен зарядталады да, жинағыш реагенттің адсорбциялануы күрт төмендейді. Екінші мысал ретінде сульфат ионының

(SO_4^{2-}) баритке (BaSO_4) әсерін келтіруге болады. Жинағыш ионы барит бетінде сульфат ионымен алмасып, барий катионымен әрекеттеседі. Егер пульпада сульфат ионының концентрациясы жеткілікті мөлшерде болса, бариттің бет қабатында жинағыш ионының сульфат ионымен алмасуы қиындайды да, флотациялануы басылады. Тәжірибелермен құрамында сульфат иондары бар электролиттердің (натрий және калий сульфаты, күкірт қышылы) барит, целестин, англезит сияқты сульфатты минералдар үшін басқыш ролін атқаратыны анықталған.

Келесі мысал ретінде фосфор қышқылының фосфорит минералына әрекетін келтіруге болады. Ортаның қышқылдығы $\text{pH}=5,0$ мөлшерінде фосфориттің флотациялануы басылады. Бұл процесс фосфорит кенін флотациялап байытуда Кара-Тау байыту фабрикасында қолданылады.

Өндірістік тәжірибеде бірсыпыра кендерді флотациялауда фторлысутек қышқылы (HF) қолданылатыны жоғарғы параграфтарда келтірілді. Келтіріліп отырған қағида бойынша ол флюориттің (CaF_2) басқышы бола алады.

Жалпы мұндай электролиттерді басқада реагенттермен тіркес қолдану арқылы процестің тиімділігін арттыруға болатындығы байқалады.

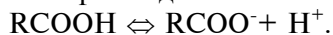
VI ТАРАУ.

ОРТАНЫ РЕТТЕГІШТЕРДІҢ ФЛОТАЦИЯЛАУ ПРОЦЕСІНДЕГІ РОЛЬДЕРІ

§ 1. Ортаның сілтілігі мен қышқылдығын реттеудің қажеті.

Ортаны реттегіштердің ең маңызды ролі қолданылатын реагенттердің ионды-молекулалы құрамын реттеу. Әр класқа жататын реагенттердің активтілігі олардың не ионды, не молекулалы түрде болуына байланысты. Барлық дерлік ионогенді жинағыштардың, басқыштардың және активтендіргіштердің активті формасы иондар, ал көбіктендіргіштер тек молекулалы түрде болуы қажет. Реагенттердің қажетті формада болуы ортаның сілтілігіне не қышқылдығына байланысты.

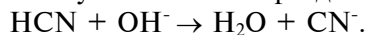
Сульфидті және тотықты кендердің көпшілігін флотациялап байыту сілтілі ортада жүргізіледі. Оның негізгі себебі қолданылатын жинағыштармен басқыштардан көпшілігі тек сілтілі ортада ғана ионды формаға айналуы, мысалы карбоксильді жинағыштар (майлы қышқылдар) әлсіз қышқылдар, бейтарапты ортада негізгі массасы молекулалар түрінде қалады. Сондықтан тәжірибеде олар тек $\text{pH} = 9 \div 10$ мөлшерінде қолданылады. Сонда ғана молекулалардың диссоциациялануы жоғарылайды:



Цианидтер тұздары гидролизденгенде өте әлсіз цианды сутек қышқылы түзіледі:



Оның иондарға диссоциациялануы тек сілтілі ортада ғана жүреді:



Басқада көптеген реагенттердің (күкіртті натрий, сұйық шыны және басқалары) негізгі массасы тік сілтілі ортада ғана иондарға айналады. Керісінше, кейбір катионды жинағыштар үшін қышқылды орта ($\text{pH} = 4-6$) қолданылады.

Ортаның қажетті сілтілік деңгейі әр реагент үшін әр түрлі. Ол олардың молекулаларының құрамдарындағы иондардың өзара байланысына байланысты. Тәжірибеде бірнеше реагенттер қатар қолданылады. Олардың қасиеттері әр түрлі болғанмен тиімді pH

деңгейі тәжірибелер жүргізу арқылы анықталады. рН деңгейі неғұрлым дұрыс табылса, реагенттердің қажетті шығыныда азаяды.

Бірнеше бағалы затты кендерді байытқанда технологиялық схема бірнеше циклдерден тұрады. Әр циклде қолданылатын реагенттердің қасиеттеріне қарай ортаның сілтілігіде өзгертіліп отырады.

Ортаны реттегіштер ретінде құны төмен реагенттер қолданылады. Сілтілі орта жасауда ең жиі қолданылатындар сода және ақ кіріш. Қышқылды орта жасауға ең арзан қышқыл күкірт қышқылы қолданылады. Олардың шығыны қажетті рН деңгейімен анықталады.

§ 2. Пульпаның ионды құрамын реттеу

Пульпаның ионды құрамы флотациялауда пайдаланылатын реагенттерден басқа қолданылатын су ішіндегі иондармен және минералдардың азды-көпті еруінен суға шығатын иондармен байланысты белгілі шекте өзгеріп отырады. Олардың барлығы дерлік флотация процесіне азды-көпті әсерін тигізеді. Ең жағымсыз әсер ететіндері жинағыш реагенттермен әрекеттесіп, олардың шығындарын жоғарылататындар, басуға қажетті минералдарға адсорбцияланып активтендірушілер және, керісінше, флотациялауға жататын минералдарға адсорбцияланып оларды басатындар. Осындай иондарға негізінде металдар катиондары жатады. Олардың флотация процесіне әсері жоғарыда келтірілген параграфтарда қаралды.

Көптеген ауыр металдар катиондары сілтілі ортада гидроксил иондарымен әрекеттесіп, ерімейтін шөгіндіге айналады. Соның нәтижесінде жинағыштармен әрекеттеспейді де, олардың шығындарын арттырмайды, минералдар беттеріне адсорбцияланулары төмендеп оларды активтендірмейді. Сол сияқты, жоғары сілтілі ортада жерсілтілі металдар катиондары ерігіштігі аз қосылыстарға айналады.

Бірсырыра кендерді флотациялауда ортаның сілтілігі кен құрамына байланысты арнаулы реттегіш реагенттерсіз табиғи түрде жасалады. Мұндай кендерге құрамында бос жыныс минералдары негізінде кальциттен, магнезиттен және доломиттен тұратын кендер жатады.

Сонымен, сілтілі ортада пульпаның бастапқы күрделі ионды құрамы қарапайымдалып флотациялау көрсеткіштері жоғарылайды.

§ 3. Гидроксил және сутек иондарының әрекеті

Гидроксил және сутек иондарының флотациялау процесіне бірнеше бағытта әсер ететіні жоғарғы параграфтарда қаралды.

Гидроксил иондары тек ортаның сілтілігін өзгертуі арқылы ғана емес, сонымен қатар, егер концентрациясы белгілі мөлшерден асса, анионды жинағыштарды минерал бетінен ығыстырып басқыш реагентіне айналады. Егер сілті ретінде ақкіріш $\text{Ca}(\text{OH})_2$ қолданылса, ол темір сульфидтерінің күшті басқышы ролін атқарады.

Сутек ионы, керісінше, минерал бетінде түзілетін металл гидроксидті қосындыларын еріту арқылы жинағыш реагенттерінің адсорбциялануына мүмкіншілік тудырады, демек активтендіргіш ролін атқарады. Сілтілі ортада басылған пиритті флотациялау алдында активтендіру осы процеске негізделген.

Кварц, силикаттар және гидрототықты минералдар үшін, H^+ және OH^- иондары потенциал анықтайтын иондарға жатады. Олардың адсорбцияланулары аталған минералдардың флотациялануларының өзгеруіне пульпа рН-ның әсері өте жоғары.

Гидроксил иондарының көзі ретінде және пириттің басқышы ретінде мыс- пиритті және мыс-мырышты кендерін флотациялауда ең көп тараған, құны төмен реагент ақ кіріш. Кенде пириттің проценттік үлесіне қарай оның шығыны үлкен шекте өзгереді (1-3 кг/т), ал тұтас мыс-мырышты-пиритті кендерді флотациялағанда 10 кг/т-дан артып кетеді.

§ 4. Реагенттердің коагуляциялау және пептизациялау әрекеттері

Флотациялау процесіне шламды түйіршіктер әр қилы әсерін тигізеді. Кен қасиетіне байланысты бағалы минералдарда және бос жыныс минералдарыда белгілі мөлшерде шламға айналады.

Шламды заттың қай түрі болсада флотациялау тиімділігін төмендетеді. Оның негізгі себебі олардың ірі түйіршіктердің бетіне жабысуы. Бос жыныс минералдарының шламы флотацияланатын ірі бағалы зат түйіршіктерінің бетіне жабысуы нәтижесінде бет сулануы жоғарылап, олардың ауа көпіршіктерімен соқтығысуында гидратты су қабатының бұзылуы қиындайды. Бағалы минералдың ірі түйіршігіне гидрофобты шламды зат (бағалы минералдардың шламы) жабысқанда, ауа көпіршіктерімен соқтығысу нәтижесінде ірі түйіршіктерден ажырасады, демек ақырғылар флотацияланбай қалады. Осы құбылыс шламды заттардың пульпада коагуляциялануы (іріленуі) не пептизациялануына (іріленбей шашыранды түрде қалуы) байланысты. Флотация процесінің тиімділігі тұрғысынан қарасақ, бағалы минералдардың шламдарының коагуляцияланып (іріленіп), ауа көпіршіктеріне солардан тұратын агрегаттардың жеке жабысуы қажет. Олардың коагуляцияланулары жинағыш реагенттердің және бет зарядтарын төмендететін электролиттердің әрекетімен байланысты.

Бос жыныс минералдарының шламдары неғұрлым пептизацияланған түрде қалса, соғұрлым олардың флотацияға тигізетін әрекеті төмендейді. Сол жағдайға келтірудің басты жолы олардың беттерінің сулануын күшейту, соның нәтижесінде ірі түйіршіктермен коагуляцияланулары төмендейді.

Осы мақсатпен көбінде сұйық шыны, күкіртті натрий және т.б. қолданылады, демек пептизаторлар ролін басқыш реагенттер атқарады.

Жалпы қазіргі кезде таңдамалы әрекетті арнайы коагуляторлар және пептизаторлар жоқ. Флотациялық пульпада қолданылатын реагенттер тіркестері әрекетімен коагуляция және пептизация процестері жүйесіз жүріп жатады. Осыған байланысты келешекте таңдамалы әрекетті коагуляторлар және пептизаторлар табудың айтарлықтай маңызы бар. Әсіресе бағалы минералдар шламдарын таңдамалы біріктірудің маңызы зор. Себебі қазіргі кезде қолданылатын технологиялардан алынатын қалдықтардағы жоғалымдардың негізі шламды фракциялардың үлесіне тиеді. Мысалы, түсті металдар кендерін байытуда $-5 + 0$ мм ірілік класындағы бағалы зат түгел жоғалады деуге болады.

ҮШІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯЛАУДА АУА КӨПІРШІКТЕРІНІҢ МИНЕРАЛДАНУЫ

1-ТАРАУ

Минералдардың көпіршіктерге жабысуы

§ 1. Минералдар түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысу мүмкіншілігін термодинамикалық талдау

Флотациялап байыту процесінің негізгі акты минерал түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысуы. Бір түйіршіктің бір көпіршікке жабысуын флотацияның элементарлы акты деп атайды.

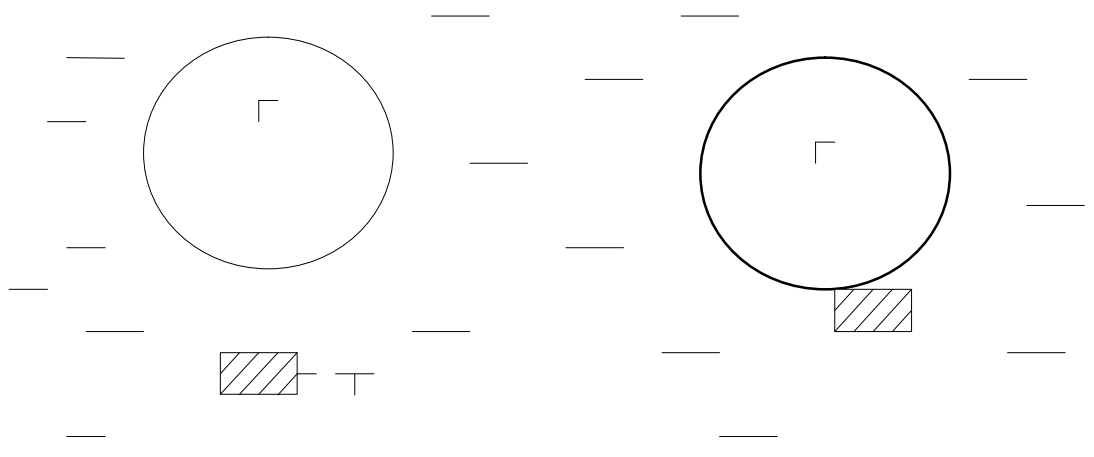
Минерал түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысуы олардың пульпада соқтығысуларының нәтижесінде, не түйіршіктер бетінде суда еріген газ молекулаларының жиналып көпіршікке айналу нәтижесінде іске асады. Осы процестің жүруі термодинамикалық және кинетикалық тұрғыдан қаралып зерттеледі. Термодинамикалық әдіс процестің жүру не жүрмеу мүмкіндігін айқындайды. Процестің жүру механизмі, оның қарапайымдылығы не күрделілігі, жылдамдығы тек кинетикалық тұрғыдан қаралып қана анықталады. Осыған байланысты процесті зерттеу, оның тиімділігін арттыру жолдары, заңдылықтарын табу және тағы басқадай көптеген мәселелерді шешу үшін кинетикалық зерттеу әдістері қолданылады.

Әдетте кез келген зерттеу процестің жүру не жүрмеу мүмкіншілігін айқындаудан басталады, демек термодинамикалық талдау жүргізіледі.

Термодинамикалық талдау оның екінші заңына негізделген: кез келген процесс өздігінен тек жүйенің бос энергиясы азаятын болса ғана жүреді. Демек, флотацияның элементарлы акты түйіршіктің ауа көпіршігіне жабысқаннан кейінгі жүйенің бос энергиясы жабысқанға дейінгі бос энергиясынан аз болса ғана іске асады. Осыған байланысты жүйенің бос энергиясы есептеледі.

Минерал түйіршігінің көпіршікке соқтығысу нәтижесінде жабысуын термодинамикалық талдау.

Түйіршіктің көпіршікке жабысуға дейінгі және жабысқаннан кейінгі көрінісі (27-суретте) көрсетілген



27-сурет. Флотациялық жүйеде түйіршіктің көпіршікке жабыспаған және жабысқаннан кейінгі көрінісі

Жүйенің түйіршіктің жабысқанға дейінгі бос энергиясы:

$$E_1 = S_{c-г} G_{c-г} + S_{к-с} G_{к-с},$$

мұнда $S_{c-г}$ және $S_{к-с}$ - сумен газдың және қатты затпен судың шекаралық бет аудандары;
 $G_{c-г}$ $G_{к-с}$ - шекаралықтардағы бет энергиялары.

Түйіршіктің көпіршікке жабысқаннан кейінгі жүйенің бос энергиясы /жабысу ауданы 1 см² деп алынған/:

$$E_2 = (S_{c-г} - 1) G_{c-г} + G_{к-г} \cdot 1 + (S_{к-с} - 1) G_{к-с}$$

Жабысу процесінен кейін жүйенің бос энергиясының азаю шарты

$$\Delta E = E_1 - E_2 = G_{c-г} + G_{к-с} - G_{к-г} > 0$$

не болмаса

$$\Delta E = G_{c-г} + G_{к-с} > G_{к-г}.$$

Бұл өрнек есептеуге қолдануға келмейді. Себебі $G_{к-г}$ өлшеу әдісі жоқ. Сондықтан оны шеткі сулану бұрышын есептеуге табылған белгілі өрнектен $G_{к-г} = G_{c-г} \cdot \cos \theta$ тауып жоғарғы өрнекке қойсақ ΔE :

$$\Delta E = G_{c-г} (1 - \cos \theta)$$

$G_{c-г}$ және θ дәл өлшеніледі. Бұл қатынасты жабысу ауданы 1 см² болғанда қолдануға болады. ΔE жүйенің бос энергиясының элементарлы акт нәтижесінде өзгеруін көрсетеді. Оны флотациялану көрсеткіші деп те атайды.

Жоғарыдағы қатынастан неғұрлым шеткі сулану бұрышы үлкен болса, соғұрлым флотациялау көрсеткіші жоғары болатындығы көрінеді. Сонымен қатар, жүйенің бос

энергиясының азаюы $G_{C-г}$ азайған сайын төмендей беретіні көрінеді. $G_{C-г}$ көбіктендіргіш реагентінің әсерімен төмендейтіні белгілі, бірақ соған қарамастан олардың әсерімен флотациялық процестің активтілігі артады. Бұл құбылыстың мәні мынада: флотациялауда қолданылатын көпіршіктер концентрацияларына сай $G_{C-г}$ тек 1-3 дин/см мөлшерінде ғана өзгереді, ал оның есесіне ауа көпіршіктері күрт көбейеді, олардың диаметрлері кішірейеді, тұрақтылықтары артады және көбікті қабаттың қажетті қасиеттері сақталады.

Минерал түйіршігі бетінде суда еріген газдың бөлініп көпіршік жасау ықтималдығын термодинамикалық талдау.

флотациялану машиналарында аэродинамикалық режимге байланысты пульпаның әр аймағында қысым әр түрлі өзгереді: қысым өскен жерде ауаның суда еруі артады (Генри заңына сәйкес), ал қысым төмендеген жерде еріген ауа молекулаларының бірігуімен көпіршік түрінде бөлінеді.

Ауа молекулаларының бірігуі су көлемінде де, қатты зат бетінде де жүруі мүмкін. Термодинамикалық талдау осы процестің қатты зат бетінде жүруі су көлемінде жүруден энергетикалық тиімділігі жоғары екенін көрсетеді.

Пайда болған көпіршік бетінің бос бет энергиясы болады, ал ол үшін белгілі мөлшерде жұмыс шығындалады (W_1). Ол шығын төмендегілерден құралады:

$$W_1 = W_a + W_6 + W_B,$$

мұнда W_a фазалардың шекаралық пайда болған бет аудандарын жасауға жұмсалған жұмыс;

W_6 - судың тұтастығын бұзып, қуыс жасауға жұмсалған жұмыс;

W_B - қуыс ішін су буымен толтыруға жұмсалған жұмыс.

Гидродинамикалық заңдылықтарға сәйкес олар төмендегі формулалармен анықталады:

$$W_a = 4\pi R^2 G_{C-2}; W_6 = \frac{4}{3} \pi R^3 p; W_B = - \frac{4}{3} \pi R^3 P_\delta,$$

бұларда R -көпіршік радиусы;

P -көпіршік ішіндегі қысым;

P_δ - көпіршік ішіндегі будың серпімділігі.

Бұлардың қосындысынан төмендегі өрнек шығады:

$$W_1 = 4\pi R^2 [G_{C-г} - \frac{R}{3}(P_\delta - P)]$$

Егер көпіршік ауа молекулаларының қатты зат бетінде жиналуынан пайда болса, онда оған жұмсалатын жұмыс мөлшері (W_2) төмендегідей анықталады:

$$W_2 = S_г G_{C-г} + S_2 G_{K-г} = S_1 G_{K-C} + W_6 + W_B,$$

мұнда S_1 - көпіршікпен қатты заттың түйіскен шекаралық ауданы;

S_2 - көпіршіктің су мен шектескен бет ауданы.

W_6 және W_B шамаларының өте аздығына байланысты оларды еске алмасақ W_1 мен W_2 - нің ара қатынасы өрнегі математикалық өңдеуден кейін мына түрде шығады:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}{\sqrt[3]{3 \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2} + 1}}$$

Осы өрнек негізінде сулану бұрышының шамасына байланысты есептелген W_1 / W_2 қатынасы (28-суретте) көрсетілген.

$$\frac{W_1}{W^2} \quad 1,9$$

Шеттік сулану бұрышы

28-сурет. $W_1 : W_2$ қатынасының шеттік сулану бұрышына тәуелділігі.

Суреттен $W_1 : W_2$ тек бірден жоғары болатындығы көрінеді. Бұл жай ауа көпіршігінің қатты зат бетінде пайда болуына оның су көлемінде пайда болуынан аз энергия кететінін көрсетеді. Сонымен қатар, неғұрлым минерал бетінің сулануы төмен болса, соғұрлым ол бетте ауа көпіршігінің пайда болуы оңайлайды. Оған қарапайым тәжірибе жүргізу арқылы көз жеткізуге болады. Ыдыстағы су ішіне біреуі жинағышпен өңделген, екіншісі өңделмеген бір минералдың екі кесегін орналастырып, су үстіндегі ауа сорылса, жинағышпен өңделген кесек бетінде бірден ауа көпіршігі пайда болады.

Ауа молекулаларының қатты зат бетінде оңайырақ пайда болуы олардың су молекулаларымен және кристалдық тор бетімен байланыс күштерінің айырмашылықтарына негізделген. Су молекулалары мен ауа молекулалары арасындағы байланыс, кейінгілердің кристалдық тор бетімен байланысу күшінен көп төмен. Сондықтан минерал бетінің бірлікті ауданында ауа молекулаларының концентрациясы су көлеміндегі олардың концентрациясынан көп жоғары. Соған байланысты олардың бірігуіде қатты зат бетінде жеңіл жүреді. Әсіресе, қатты зат бетімен су молекулаларының әрекеттесуі төмендеген сайын, оларды сол беттен ауа молекулаларын оңай ығыстырады да, тез бірігеді.

Минерал бетінде бастапқы сәтте пайда болған көпіршік тұрақты болуы үшін оның радиусы белгілі мөлшерден кем болмауы тиіс. Ол кіші болған сайын көпіршік ішіндегі қысым (P) өседі де, ауа қайта еріп кетеді. Көпіршіктің сақталуына ауа және су шекаралығындағы бет тартысы да үлкен әсер етеді. Осылардың ара қатынастары мына өрнекпен сипатталады:

$$p = \frac{2\sigma_{c-r}}{R}$$

Ауа көпіршігінің тұрақты болу шарты: оның ішіндегі қысым (P) сыртқы ауа қысымынан аспауы керек.

Егер ауаның еру қысымын p -мен белгілесек, төмендеген сыртқы ауа қысымын (еріген молекулалардың бірігуіне жағдай туғызған) p_1 - десек, көпіршіктің тұрақтылығын сақтауға қажетті қысым (p) сыртқы қысым мен (p_1) капиллярлы қысымның қосындысына тең:

$$P_1 + \frac{2G_{c-r}}{R_{min}} = P, \text{ бұдан } R_{min} = \frac{2G_{c-r}}{p - p_1}.$$

Көпіршік диаметрі тұрақтылық мөлшерге жеткеннен кейін, ауа молекулалары диффузия нәтижесінде оны толтырып, біртіндеп өсе береді.

Минерал түйіршіктерінің бетінде ауа көпіршігінің пайда болуы нәтижесінде олардың флотациялануларының активтілігі өсуі екі жаймен байланысты.

Біріншіден, су көлеміндегі ауа көпіршіктеріне соқтығысу арқылы жабысу ықтималдығы өте төмен шламды түйіршіктердің бетінде ауа көпіршігінің пайда болуы олардың флотациялануларына мүмкіндік тудырады. Себебі шламды түйіршіктер үшін олардың қалқып көтеру күші жеткілікті болады.

Екіншіден, ірілеу түйіршіктердің бетінде пайда болатын көпіршіктер су көлеміндегі ірі ауа көпіршіктерімен соқтығысында оларға түйіршіктердің жабысуын жылдамдатады. Себебі ірі ауа көпіршігінің түйіршік бетіндегі ауа көпіршігімен қосылуы /коалесценция/ қатты зат бетіндегі су молекулаларын ығыстырып жабысуынан тез жүреді.

Келтірілген жайлардан суда еріген ауа молекулаларының минерал түйіршіктері бетінде жиналып көпіршіктердің пайда болуы түйіршіктердің флотациялану активтілігін жоғарылатуда елеулі роль атқаратыны күмәнсіз. Сондықтан флотациялық пульпада ауаның еруін күшейтетін аэрогидродинамикалық режимді тудырудың айтарлықтай маңызы бар. Осындай қажетті режимнің жасалуы тікелей флотациялау машиналарының құрылысына тәуелді.

Жалпы көбікті флотацияда ауа көпіршіктерінің ірілігі роль атқарады. Егер олар тым ұсақ болса көтеру күштері жетіспей пульпада қалып қоятын болса, ал іріленген сайын су-ауа

шекаралық ауданы азайып, процестің өнімділігі төмендейді. Сондықтан олардың диаметрлері бірсыпыра талапқа сай болуы қажет. Оларға жататындар: 1) белгілі көлемді минералданған көпіршіктің көтеру күші оған қарама - қарсы бағытталған екпінді күштен артық болуы қажет (А.А.Абрамовтың талдап есептеуі бойынша $D=2,2 \div 1\text{мм}$); 2) минералданған көпіршіктің тығыздығы пульпа тығыздығынан аз болуы қажет (бұл тұрғыдан А.А.Абрамов есебімен $D \geq 0,28\text{мм}$); 3) минералданған көпіршіктің қалқып көтерілу жылдамдығы жеткілікті болуы тұрғысынан қарағанда $D=1,27\text{мм}$.

Келтірілген көпіршік диаметрлерінің орташа шамасы 0,6 мм. Бұл шама көлеміне әр түрлі әдістермен енгізілген ауаның ұсақталуынан пайда болатын көпіршіктерге қатысты. Ал түйіршік бетінде еріген ауа молекулаларының бірігуінен пайда болатын көпіршіктердің диаметрлері өте ұсақ болуы мүмкін. Олардың көтеру күші ірі түйіршіктер үшін жеткіліксіз болғанмен, ірі көпіршіктерге жабысуларын жеңілдетеді.

§ 2. Минерал түйіршігі мен көпіршік соқтығысуында екі аралық су қабатының бұзылу кинетикасы.

Минерал түйіршігінің ауа көпіршігіне соқтығысу нәтижесінде жабысу ықтималдығы олар бір біріне жақындағанда араларындағы су қабатының бұзылу механизміне тәуелді. Бұл мәселені зерттеуде совет ғалымдары А.Н.Фрумкин, П.А.Ребиндер, Б.В.Дерягин және басқалары үлкен үлес қосты.

Түйіршікпен көпіршік бір біріне жақындағанда олардың аралығындағы су екі түрлі қасиетті қабаттардан тұрады. Судың негізгі қасиеттері өзгермеген су молекулаларынан тұратын қабат құрса (екі бет арасы алшақ кезде), екі бетте молекулалары ерекше орналасқан су қабаттары бар.

Екі бет жақындасқанда қасиеті өзгермеген су қабаты екі аралықтан оңай шығады. Неғұрлым соқтығысуға тиіс беттердің аудандары кіші болса және олардың бір біріне жақындау жылдамдықтары жоғары болса, соғұрлым бұл қабаттың шығуы тездейді (29-сурет, а)

Минерал түйіршігінің ауа көпіршігіне жабысуында негізгі роль атқаратын екі беттегі гидратты қабаттардың түйіскен сәтінен бастап жүретін процесс (29-сурет,б). Бұл қабатта су молекулалары бет энергияларының әсерімен реттеліп ерекше орналасулары нәтижесінде оны бұзу үшін белгілі мөлшерде энергия шығындалуы, яғни жұмыс жасалуы қажет. 30-суретте көпіршіктің қатты бетке жақындаған кезде су қабатының бос энергиясының өзгеруі көрсетілген.

29-сурет. Қатты зат беті мен ауа көпіршігінің соқтығысу нәтижесінде жабысу кинетикасы.

30-сурет. Екі аралық су қабатының жұқару кезінде оның бос энергиясының өзгеруі.

”А” нүктесінен ”Б” нүктесіне дейін су қабатының жұқаруы кезінде оның бос энергиясы өзгеріссіз қалады. Себебі бұл сәтте екі аралықтан қасиеттері өзгермеген молекулалардан тұратын су қабаты ығысып шығады. ”Б” нүктесінен, демек екі беттегі ерекше су қабаттары түйіскеннен бастап ”В” нүктесіне дейін бос энергия өседі. Оның себебінің мәнін төмендегідей жорамалдауға болады: Екі беттегі гидратты қабаттардың құрылымдарының өзгешеліктері бар; бірігу кезінде олардағы молекулалар реті өзгеріп, қайтадан реттенуге тиіс. Осы процестің жүруіне қосымша энергия жұмсалады, ”В” нүктесінде жаңа ретті, ортақ бір қабат пайда болады. Бұл қабаттың жұқаруына байланысты оның тұрақтылығы күрт төмендейді. Осы сәттен бастап гидратты қабаттың бос энергиясы азаяды да, оның қалыңдығы белгілі мөлшерге дейін жұқарады (”Г” нүктесіне дейін). Осы сәтте көпіршікке түйіршік тез жылдамдықпен

өздігінен жабысады. Түйісу беті жабысу ауданы аталады да, ал оны шектеу сызығы жабысу периметрі деп аталады.

Жабысу процесінен кейін екі бет аралығында қалыңдығы молекулалық өлшемге жақын өте жұқа су қабаты қалады. Бұл қабатта минерал бетімен тікелей әрекеттескен су молекулалары орналасқан. Олардың құрылымының реттігі сондай бұл қабатты заттың жалғасы ретінде қарауға болады. Сондықтан ол қабатты бұзу үшін үлкен энергия шығыны қажет. Пульпаның гидродинамикалық режимінде энергия шамасы оған жетпейді. Демек, Г-Д аралығында су қабатының бос энергиясы күрт өседі.

Сонымен, түйіршіктердің көпіршіктерге жабысу жылдамдығы олардың беттеріндегі су қабаттарының бұзылу жылдамдығына тәуелді. Осы процеске негізінен әсер ететін факторлар: соқтығысу күші, соқтығысу уақытының ұзақтығы, минерал бетінің сулану дәрежесі және минерал түйіршігінің пішіні. Бірінші және екінші факторлар пульпаның гидродинамикалық режиміне байланысты болса, үшінші фактор реагенттік режимге тәуелді. Түйіршіктің сырт пішіні алуан түрлі болып келеді. Егер ол ауа көпіршігімен үшкір жағымен не қырымен соқтығысса, екі аралық су қабатының бұзылуы оңайлайды, ал ол жалпақ бетімен соқтығысса қиындайды.

§ 3. Көпіршік бетінде минерал түйіршігінің бекуі

Минерал түйіршігінің флотациялануы оның көпіршікке жабысуымен ғана анықталмайды. Флотациялық пульпада гидродинамикалық режимге байланысты түйіршікті ауа көпіршік бетінен айыруға бағытталған әр түрлі күштер пайда болады. Олардың шамалары және бағыттары көптеген факторлардың әсерімен өзгеріп отырады. Ол күштердің негізгілері: түйіршіктің салмағы, екпінді күш және үйкеліс күштері.

Минерал түйіршігінің көпіршік бетінде олармен бірге қалқып шығарлықтай қалыпта бекуі осы күштердің өзара қатынастарымен анықталады. Сондықтан әр қайсысының шамасы неғұрлым дәлірек анықталса, соғұрлым түйіршіктің көпіршік бетінде бекуін дәлірек анықтауға болады. Аталған күштердің ішінде шамасын мөлшерлеп білуге болмайтындар үйкеліс күштері. Үйкеліс көпіршіктердің өзара соқтығысуынан, машина бөлшектерінің бетімен жанасудан және ірілі-кішілі бос түйіршіктермен соқтығысуынан туады. Сондықтан олардың әсерін бір заңдылықпен бағалауға келмейді. Басқа күштерді де бағалау үшін көпіршіктің пульпадағы күрделі қозғалысы және басқада факторлар қарапайымды түрге келтіріліп қаралады.

Ауырлық күш жұмысын анықтауға К.Ф.Белоглазов ауа көпіршігі бір қалыпты жылдамдықпен қалқып көтеріледі деп санап, оның төмендегідей формуласын шығарды:

$$A = \frac{a^5 \rho_1 g}{8R},$$

мұнда a - түйісу ауданының диаметрі, см;

ρ_1 - минералдың су ішіндегі тығыздығы, г/см³

R - көпіршік радиусы, см;

g - ауырлық күшінің үдеуі, см/сек².

Бұл формуладан салмақтың түйіршікті көпіршік бетінен айыруға диаметрі (демек үлкендігі) өте жоғары әсер ететіні, сол сияқты тығыздығына тікелей қатынасты екені көрінеді. Бұл формулада екпінді күштің әсері оның күрделілігі мен байланысы есепке алынбаған.

Көпіршік жабысқан қатты бетті қозғалыссыз деп қарап Б.В.Кабанов және А.Н.Фрумкин олардың өзара жабысу беріктігін сипаттайтын теңдеуді шығарды. Ол үшін олар мынадай жорамалдар қабылдады: көпіршіктің минерал бетіне жабысу күші ($F_{ж}$) қатты зат бетімен көпіршіктің тиісу ауданының шет сызығы (периметр) бойымен әрекеттесуден туады, ол шет сызығы мен (πa) бет тартылысының тік бағытты құраушысының ($G_{C-T} \cdot \sin\theta$) көбейтіндісіне тең:

$$F_{ж} = \pi \cdot a \cdot G_{C-T} \cdot \sin\theta,$$

мұнда a -көпіршіктің қатты зат бетімен түйіскен ауданның диаметрі, (31-сурет);

G_{C-T} - су-газ аралығындағы бет тартысы, дин/см;

θ - шеттік сулану бұрышы, град.

31-сурет. Көпіршіктің минерал бетіне жабысу схемасы.

Минерал бетінен көпіршікті айыруға жұмсалатын күш- ол судың гидростатикалық көтеру күші /F/. Бұл күш Архимед заңымен анықталады:

$$F=V \cdot g \cdot \rho$$

мұнда V - көпіршік көлемі, см³;
g - ауырлық күшінің үдеуі, см/сек²;
ρ - сұйықтың тығыздығы, г/см³.

Осымен қатар көпіршіктің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін, көпіршік ішіндегі қысым оны қоршаған судың гидростатикалық қысымынан артық болуы қажет. Осыған байланысты көпіршіктің минерал бетімен түйіскен жерде су мен газдағы қысым айырмашылығы төмендегідей болады:

$$\frac{2G_{C-г}}{R} - hgr,$$

мұнда h- көпіршіктің биіктігі, см

Көпіршік ішінде қысым барлық нүктесінде бірдей болғанмен, судың қысымы көпіршіктің табан аймағында "hgr" шамасына тең артады. Мұның өзі көпіршікті көтеріп әкетуге бағытталған қосымша күш тудырады. Оның шамасы көпіршіктің қатты бетпен түйіскен ауданымен $\left(\frac{\pi a^2}{4}\right)$ қосымша қысымның көбейтіндісіне тең. Демек, көпіршіктің қатты зат бетінде тұрақты қалуы төмендегі теңдікпен сипатталады:

$$\pi a \cdot G_{C-г} \sin\theta = Vgr + \frac{\pi a^2}{4} \left(\frac{2G_{C-г}}{R} - hgr \right).$$

Теңдеуден көпіршіктің қатты зат бетіне тұрақты жабысып тұруына үлкен әсер ететін ол беттің сулану не суланбау қасиеті екені көрінеді. Онымен қатар, көпіршіктің қатты зат бетімен үш фазаның шектескен сызық бойымен байланысатынын ескерсек, сулану гистерезисі маңызды роль атқарады.

Келтірілген теңдік, жоғарыда айтылғандай, қатты зат қозғалыссыз деген шартпен қаралып шығарылған. Демек, онда екпінді күш және үйкеліс әсерлері қамтылмаған. Осы теңдеу негізінде жүргізілген талдаулар (В.И.Мелик-Гайказян, А.А.Абрамов) көпіршік ішіндегі қысымның артықшылығынан туатын капиллярлі қысымның айыру күші салмақ күшінің әсерінен әлдеқайда жоғары екенін көрсетеді. Әсіресе көпіршік диаметрі кішірейген сайын оның әсері арта түседі.

Б.В.Кабанов және А.Н.Фрумкин теңдеуі нақтылы флотациялық процесті бағалауға жарамайтындығына байланысты оны Н.В.Матвеев басқаша өзгертті. Айыру күшіне түйіршіктің екпінділігінің әсері үлкендігін ескере отырып, ол барлық айыру күштерін үш фазаның түйіскен сызығының /периметрінің/ ұзындық бірлігіне қатынастырды. Соның нәтижесінде меншікті флотациялық күштердің теңделуін сипаттайтын төмендегі теңдікті шығарды:

$$G_{C-г} \sin\theta = C \frac{K}{\pi X} (\Delta - p) d_{кр}^2 + \frac{X d_{кр}}{4} \left(\frac{2G_{C-г}}{R} - \rho h g \right),$$

мұнда X - түйісу ауданы мен түйіршіктің диаметрлерінің қатынасы;
C- көпіршіктен түйіршікті айыру үдеуі, см/сек²;
K- түйіршіктің диаметрінің кубы мен оның көлемінің ара қатынасты коэффициенті;
d_{кр} - түйіршіктің флотацияланатын ірілігінің аумалы диаметрі, см;
R - көпіршік радиусы, см;
Δ - минерал тығыздығы, г/см³.

Бұл теңдеуді қолданып минерал түйіршіктерінің флотациялану ықтималдығын анықтауға болады. Флотациялық процестің өте күрделі гидродинамикалық жағдайда өтетінін еске алсақ, процесті тұтас бағалауға жарайтындай теориялық өрнек табудың мүмкін еместігін атап айтуға болады. Сондықтан оның заңдылықтарын тек тәжірибе нәтижелерінің негізінде ғана сипаттауға болады.

Түйіршікті көпіршіктен айыруға бағытталған барлық күштерге қарсы тұратын күш жабысу күші, ал ол минерал бетінің сулану дәрежесімен анықталады. Түйіршікпен көпіршіктің айырылуы жабысу ауданының кішіреюінен, демек үш фазаның түйіскен сызық периметрінің кішіреюінен басталады. Минерал беті неғұрлым аз суланса, соғұрлым үш фазалық сулану сызығының жылжуы төмендейді. Оған қосымша себеп болатын жай-түйіршіктің сырт бетінде қырлар мен үшкір бұдырлардың болуы. Сулану периметрінің жылжуына олар үлкен кедергі жасайды. Оның себебі минерал бетінің бұдырлығы артқан сайын бет ауданының өсуіне байланысты, бос бет энергиясыда арта береді.

2-ТАРАУ

ӘР ТҮРЛІ ІРІЛІКТІ МИНЕРАЛ ТҮЙІРШІКТЕРІНІҢ ФЛОТАЦИЯЛАНУЫ

§ 1. Флотациялық процесте минерал түйіршіктерінің ірілігінің маңызы туралы түсініктер

Көбікті флотациялау процесінде минералдар түйіршіктерінің ірілігі тек белгілі шекте болғанда ғана көпіршік беттеріне жабысып, олармен бірге қалқып шығулары мүмкін. Екінші жағынан, байытылу алдында кен сепкілдік дәрежесіне қарай белгілі ірілікке дейін ұнтақталады. Соған байланысты ұнтақталған кен ішінде бағалы минералдар түйіршігінің диаметрлері флотациялық іріліктен жоғары болуы мүмкін. Ондай жағдайда ұнтақтауды флотациялық ірілікке дейін жеткізу қажет, не болмаса, ірілігі көп жоғары болса, гравитациялық әдіс қолданылуы мүмкін. Ол әдісті қолдану шарты - бөлінетін минералдардың тығыздықтарының айырмашылығы жеткілікті болуы керек.

Кен қандай әдіспен байытылсада оны алдын ала ұсақтап не ұнтақтап байытуға дайындау, кеннің сепкілдігіне байланысты бағалы минералдарды бос жыныс минералдарынан және өз ара бір-бірінен ажырауларын жеткілікті дәрежеде ғана жүргізу қажет. Демек, кеннің сепкілдігі флотациялық іріліктен жоғары болғанда, ондай кенді байытудың екінші жолы - ірі түйіршіктерді бөлуге мүмкіндік беретін флотация басқа әдіс қолдану.

Флотациялық іріліктің жоғарғы шегі негізінде минералдардың сулану дәрежесімен (гидрофобтығы) және олардың тығыздығымен анықталады. Неғұрлым минерал тығыздығы жоғары болса, соғұрлым оның ірілігінің жоғарғы шегі төмендей береді. Сондай ақ, минерал түйіршігінің диаметрі белгілі шектен төмендесе, оның флотациялануы қиындайды.

32-сурет. Әр түрлі диаметрлі түйіршіктердің тығыздықтарына байланысты флотациялануы

32-суретте көбікті флотациялауда әр түрлі ірілікті түйіршіктердің флотациялануының сапалы көрінісі келтірілген. Бұл суреттен орта диаметрлі түйіршіктердің (0,03-0,1 мм) флотациялануы жоғары екені, ал одан іріленген сайын, не кішірейген сайын түйіршіктердің флотациялану мүмкіндігі төмендей беретіні көрінеді. Сонымен қатар, орта ірілікті түйіршіктердің

флотациялану жылдамдықтары жоғары келеді де, олардың сулануын төмендетуге қажетті жинағыш шығыныда азаяды. Осы жайларға байланысты концентраттың орта ірілікті кластарының сапалары жоғары келеді де, ал өте ұнтақ және ірі кластарының сапалары төмен келеді. Ұнтақ кластардың сапаларының төмендеуі олардың флотациялану жылдамдықтарының аз және таңдамалы бөлінулері төмен болуымен, ал ірі кластарда қауышпа түріндегі түйіршіктердің көбеюіне байланысты. Осыларға сәйкес, қалдықтың орта ірілікті кластарында жоғалым аз болады да, ірі және ұнтақ кластарында бағалы заттың проценттік үлестері жоғары келеді, демек жоғалымның негізі осы кластардың үлесіне тиеді. Егер ірі кластарда қауышпа түрінде қалдықта қалатын жоғалымдарды қосымша ұнтақтап байытуға болатын болса, ұнтақ кластардағы жоғалымдарды азайту өте қиын, ал кейде мүмкін емес. Сондықтан, флотациялау алдында кенді ұнтақтап дайындаудың маңызы өте зор. Жалпы, егер түйіршіктер қауышпа түрінде болмаса минералдардың бөліну дәлдігі ірілеу кластардан жоғары келеді.

§ 2. Минерал түйіршіктерінің флотациялануына олардың іріліктерінің әсері

Минерал түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысып, бекіп, көбікті қабатқа шығу ықтималдығы олардың өзара соқтығысу (ϑ_c) және бір біріне берік жабысуларының ($\vartheta_{\text{ж}}$) ықтималдықтарының көбейтіндісіне тең, демек $\vartheta_{\text{фл}} = \vartheta_c \cdot \vartheta_{\text{ж}}$ (О.С.Богданов, Б.В.Кизевальтер).

Түйіршіктердің көпіршіктері мен соқтығысу ықтималдығы

Көбікті флотацияда пульпа иірімді (турбулентті) режимде қозғалыста болады. Қозғалыстың негізгі бағытын айналмалы қозғалыс құрайды. Түйіршіктер мен ауа көпіршіктерінің соқтығысуында үлкен роль атқаратын фактор олардың қозғалыс жылдамдықтары. Ауа көпіршігінің қозғалу жылдамдығы судың тасымалдау жылдамдығымен анықтала, түйіршіктің қозғалу жылдамдығына бірсыпыра факторлар әсер етеді.

Айналымды қозғалыстан туатын ортадан тепкіш күш түйіршіктің салмақ күшінен әлде қайда артық (қатты заттың шөкпеуі соның айғағы) және түйіршіктер мен көпіршіктердің айналмалы қозғалысының тік бағытты құрамы радиальды бағытты құрамынан көп кіші болады. Сондықтан көпіршіктің қалқу жылдамдығы мен түйіршіктің құлау (шөгу) жылдамдығын есепке алмай, тек түйіршіктердің радиальды бағытта шетке қозғалу жылдамдығын, ал көпіршіктердің орталыққа жылжу жылдамдығын ғана ескеруге болады.

Минерал түйіршігінің қозғалу жылдамдығы оның массасына байланысты (демек диаметрі мен тығыздығына) өзгереді: ең ұнтақтарының жылдамдығы судың қозғалу жылдамдығына тең болса, іріленген сайын арта түседі. Түйіршікпен көпіршіктің жылдамдықтарының айырмашылықтары өскен сайын, олардың соқтығысу ықтималдығыда өседі. Осыған байланысты соқтығысу деген ұғымды тұжырымдасақ, оның мәні мынада: түйіршікпен көпіршік түйіскенде олардың беттеріндегі ерекше су қабаттар бұзылып, қайта құрылып бірігуі тиіс. Ол үшін түйіршіктің инерциялық күші гидратты қабатты бұзуға жеткілікті болуы қажет. Бұл шарт түйіршік диаметрі (дәлірек айтсақ массасы) белгілі мөлшерден кем болмағанда ғана орындалады. Екінші жағынан, түйіршіктің көпіршік бетінде беку ықтималдығы түйіршік массасы артқан сайын төмендей береді (33-сурет)

33-сурет. Түйіршіктердің көпіршікпен соқтығысу және ол бетте беку ықтималдықтарының диаметрлеріне тәуелдігі (О.С.Богданов бойынша)

ϑ_c - соқтығысу ықтималдығы;

$\vartheta_1^B, \vartheta_2^B$ - көпіршік бетінде түйіршіктің беку ықтималдықтары;

$\vartheta_1^B > \vartheta_2^B$ - жинағыш концентрацияларына байланысты өзгерулері.

Түйіршіктердің диаметрлері кішірейген сайын соқтығысу ықтималдықтарының төмендеуі олардың массаларының азаюына байланысты инерциялық күштерінің гидратты су қабатын бұзуға жетпеуінің салдары. Жалпы олардың көпіршік бетінде бекіп қалуы, сол бетте айнала жылжи қозғалу кезінде де орын алуы мүмкін. Бірақ бұл жолмен беку түйіршіктің

қандай күшпен және көпіршік бетімен қандай бұрыш жасай соқтығысуына байланысты. Неғұрлым соқтығысу бұрышы үлкен болса (34-сурет, а), сол сияқты соқтығысу нүктесі көпіршік өсінен алыстаған сайын (34-сурет,б), соғұрлым түйіршіктің көпіршікті айнала жылжу кезінде беку ықтималдығы төмендейді.

34-сурет. Ұнтақ түйіршіктің көпіршік бетімен соқтығысу түрлері.

Жалпы, шламды түйіршік-көпіршік шоғырының құрылуы күрделі құбылыс. Онда басты роль атқаратын екі компоненттің кинетикалық энергиясы гидродинамикалық режимге байланысты. Сонымен қатар, шламды түйіршіктің көпіршікті айналып оту уақыты белгілі роль атқарады. Көпіршік бетінде бекіп қалуға қажетті ең аз уақыт индукция уақыты деп аталады. Неғұрлым минерал аз суланса, соғұрлым қажетті соқтығысу күшіде және индукция уақытыда төмендейді.

Түйіршіктердің диаметрлері өскен сайын олардың көпіршік бетінде бекуінің төмендеуі айыру күштерінің жабысу күштерінен артуымен байланысты. Минерал бетінің сулануы төмендеген сайын оның көпіршікке беку ықтималдығы арта түседі (32 сурет "а" және "б").

Келтірілген жайлардан ұнтақ диаметрлі түйіршіктердің флотациялану ықтималдықтарын арттыру үшін, мысалы, пульпаның тығыздығын жоғарылату қажет. Сонда көлем бірлігінде түйіршіктер саны артады да, соқтығысу саны өседі. Ал ірі түйіршіктер үшін, керісінше, пульпа тығыздығының үлкеюі үйкеліс күштерінің өсуіне байланысты олардың көпіршік бетінде бекуін төмендетеді. Орта диаметрлі түйіршіктердің соқтығысу және көпіршік беттерінде беку ықтималдықтарының көбейтіндісі жоғары.

Ірі түйіршіктердің флотациялануларын арттырудың басты жолы олардың бет сулануын барынша төмендету. Демек, олар үшін реагенттік режим негізгі роль атқарады.

Ұнтақ түйіршіктердің флотациялануын арттыруға үлкен әсер ететін фактор, түйіршіктер бетінде суда еріген ауаның жиналып көпіршік құрауы. Сонда олардың пульпа көлеміндегі ауа көпіршіктерімен соқтығысуының маңызы төмендейді. Бұл жай флотациялық машиналардың конструкцияларына, соған қарай оларда пульпаның қозғалысының гидродинамикалық режиміне тәуелді.

§ 3. Флотациялау процесіне өте ұнтақталған түйіршіктердің (шламдар) әсері

Диаметрлеріне қарай минералдар түйіршіктерін ұнтақты не өте ұнтақты деп бөлу шартты ұғым. Олай бөлу негізінде түйіршіктердің флотациялану қасиеттеріне қарап салыстырудан туған. Жоғарыда минерал түйіршіктерінің диаметрлері 0,02-0,1 мм аралығында болса, активті флотацияланатыны келтірілді. Ал, ірілік 0,02 миллиметрден төмендесе түйіршіктердің флотациялануы төмендей бастайды. Флотацияланатын минералдардың тығыздығына байланысты төменгі шекті ірілік әр түрлі өзгереді. Жеңіл тығыздықты минералдардың флотациялануы түйіршіктер диаметрі 0,02 мм-ден аз болса күрт төмендейді. Егер минерал тығыздығы жоғары болса, мысалы, 4000-5000 кг/м² ден үлкен, оның флотациялануы түйіршік диаметрі 0,01 мм-ден кішірейгенде төмендейді. Осыған байланысты түйіршік диаметрлері 0,02-0,01 мм-ден кіші болса, ол шламды затқа жатқызылады.

Бұл параграфта шламды түйіршіктердің флотациялау процесіне тигізетін жалпы әсерлері қаралады.

Шламды заттың флотациялау процесіне тигізетін әсері әрқилы. Жалпы шламдарды екі түрге бөледі: бастапқы (біріншілік) - олар кенді қопарып алу, тасымалдау және ұсақтау процестерінде пайда болады; екіншілік-кенді ұнтақтау процесінде пайда болады.

Минералдардың шламдануы олардың жұмсақтығына және морттылықтарына байланысты. Әсіресе тез шламданатын охралы минералдар.

Түйіршіктер шламдану нәтижесінде олардың үлесті бет ауданы өте жоғарылайды. Соның салдарынан ерекше физикалық және физико-химиялық қасиеттері пайда болады. Солардың жиынтығы әсерінен флотациялау технологиясында бірсыпыра қиындықтар туады:

а) көбікті өнімге бос жыныс минералдарының шламды бөлегі шығып, оның сапасын төмендетеді; б) реагенттер шығымы өседі; в) флотация жылдамдығы төмендейді; г) бағалы минералдардың ірі және шламды түйіршіктерінің флотацияланулары төмендеп қалдықта қалады және т.б.

Аталған құбылыстардың себептері төмендегідей:

1. Кейбір босжыныс минералдарының шламды бөлегі реагенттермен әрекеттесу нәтижесінде суланулары төмендеп, көбікті өнімге флотацияланып шығады. Сонымен қатар олардың біраз бөлегі көпіршіктермен бірге шығатын су ішінде механикалық кірме түрінде қалқып шығып, көбік құрамында қалады.

2. Үлесті бет ауданының үлкендігіне байланысты, пульпадағы реагенттермен әрекеттесіп, олардың шығынын өсіреді. Шламды түйіршіктердің массаларының төмендігіне байланысты реагенттердің қажетті шығыны жоғары болмасада, ірі түйіршіктердің бетінде реагенттердің жеткілікті тығыздығын қамтамасыз ету үшін олардың шығынын өсіруге тура келеді. Осыған байланысты шламды түйіршіктер бетінде реагент қажетсіз адсорбцияланады.

3. Шламды түйіршіктердің үлесті бет аудандарының үлкендігіне байланысты флотациялану жылдамдықтары төмен болады. Оның басты себептері, біріншіден, флотациялану активтіліктері төмен болса, екіншіден, көпіршіктердің бет аудандарының жеткіліксіз болуы. Соның нәтижесінде олардың біраз бөлегі флотацияланып үлгермей қалдықта қалады.

4. Көпіршіктер бетіне жабысқан шламды түйіршіктер ол бетке ірілеу түйіршіктердің жабысуын төмендетеді. Демек, көпіршік бетін "қаптап", ол бетпен ірілеу түйіршіктердің түйісуіне кедергі жасайды. Сөйтіп қалдықта бағалы заттың қалып қоюына әкеліп соғады (35-сурет, а).

5. Флотациялық пульпада шламды түйіршіктердің ірі түйіршіктер бетіне жабысуы үнемі орын алатын құбылыс. Олардың беттері неғұрлым аз суланатын болса, соғұрлым бір біріне жақсы жабысады. Бұл құбылыстың флотацияға зияндылығы сол, ірі түйіршіктер ауа көпіршіктерімен соқтығысқанда олармен шламды түйіршіктер алдымен тиіседі де, солар жабысады. Демек, ірі түйіршіктер жабыспай қалады (35-сурет, б)

35-сурет. Көпіршікпен ірі түйіршіктің соқтығысына шламды түйіршіктердің әсері.

§ 4. Шламды түйіршіктердің флотация процесіне зиянды әсерлерін төмендету жолдары.

Бос жыныс минералдарының шламды түйіршіктерінің бағалы минералдар түйіршіктеріне және ауа көпіршіктерінің бетіне жабысуын азайту үшін реагенттер-пептизаторлар қолданылады. Пептизаторлар ролін көбінде басқыш реагенттер атқарады. Мысалы, бос жыныс минералдары үшін ең жиі қолданылатын реагент сұйық шыны. Түйіршіктер бетіне адсорбцияланып суландыру нәтижесінде олардың өзара бірігуі және ірі түйіршіктер мен көпіршік бетіне жабысулары азаяды. Көбікті өнімге тек сумен бірге белгілі бөлігі ғана шығады.

Сол сияқты, бос жыныстардың шламды түйіршіктерінің көбікті өнімге шығуы пульпаның тығыздылығы (сұйықтылығы) төмендетілгенде азаяды.

Құны төмендеу және шламдануы жоғары кейбір кен түрлерін (мысалы, фосфор, темір және т.с.с) флотациялап байытқанда, ертеден жиі қолданылып келе жатқан мәжбүрлі әдіске кенді байытар алдында одан шламды фракцияны бөліп шығарып тастау жатады. Демек, флотацияға тек шламсыздандырылған фракция ғана түсіріледі.

Флотореагенттердің шығынын төмендету мақсатымен олармен пульпаны өңдеудің біраз әдістері белгілі. Оларға жататындар:

1. Флотореагенттер пульпаға бірден толық түсірілмей бөлшектеп беріледі, демек бастапқы реагент концентрациясы тек шламды түйіршіктердің флотациялануына ғана жеткілікті болады. Осының нәтижесінде олар үшін реагенттің қажетсіз шығындалуы орын алмайды. Ірілеу түйіршіктер шламдардың активті негізі көбікті өнімге шыққаннан кейін, реагенттің келесі бөлшектері беріліп, флотациялана бастайды. Сөйтіп шламды түйіршіктер бетінде реагент тек қажетті мөлшерде ғана адсорбциялануының нәтижесінде оның шығыны төмендетіледі.

2. Шламды түйіршіктердің реагенттерді адсорбциялауын /мысалы, жинағыштарды/ төмендету кейбір қосымша реагенттермен өңдеу арқылы іске асырылады. Мысалы, осы мақсатпен күкіртті натрий және кейбір басқалары қолданылады.

3. Флотациялауға дайындалған пульпа құмды және шламды фракцияларға бөлінеді де, әр фракция өзіндік оптималды реагенттік режимде жеке өңделеді. Осыдан кейін екі фракцияның әр қайсысы жеке-жеке флотациялануы, не біріктіріліп барып флотацияланулары мүмкін. Бұл екі варианттың қайсысының тиімді болуы кен қасиеттерімен ғана анықталады. Екі фракция үшін тек реагенттік режим ғана емес, сонымен қатар басқада технологиялық режимдер /мысалы, ауалау дәрежесі, пульпаның тығыздығы, әр түрлі машиналар типі және т.б./ оптималды деңгейде қолданулары қажет.

Келтірілген шараларды таңдау тек кен қасиеттерін мұқият тексеріп, талдау жүргізіліп және дәлелді тәжірибелер жүргізу арқылы ғана мүмкін болады. Мысалы, қандай кен ұнтақталсада, үнемі оның азды-көпті бөлігі шламданады. Егер шламды фракцияның негізі бос жыныс минералдарынан тұрса, онда қолданылатын шараның мақсаты - оларды көбікті өнімге шығармау болса, ал шламды фракцияда бағалы заттың проценттік үлесі жоғары болса, керісінше, қолданылатын шаралар олардың көбікті өнімге шығуына мүмкіншілік тудырулары қажет.

Құмды және шламды фракцияларды жеке режимдерде өңдегеннен кейін бірге не жеке флотациялау, сол фракцияларда бағалы заттың үлестері қандай қатынаста екендігі үлкен роль атқарады. Мысалы, бағалы заттың негізі шламды фракцияның, не болмаса құмды фракцияның үлесіне тисе, онда оларды жеке флотациялаудың тиімділігі күрт төмендейді. Себебі оларды жеке циклдерде флотациялауға қосымша шығарылатын түпкілікті және күнделікті шығындардың мөлшері өнімнің өзіндік құнын жоғарылатып жібереді. Осыған қоса ескеретін жай-біраз зерттеулер нәтижелеріне қарағанда, флотациялау тиімділігі пульпада әр түрлі диаметрлі түйіршіктер болғанда жоғары болатындығы байқалған. Оған себеп ретінде ұнтақ бағалы зат түйіршіктерінің ірі бағалы зат түйіршіктеріне жабысып бірге флотациялануы және шламды бағалы зат түйіршіктері мен бос жыныс минералдарының түйіршіктерінен тұратын шоғырлар ірі түйіршіктердің соғуымен бұзылып, минералдардың таңдамалы флотацияланулары, демек концентраттың сапасының артуы келтіріледі.

Осы келтірілген жайлардан әр кен үшін қолданылатын режимдер тек тәжірибелік әдістермен ғана анықталулары қажет екенін көреміз.

§ 5. Шламды түйіршіктердің таңдамалы флотациялануларын арттыру

Алдыңғы параграфтарда бағалы минералдардың шламды түйіршіктерінің флотациялануы төмен болатыны олардың көпіршіктермен соқтығысуында гидратты су қабатын бұзуға инерциялық күштерінің жетіспеушілігі айтылды. Жалпы олардың флотациялануларын жинағыш реагенттердің шығынын көбейту, пульпаның тығыздығын жоғарлату және ауалау дәрежесін арттыру арқылы белгілі мөлшерге дейін өсіруге болады. Бірақ аттары аталған шаралар қолданылса, бос жыныс минералдарының көбікті өнімге шығуы да өседі. Сондықтан бұл шаралар тиімді нәтижелер бермейді. Осыған байланысты оларды таңдамалы флотациялау жолдары табылулары қажет. Қазіргі кезде осы мақсатпен біраз әдістер қолданылады.

Шламды түйіршіктердің судан бөлінетін газ көпіршіктерімен флотацияланулары. Бұл процесте түйіршіктердің ауа көпіршіктерімен соқтығысуының қажеті жоқ. Көпіршік суда еріген газ молекулаларының суланулары аз түйіршіктер бетінде жиналуынан пайда болады. Процестің тиімді жүруінің басты шарты-суда (пульпада) газ молекулаларының көбірек еруін қамтамасыз ететін гидродинамикалық режим жасау және пульпа бетіндегі ауа қысымының пульпа ішіндегі қысымнан төмен болуы. Зерттеулерден алынған деректерге қарағанда вакуумды флотацияда галениттің -10+0 мк ірілік класының бөлініп алу дәрежесі 85%-ке дейін көтерілген, ал жай флотациялауда тек 52%-ке ғана тең болған. Вакуумды флотациялауда пульпа үстінен арнаулы жолмен ауа сорылып, қысым төмендетілген.

Бетіне жабыстырып тасымалдағыш минералдармен флотациялау. Бұл процесс шламды түйіршіктердің беттері аз суланатын (гидрофобты) ірі түйіршіктердің беттеріне жабысуына негізделген. Процестің тиімді жүруінің басты шарты - ірі түйіршіктердің беттерінің сулануын алдын ала (шламды фракциядан жеке) өңдеп, жеткілікті дәрежеге дейін төмендету. Бұған мысал ретінде алдыңғы параграфта келтірілген пульпаны құмды және шламды фракцияларға

бөліп жинағыштармен жеке өңдеп, одан кейін оларды біріктіріп флотациялауды келтіруге болады. Екінші мысал ретінде жеке ағымды флотациялау әдісін атауға болады. Пульпа екі ағымға бөлінеді. Бірінші ағымды флотациялаудан алынған концентрат екінші ағыммен оны флотациялау алдында біріктіріліп барып флотация жүргізіледі. 10-кестеде тасымалдағыш минералды қосудың тиімділігі келтірілген.

10-кесте

-0,043+0,02 мм ірілікті кальцитті қосқандағы ірілігі-0,01 мм ильмениттің флотациялануына әсері (В.И.Классен және басқалары бойынша)

Қосылған кальциттің проценттік үлесі	Ильменит концентраты		
	шығым	TiO ₂ процент үлесі	TiO ₂ бөліп алу дәрежесі
0	30,3	13,6	75,7
20	26,8	17,2	78,2
40	32,8	13,0	83,4
60	32,2	15,4	92,4

Аполярлы реагенттердің эмульсияларын қосып флотациялау. Бұл процестің негізі алдыңғы әдіске ұқсас. Айырмашылығы сонда, ірі түйіршіктер орнына пульпаға май тамшылары қосылады. Оларға беттерінде жинағыш реагенттері адсорбцияланған шламды түйіршіктер оңай жабысып, бірге қалқып шығады. Бұл әдіс тиімділігіне және оңайлығына байланысты дүние жүзілік тәжірибеде жиі қолданылады деуге болады. Тек қажетті май шығыны жоғары болғанда, оны регенерациялау қажеті туады. Осыған байланысты үлкен өнімді фабрикаларда олар белгілі шекте ғана қолданылады.

Өте ұнтақты бағалы минералдар түйіршіктерін біріктіріп ірілеп, соның нәтижесінде олардың флотациялануын арттырудың бір жолы - таңдамалы (селективті) флокуляциялау. Жалпы шламды зат түйіршіктерін біріктіріп, концентратты қойылдыруды жылдамдату үшін флокуляциялау ертеден белгілі де және кеңінен қолданылады. Бірақ белгілі флокулянттар көмегімен тек бағалы минералдар түйіршіктері ғана емес, олармен бірге бос жыныс минералдарыда шөгеді. Осыған байланысты флотациялау процесінде тек бағалы минералдармен ғана әрекеттесетін, демек таңдамалы қасиетті флокулянттар табылуы қажет. Мысалы, белгілі флокулянттарды (поликриламид, карбоксиметилцеллюлоза, гидролизденген полиакриламид) сынауда сульфидті минералдар үшін тек ақырғы реагент ғана жарамды екені анықталған.

Жалпы таңдамалы әрекет ететін флокулянттар тауып, оларды флотацияда қолданудың келешегі айтарлықтай деуге болады.

§ 6. Флотациялауда түйіршіктердің ірілігін жоғарылатудың маңызы және жолдары

Флотацияланатын минералдар түйіршіктері диаметрлерінің жоғарғы шегін көтерудің технологиялық және экономикалық маңызы зор:

1. Ірілеу сепкілді кенді флотациялық ірілікке дейін ұнтақтаудың қажеті болмайды, демек кен тек сепкілдігіне сәйкес қана ұнтақталуы керек. Сонда бағалы морт минералдардың ажыраған ірі түйіршіктері қажетсіз ұнтақталып, шламды түрге айналмайды.
2. Ұнтақтауға шығындалатын энергия мөлшері азаяды.
3. Ұнтақтау процесімен қоса одан кейінгі процестердің өнімділігіде артады. Мысалы, қойылдыру және сүзу процестерінің жылдамдығы артып, ал құрғату процесінде газбен бірге тозаң түрінде шығатын зат жоғалымы азаяды.
4. Ірілеу түйіршікті концентратты металлургиялық не басқа өңдеу процестері жеңілдейді.
5. Шламды зат үлесі азайған сайын флотация процесінің таңдамалылығы (селективтігі) артып, концентраттың сапасы жоғарылайды.

Түйіршіктердің флотациялану ірілігін жоғарылатуда ең басты роль атқаратын жай, оларды көпіршік бетінен айыруға бағытталған екпінді күштерді төмендету. Оның басты жолы флотациялау машиналарында пульпа қозғалысының ең тиімді гидродинамикалық режимін жасау. Әрине, флотациялау алдында минерал бетінің сулылығы мүмкіншілігінше төмендетілуі қажет. Ол үшін пульпадағы жинағыш реагентінің концентрациясы жеткілікті болуы, әр түрлі

гетерополярлі реагенттердің тіркестерін және оларды аполярлі реагенттермен бірге қолдану қажет. Осылай дайындаудан кейін флотациялау нәтижесі қолданылатын машинаның конструкциясына тәуелді. Оларға қойылатын негізгі талаптар төмендегілер:

1. Пульпа қозғалысының иірімділігі (турбуленттігі) неғұрлым аз болып, екпінді күш шамасы төмен болуы қажет. Осы тұрғыдан қарасақ, бұл талапқа сай келетін режим егер пульпа араластырылмаса, түйіршікке тек оның салмағы ғана әсер етсе жасалады. Осы мақсатқа жету үшін қолдану тапқан машина түріне көбікте флотациялау машинасы жатады. Бірақ оларды қолданудың өз ерекшеліктері бар. Соларға байланысты көпшілік кендер үшін пайдаланылмайды.

2. Пульпа тік бағытта жайлы ағынмен ламинарлы режимде көтеріліп, көпіршіктерге жабысқан ірі түйіршіктерге екпінді күш әсері өте әлсіз мөлшерде болуы қажет. Соның нәтижесінде олар көбікті қабатқа жетіп үлгереді.

3. Пульпаны ауалау дәрежесі жоғарылаған сайын, әсіресе диаметрлері ірілеу көпіршіктер көбейген сайын, ірі түйіршіктердің флотациялану мүмкіншілігі арта түседі. Себебі ірі түйіршіктің бет ауданының әр жеріне бірнеше көпіршіктер жабысуы мүмкін. Соның нәтижесінде сулану периметрі өседі. Сондай-ақ, ауа көпіршіктері көбейген сайын түйіршіктің олармен соқтығысуы жиілейді де, ақырында бірінің болмаса келесілерінің бетінде беку ықтималдығы артады. Жинағыш реагенттермен тиімді әрекеттесу нәтижесінде минерал бетінің сулануы өте төмендетілгенде және ауа көпіршіктері жеткілікті болғанда көптеген түйіршіктер мен көпіршіктер бірлесе өзара жабысып, аэрофлокулалар құрап флотацияланады. 36-суретте минерал түйіршігінің жеке көпіршікпен (а), бірнешеуімен (б) және аэрофлокула түрінде /в/ флотациялануларының схемасы көрсетілген.

36-сурет. Ірі түйіршіктердің әртүрлі жағдайда флотацияланулары

Флотациялық пульпаның белгілі көлем бірлігінде көпіршіктер санының көбеюі араластыруды күшейтумен емес (механикалық машиналардағыдай), басқа жолмен жасалуы тиіс.

4. Көбікті қабат орташа қалыңдықты, шайқалусыз, тұрақты қалыпты жағдайда болуы қажет. Оны пульпа бетінен қалқығыш жабдық бір қалыпты жылдамдықпен араластырмай сыпыруы қажет. Сол жағдайда түйіршіктер көбік ішінде қалады.

2-кестеде Кабанов-Фрумкин формуласымен есептелген түйіршіктердің ірілігінің жоғарғы шегі және өндірістік тәжірибеде кездесетін жоғарғы шектері келтірілген. Олардың өзара үлкен айырмашылығының болуы, формуламен есептегенде екпінді күштердің әсерінің еске алынбауы.

2-кесте

Түйіршіктердің есептелген және тәжірибелік іріліктерінің
жоғарғы шектері

Минералдар	Флотацияланатын ең ірі түйіршіктер диаметрлері	
	есептелген	тәжірибеде
Сульфидтер	2-4	0,15-0,25
Полюсті тотықтар	3-5	0,2-0,3
Көмір	10-13	1-2
Элементті күкірт	6-8	0,5-1

Кестеде келтірілген тәжірибелік іріліктер көпіршіктердің пульпа ішінде минералдану жағдайында, демек көбікті флотацияда, кездесетін мөлшерлері.

Флотация процесінің кейін шыққан түрі көбікте бөлу процесінде (В.А.Малиновский) флотациялауға дайындалған (реагенттермен өңделген) пульпа көбікті қабаттың үстіне түсіріледі. Гидрофобты түйіршіктер көбікте қалады да, гидрофильді түйіршіктер пульпаға өтеді. Бұл процесте флотацияланатын түйіршіктер ірілігі көбікті флотациямен салыстырғанда 5-10 рет өсетіні тәжірибелермен анықталған.

§ 7. Минералдардың флотациялану жылдамдығы және таңдамалылығы

Флотация процесінің жылдамдығы деп бөліп алу дәрежесі (ε) мен флотациялау уақытының (t) арасындағы тәуелділікті атайды, демек $\varepsilon = f(t)$, не болмаса $d\varepsilon/dt$ туындысы.

Флотация процесінің заңдылықтарын ашуда, технологияны жетілдіруде, кен қасиеттерінің өзгерістерін зерттеуде, минералдардың таңдамалы флотациялану дәрежелерін анықтауда және т.б. үшін флотация жылдамдығы үлкен роль атқарады.

Флотация жылдамдығы жоғарылаған сайын процестің өнімділігі артады. Оны зерттеу арқылы әр түрлі минералдардың бірінен бірінің бөліну режимдері анықталады, алынатын концентраттардың сапасын арттыру мақсатымен әр операцияның ұзақтығын, флотациялық реагенттерді түсіру орындарын дәлірек анықтау және тағы басқа технологиялық мәселелерді шешуге болады.

Әдетте, флотация жылдамдығы көбікті өнімді ұзақтығы бірдей аз уақыт ішінде біртіндеп жеке фракциялар түрінде бөліп алып (бөлшекті флотациялау), әр фракцияның сапасын және оған шыққан заттың бөліп алыну дәрежесін есептеу арқылы зерттеледі. Алынған деректер негізінде флотацияланудың үлесті жылдамдығы есептеледі. Осы мақсатпен есептеу көбінде К.Ф.Белоглазов ұсынған теңдік қолданылып жүргізіледі. Ол теңдіктің жалпы түрі мынадай:

$$dx/dt = KN(x_0 - x) \vartheta_\delta,$$

мұнда x - t уақытына дейін көпіршік бетіне жабысып бекіген түйіршіктер саны; K -пропорционал коэффициенті; ϑ_δ - көпіршік бетінде беку тиімділігін, яғни ықтималдығын көрсетеді; N - пульпаның көлемдік бірлігінде минералдана алатын бос көпіршіктер саны; x_0 - бастапқы пульпада флотациялауға жататын минерал түйіршіктерінің саны.

Флотацияның t уақыты өткенде пульпада $x_0 - x$ түйіршік қалады. Пульпа арқылы белгілі dt уақыты өткенде көпіршік саны Ndt - та, ал флотацияланған түйіршік саны dx -қа тең. Осы dt уақыты ішінде түйіршіктер мен көпіршіктердің соқтығысу саны $Ndt(x_0 - x)$. Енді осы соқтығысулар кезінде түйіршіктердің көпіршіктер бетінде беку ықтималдығы ϑ_δ болғанда, dt уақытына сәйкес оларды теңестірсек жоғарыда келтірілген теңдеу шығады. Ондағы $(x_0 - x)$ теңдеудің сол жағына, ал dt оң жағына шығарып интегралданса төмендегі түрге келеді:

$$\int_0^x \frac{dx}{x_0 - x} = \ln \frac{x_0}{x_0 - x} = K \int_0^t N \cdot \vartheta_\delta \cdot dt.$$

Теңдеудің сол жағының алымын және бөлімін x_0 -ге бөліп, x/x_0 - ді ε мен белгілесек, өрнек былай шығады:

$$\ln \frac{1}{1 - \varepsilon} = K \int_0^t N \vartheta_\delta dt.$$

Теңдіктің сол жағындағы шама $\ln \frac{1}{1 - \varepsilon}$ флотацияның үлесті жылдамдық коэффициенті деп аталады. Ол "t" уақытына дейін қанша түйіршіктер флотацияланғанымен еш байланысы жоқ.

Бөлшекті флотациялаудан алынған деректер негізінде, флотацияның үлесті жылдамдық коэффициенті есептеліп, $\ln \frac{1}{1 - \varepsilon}$ - t координатында оның сипаттамалы сызықтары сызылса,

олар үш түрде болуы мүмкін (37-сурет). Түзу сызық (1) флотациялаудың басынан аяғына дейін процесс бір қалыпты жылдамдықпен жүретінін көрсетеді.

37-сурет. Флотацияның үлесті жылдамдық коэффициентінің өзгеруі

Дөнес сызық процестің жылдамдығы біраз уақыттан кейін азая бастағанын көрсетеді. Оның себебі, бастапқы кезде пульпадан флотоактивті түйіршіктер тез флотацияланады, ал пульпада қалатын түйіршіктер не қауышпа түрінде болуына байланысты, не реагенттің концентрациясының төмендеп, жетіспеуіне байланысты аз жылдамдықпен шығады. Ойқы сызық (3) флотация жылдамдығының біртіндеп өсуін көрсетеді. Оның бірнеше себептері болуы мүмкін:

- 1) бастапқы уақытта пульпадан аз массалы, бірақ үлесті бет ауданы жоғары шламды зат флотацияланып,пульпа одан "тазарған" кезде ірілеу түйіршікті заттың негізгі массасы флотациялана бастайды;
- 2) ірілеу түйіршіктердің бетіне жинағыш реагенттердің адсорбциялану тығыздығы тиісті мөлшерге жеткенше, белгілі уақыт аралығының өту қажеттігі;
- 3/ соңғы уақыттарда пульпаның ауалану дәрежесі өсті және т.б.

Жалпы жоғарыдағы теңдікті алуда, пульпада ауа көпіршіктерінің саны жеткілікті және әр қайсысының бет ауданының тек 15-20%-ті ғана минералданады деп есептелінеді және барлық түйіршіктердің флотациялану активтігі бірдей деп қабылданады. Шын мәнінде, олардың әр қайсысының флотациялық қасиеті бірдей емес: іріліктері, пішіндері, тотығу дәрежелері және басқада қасиеттері әртүрлі. Солармен қатар, түйіршіктердің белгілі бөлегі қауышпалар түрінде болады.

Көптеген тәжірибеден алынған деректер, флотация жылдамдығы төмендегі теңдікпен сипатталатынын көрсетеді:

$$d\varepsilon/dt=k'(1-\varepsilon)^n=(1-\varepsilon)k'(1-\varepsilon)^{n-1},$$

мұнда n 1-ден 6-ға дейін өзгереді /К.А.Разумов/.

Минералдардың таңдамалы флотациялануын,демек бір бірінен бөлінуін, бағалау үшін бірсыпыра авторлар әр түрлі формулалар ұсынды. Солардың ішінде жиі қолданылатыны Белоглазов ұсынған флотацияланудың үлесті жылдамдығының коэффициентіне негізделген таңдамалық индекс /көрсеткіш/:

$$\eta = \frac{\lg \frac{1}{1-\varepsilon_1}}{\lg \frac{1}{1-\varepsilon_2}},$$

мұнда ε_1 және ε_2 көбікті өнімге шыққан екі компоненттің бөліп алыну дәрежелері.

Таңдамалық индекс шамасы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым екі компоненттің бір бірінен бөлінуі жоғары болғаны.

Тәжірибеде минералдардың таңдамалы бөліну дәрежесін арттыру үшін флотация әр түрлі режимдерде жүргізіледі. Мысалы, пульпаны ауалау дәрежесі төмендетілсе, не болмаса жинағыш реагенті бөлшекті берілсе, концентратта негізгі металдың /компоненттің/ проценттік үлесі жоғарылайды. Бірақ, оның есесіне бөліп алу дәрежесі төмендейді. Сондықтан бірінші операцияда /негізгі флотацияда/ бөліп алу дәрежесіне көбірек көңіл бөлініп, ал тазалау операцияларында ауалау және пульпа тығыздылығы төмендетіледі. Осы мақсатпен көпшілік жағдайда тазалау операцияларына басқыш реагенттері /флотациялауға жатпайтын бағалы минералдар және бос жыныс минералдары үшін/ қосымша қолданылады.

III-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ КӨБІК СИПАТТАМАЛАРЫ

§ 1. Көбікке қойылатын талаптар

Көпіршіктерге жабысып көбікке шыққан бағалы минерал түйіршіктерінің көбікті қабатта қалуы бірсыпыра факторларға тәуелді. Олардың жиынтықтарының әсеріне байланысты, көбікті қабат қасиеттеріне бірсыпыра талаптар қойылады. Олардың бастылары:

- 1) бағалы минералдар көбікті қабатта қалулары тиіс, демек ол қабаттың белгілі тұрақтылығы болуы керек;
- 2) көбік құрылымы оған кездейсоқ шыққан басқа минералдар түйіршіктерінің қайтадан пульпаға түсуіне мүмкіншілік тудыруы қажет;
- 3) пульпа бетінен қалқып алынған көбіктің құрылымы тез бұзылып, көпіршіктерден ауаның бөлініп шығуы қажет, демек көбік қабатының тұрақтылығы тым жоғары болмауы керек.

Көбіктің осындай қасиеттері болуы көптеген физикалық және физико-химиялық факторларға тәуелді.

Физикалық факторларға жататындар: көбік қабатының қалыңдығы, көбікті бөлу әдісі және бөлу жылдамдығы, көбікке шығатын минерал түйіршіктерінің және көпіршіктердің гранулометриялық құрамы, көбікті қабат астындағы пульпаның гидродинамикалық қозғалу режимі және т.б.

Физико-химиялық факторлардың әсері тікелей реагенттік режимге, мысалы, минерал түйіршіктерінің көпіршік бетіне жабысу күші, көбіктендіргіштің қасиеті және концентрацияларына байланысты.

§ 2. Көбіктің құрылысы

Минералдар құрамына, гранулометриялық сипаттамаларына және реагенттік режимге байланысты көбіктің үш құрылысты түрі кездеседі: қопсыңқы құрылымды, шоғырлы (агрегатты) және қабыршақты. Көпшілік кендер қалыпты жағдайда флотацияланғанда қопсыңқы құрылымды көбік түзіледі (38-сурет, а). Оның өзіне тән қасиеттері бар:

- 1) көбік қабатының қалыңдығы 20 см-ге дейін жетеді. Ол кендегі флотацияланатын минералдардың аз не көптігіне байланысты;
- 2) қабаттың астынан бетіне көтерілген сайын көпіршік диаметрлері үлкейе береді. Көбік бетінде диаметрлері бірнеше сантиметрге жетеді. Сондықтан олардың пішіні шар пішінінен ауытқы болады
- 3) бет қабаттарында көпіршіктер аралығында су қабаты жұқа, төмендеген сайын қалыңдай береді. Жалпы басқа түрлерімен салыстырғанда көбіктің бұл түрі сулы келеді де, соған байланысты, қозғалмалылығы жоғары болады.
- 4) бет қабатында бағалы заттың проценттік үлесі жоғары болады да, астыңғы қабаттарда төмендей береді.
- 5) флотомашинаның бастапқы камераларында ауа көпіршіктердің диаметрлері кіші және олардың минералданулары жоғары болады. Келесі камераларда олардың диаметрлері біртіндеп үлкейіп, минералданулары азайып, көпіршіктер беті жалаңаштанып, көбік қабаты жұқара бастайды. Осы жайды көбіктің ең беткі қабат түріне қарап байқауға болады.

Орташа ұнтақты және тым шламданбайтын кен қажетті қалыпта флотацияланғанда көбіктің ең беткі қабатындағы көпіршіктердің диаметрлері 2-3 мм-ден аспайды және толық дерлік минералданған түрде болады, бірақ беткі көпіршіктердің ең жоғары жерінде дөңгелек пішінді минералданбаған "көз" қалады. Бұл көбікте шламды түйіршіктердің жиналмағанын және реагенттік режимнің кен қасиетіне сәйкестігін көрсетеді. Мұндай көбіктің тұрақтылығы сыпырылғанға дейін жеткілікті болады да, ал сыпырылып науаға түскеннен кейін көпіршіктер оңай жарылады. Олардың тұтқырлықтары белгілі мөлшерден аспайды.

Егер көбік бетіндегі көпіршіктер жарылып жатса (оны көзбен көруге де, әсіресе, жарылу кезінде шығатын дыбысты тыңдау арқылы білуге болады), ол көпіршіктердің нашар минералданғандығын және көбіктендіргіштердің концентрациясы қажетті мөлшерден жоғары болғандығын көрсетеді.

38-сурет. Көбікті қабаттың құрылыстары

а) қопсыңқы құрылымды; б) шоғырлы; в) қабыршақты

Шоғырлы көбік флотацияланатын минерал түйіршіктері ірілеу және олардың суланбау дәрежелері жоғары болғанда түзіледі. Түйіршіктердің жекелері бірнеше көпіршіктердің жабысуымен көтеріледі. Көбік қалыңдығы, алдыңғы түрмен салыстырғанда, көп жұқа келеді. Қабат қозғалымдығы төмен, себебі көбікте су аз болады. Көбіктің бұл түрінің ерекшелігі - ол сыпырылып науаға түсірілгеннен соң құрылымы бірден бұзылады (38-сурет,б)

Қабыршақты көбік қабаты түйіршіктер іріліктері жоғары (>1-2 мм), табиғи аз суланатын минералдар флотацияланғанда түзіледі. Көбік қалыңдығы өте жұқа болады (38-сурет в).

Көбіктің кейінгі екі түрі табиғи сулану дәрежелері төмен, ірі сепкілді минералдары бар кендерді флотациялағанда пайда болады. Әрине, флотациялау процесінде олардың сулануын төмендететін жинағыш реагенттерімен өңделеді. Бұлай флотацияланатын минералдардың тығыздығы жоғары болмайды да, түйіршіктер массалары белгілі мөлшерден аспайды.

Тығыздықтары жоғары минералдардың (мысалы ауыр түсті металдар минералдары) ірі түйіршіктерін флотациялау мүмкін емес. Олардың беттері жинағыш реагенттермен қаншалық жоғары дәрежеде өңделседе, көпіршіктерге жабысу күшінен салмақ күші (екпінді күшті тіпті санамағанда) көп артық болады. Демек, көбіктің кейінгі екі түрі минералдардың суланулары және тығыздықтары өте төмен болғанда, түйіршіктері ірілеу болса ғана түзіледі.

§ 3. Көбіктің тұрақтылығы, оның реагенттік режиммен байланысы

Көбіктің ең басты қажетті қасиеті оның тұрақтылығы, демек көпіршіктердің беттеріне жабысқан минералдар түйіршіктерімен көбік қабатында белгілі уақыт мөлшерінде сақталуы.

Әдетте, көбік қабатында белгілі жылдамдықпен оның бұзылуы жүріп жатады. Соның нәтижесінде оның құрамындағы түйіршіктер біртіндеп астыңғы қабаттарға, одан әрі пульпаға түсіп кетеді. Бірінші кезекте көбік кездейсоқ шыққан, суланулары жоғары түйіршіктерден тазаланады да, бет қабаттағы көпіршіктер жарылу және бірігу нәтижесінде тезірек бұзылады. Осы процестердің жүруі, көпіршіктер аралықтарынан судың төмен бағытта біртіндеп ағуына байланысты.

Аралық су қабаттарының біртіндеп жұқаруы ең алдымен үстіңгі қабаттардан басталады. Оған себеп болатын көбікті қабаттағы қысым әсері. Ол қысым астыңғы қабаттарға үздіксіз көтеріліп, қосылып жатқан минералды көпіршіктердің массаларының әсері.

Көпіршіктер аралық қабаттағы су төмен ағумен бірге, беткі қабаттарда буланып атмосфераға ұшады және көпіршіктер ішіне бу түрінде бөлінеді. Кейінгі процесс су буымен қаныққанша жүреді. Аралық су қабатының қалыңдығы жұқарып белгілі мөлшерге жеткенде, судың "Гиббс үш бұрыштарына" сорылуы басталады. Ол схематикалық түрде (39-суретте) көрсетілген. Оған басты әсер ететін жай, көпіршіктердің бет ауданының әр жерінің дөңестігінің әр түрлі болуы. Көпіршік-су шекаралығын көпіршік ішіне қарай тартатын капиллярлі қысым (Р).

39-сурет. Судың жазықты бет аралық қабаттан "Гиббс үш бұрыштарына" сорылу схемасы

Ауа-су шекаралығындағы бет тартылысы ($\sigma_{с-г}$) көпіршік дөңестігінің радиусымен ® анықталады. Демек,

$$P = \frac{2\sigma_{с-г}}{R},$$

$P_1 > P_2$ болғандықтан су жазықты жұқа қабатты аралықтан қалың қабатты аралыққа ығысып сорылады.

Көпіршік аралық су қабаттарына басқада бірсыпыра физикалық әрекеттер әсер етеді. Оларға жататындар: көбікті қабат астында пульпаның "қайнауы", горизонталь бағытта ағуы,

көбік қалқығышының әсері және т.б. Осылардың бәрі көбік қабатының тұрақтылығын төмендетіп, оның бұзылуына себептерін тигізеді.

Енді көбік қабатының тұрақтылығының жоғарлауына себеп болатын факторларға келсек, олардың ең бастысы, әрине, көбіктендіргіш реагенттерінің су-ауа шекаралығында адсорбциялануы нәтижесінде жеке көпіршіктердің тұрақтануы. Көбіктендіргіш молекулалары ауа-су шекаралығында полярлі (полюсті) тобымен суға бағытталып, көпіршік бетінде ерекше су қабатын түзеді. Соның нәтижесінде көпіршіктердің өз ара бірігуі тоқталады. Осы процесс пульпада көбіктендіргіш концентрациясы белгілі мөлшерден аспағанда ғана орын алады. Егер оның концентрациясы белгілі шамадан артса, керісінше, көпіршіктену біртіндеп басылады. Ол құбылыстың механизмі былай түсіндіріледі: "артық" молекулалар бірінші қабатта адсорбцияланған молекулалар үстіне екінші қабат жасай адсорбцияланады. Екінші қабаттағы молекулалардың полярлы тобы бірінші қабаттағы молекулалардың полярлы тобымен әрекеттесіп, аполярлы тобы суға бағытталады. Соның нәтижесінде көпіршік бетінде су қабаты жоғалады да, олар бірігеді.

Көбіктендіргіш молекулаларынан басқа пульпада коллоидтар түзетін бет активті заттар ауа-су шекаралықтарында адсорбцияланып, көпіршіктер бетін суландырады. Бұл құбылыс азды-көпті мөлшерде үнемі орын алады деуге болады.

Үшінші топқа суда ерімейтін аполярлі заттар (керосин, майлар және т.б.) жатады.

Үш топқа жататын заттардың көбікті тұрақтандыру жолдары әр басқада және олардың көп не аздығы әр түрлі бағытта әсер етеді. Гетерополярлі молекулалардың /көбіктендіргіштердің/ механизм әрекеті жоғарыда қаралды. Екінші топқа жататын заттардың пульпада концентрациялары қанша болсада көбік тұрақтылығы төмендемейді.

Егер бірінші топқа жататын көбіктендіргіштерге үшінші топтың заттары қосылса, онда да көбіктің тұрақтылығы жоғалады. Оның себебі майлы заттың көпіршіктің іш бетіне адсорбцияланып, гетерополярлы молекулаларды шекаралықтан су ішіне ығыстырып шығаруынан көпіршіктердің бетінің "жалаңаштануы".

Көбікті қабаттың тұрақтануына көпіршіктер бетінде минерал түйіршіктерінің болуы да үлкен әсер етеді. Көпіршік бетін олар неғұрлым толығырақ жапса, соғұрлым көпіршіктердің бір біріне тиісу мүмкіндігі төмендейді де, өзара бірігуі қиындайды.

Көпіршіктердің бетінде түйіршіктердің үлкен ауданды жаба беруі, олардың суланбауы төмендеген сайын және ұнтақ түйіршіктердің проценттік үлесі көбейген сайын арта түседі.

§ 4. Көбікті өнімнің сапасын реттеу

Көбікті қабатта бағалы заттың проценттік үлесі, оның тұрақтылығы мен құрылымына қарай, тік бағытта әр түрлі болады: ең үстінгі қабатта бағалы зат үлесі жоғары болса, төмендеген сайын біртіндеп азая береді. Оның себебі көбікке кездейсоқ шыққан бос жыныс минералдар не басылуға тиісті минералдар түйіршіктерінің көпіршіктер аралығындағы судың төмен ағысында біртіндеп төменгі қабаттарға түсуі. Бұл процесс көбік тұрақтылығымен тығыз байланысты: тым тұрақты көбікте процесс өте аз жылдамдықпен жүреді.

Көбікті өнімнің сапасын арттыру мақсатымен, әсіресе тұрақтылығы жоғары көбіктерге, қосымша шаралар қолданылады. Көп тараған әдіске көбік бетіне су себу жатады. Соның нәтижесінде көпіршіктер аралығындағы су қабаты қалыңдап, ондағы бос түйіршіктердің төмен, сумен бірге ағып кетуі жылдамдайды.

Көпіршіктер аралықтарындағы кездейсоқ көбікке шыққан түйіршіктердің шығып кетуі олардың сулануы жоғары болған сайын оңайлайды. Осыған байланысты, көбік сапасын арттыру мақсатымен қажетсіз минералдардың сулануын арттыру үшін, тазалау операцияларына қосымша басқыш реагенттері түсіріледі.

Кеннен бағалы затты неғұрлым толық бөліп және сапалы концентрат алу үшін әр түрлі операцияларда көбікті қалқып сыпыру оларда қойылатын мақсаттарға сай жүргізіледі. Мысалы, ең бірінші жүргізілетін негізгі флотациялау операциясында бағалы зат неғұрлым толық бөлінуі қажет. Осы мақсатқа сай, көбік қабаты толығырақ бөлінеді. Соған байланысты, алынған көбікті өнімге флотациялауға жатпайтын минерал түйіршіктерінде бірге шығып үлгіреді. Бірақ бұл операцияда оған үлкен мән берілмейді. Себебі, алынатын өнім бұдан кейін тазалау операцияларына түседі. Осы негізгі операцияның өзінде, флотомашинаның барлық камераларынан көбік бірдей толық сыпырылмайды. Бастапқы камераларда көбікті қабат

сапасы жоғарылау болса, кейінгілерде біртіндеп төмендей береді және көбік қабатының қалыңдығыда азая береді. Осыған байланысты бірінші камералардан көбік қабаты толығырақ сыпырылып, кейінгі камералардан сыпырылатын қабат қалыңдығы азайтыла береді және көбікті қабаттың сыпырылуын реттеу үшін арнаулы әдіспен пульпаның жоғарғы бет деңгейі біртіндеп көтеріліп отырады.

Тазалау операцияларында көбікті қабат концентратқа сапасы жағынан қойылатын талапқа сай сыпырылуы қажет. Бірінші тазалау операциясынан келесілерге ауысқанда, сыпырылатын көбік қабатының қалыңдығы азайтыңқырылап отырады.

Жалпы көбіктің құрылысына және оның бет қабаты түрінің ерекшеліктерін байқап, процестің қандай деңгейде жүріп жатқанын, әр түрлі реагенттердің артық не жетіспей жатқанын, көбіктің тым тұрақтылығын, не қажетті қалыпта екенін көруге болады.

Бақылау операцияларынан ақырғы қалдық шығатын болса, онда жоғалымды азайту үшін көбікті қабат толығырақ сыпырылады.

§ 5. Қалқып алынған көбікті басу

Қалқып алынған көбіктің тұрақтылығы тым жоғары болса, біріншіден, оны келесі процестерге тасымалдау қиындайды. Науаға түскен көбік бұзылмаса одан асып төгіліп, жоғалым көбейеді. Екіншіден, келесі операцияға түскенде көбік ішіндегі әр түрлі минералдар түйіршіктері жекеленбесе, демек олардың шоғырлары бұзылмаса, флотацияланудың таңдамалылығы төмендейді.

Көбіктің аса тұрақты күйге түсуіне үлкен себеп болатын фактор - онда сулануы жоғары шламды заттың көп болуы. Кейде солардың әсерімен көбік өте тығыздалып, қалыңдығы жұқарып, пульпа үстінде тұтастық түзеді. Оны қалқыма деп атайды. Оның пайда болуы процесс режимін тез өзгертудің қажет екенін аңғартады. Айта кетелік, егер көбікте суланулары өте төмен шламды түйіршіктер мол болса, онда олар керісінше әсер етеді: көбіктену жоғарыламайды, демек "көтерілмейді". Себебі, ерекше су қабатының минералданған көпіршіктер беттерінде аздау нәтижесінде көпіршіктердің бірігіп кетуі оңайланады.

Тәжірибеде көбікті басудың біраз әдістері белгілі. Ең жиі қолданылатыны көбікті қысымы жоғары су сорғалаңымен үру. Науадағы көбікке оның жоғарғы басынан су қысыммен түсіріледі. Бұл су, екінші жағынан, науаға түскен заттың шөгіп қалмай тасымалданып, келесі операцияға жеткізу үшін қажет.

Механикалық әдістің күшті әрекетті түрі чанға не зумпфтарға түсірілетін көбікті тікелей импеллер не басқадай араластырғыш үстіне түсіріп басу (бұл аппараттар ортадан тепкіш көбік басқыштар деп аталады).

Бірақ бұл әдісті барлық фабрикаларда қолдануға келмейді. Бірнеше компонентті кендерді байытуда, көп операциялардан шығатын көбікті өнімдерді бұл әдіспен басу жабдықтауды күрделендіріп жіберер еді. Осыған байланысты оны қарапайым, бір компонентті және тез шламданатын кендерді байытуда тиімді қолдануға болады. Мысалы, бұл әдіс апатит-нефелинді кендерді байыту фабрикаларында қолданылады.

Көбікті физико-химиялық әдістермен басу, үшінші параграфта көрсетілген процестерге негізделген. Оларға жататындар, анорганикалық аз суланатын, коллоидты заттар түзетін қосылыстарды қолдану, көбіктендіргіштердің (спирттің және т.б.) концентрацияларын өсіру, аполярлі заттарды қолдану.

Физикалық әдістерге вакуум тудыратын және эжекторлы қондырғыларды қолдану, ультрадыбысты, электрлі және термикалық әдістер жатады. Ол үшін, әр түрлі дыбыс шығарғыш қондырғылар және чандарда көбікті жоғары температуралы бұмен өңдеу қолданылады.

Келтірілген әдістердің әр қайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Соған байланысты, олардың ең тиімдісін таңдау нақтылы жағдайға сай орындалады.

Жоғарыда келтірілгендей, көпшілік күрделі құрамды кендерді байыту процестерінде жиі қолданылатындары арнайы жабдықтарды қажет етпейтін, қарапайым механикалық әдістер.

ТӨРТІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯЛАУ МАШИНАЛАРЫ ЖӘНЕ КӨМЕКШІ ЖАБДЫҚТАР

I ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛАУ МАШИНАЛАРЫ

§1 Флотациялау машиналарының классификациясы және оларға қойылатын талаптар

Флотациялау машиналарын әр түрлі белгілеріне қарай классификациялауға болады. Сол белгілерінің ішінде ең бастысы пульпаны ауалау әдісі. Конструкциялары жағынан олар камералы, науалы және колонналы болып бөлінеді. 12 кестеде оларды ауалау әдісіне қарай, сонымен қатар конструкциялық ерекшеліктері көрсетілген классификация келтірілген.

12-кесте

Флотациялау машиналарының классификациясы.

Типтері	Ауалау әдісі	Конструкциялық ерекшеліктері	Қосымша белгілері
1. Механикалық	Ауа пульпа ішіне әр түрлі конструкциялы жылдам айналатын араластырғыштар әсерімен сорылады.	Камералы	1. Камералы 2. Тура ағымды камералы
2. Пневматикалық	Пульпа ішіне ауа қысыммен айдалып түсіріледі	1. Науалы 2. Колонналы 2. Колонналы	1. Терең аэролифті 2. Таяз аэролифті 3. Көбікте бөлгіштер Үлкен диаметрлі тік құбырлар
3. Пневмомеханикалық	Ауа қысыммен түсіріледі, пульпа араластырылады	Камералы	
4. Вакуумды, компрессионды	Көпіршіктер пульпада еріген газдан шығады	Жеке камералы не науалы	1. Пульпа үстінде ауа қысымы азайтылады 2. Пульпа қысыммен түсіріледі

Пайдалы қазындыларды флотациялау тәжірибесінде және басқада мақсаттармен флотациялық машиналарды қолдану нәтижесінде және процестерді зерттеу барысында оларға қойылатын талаптар белгіленді:

1. Пульпаның барлық көлемінде ауа біркелкі көпіршіктер түрінде болып және көпіршіктердің ірілі-ұсақтығы қажетті қатынаста болуы қажет.

2. Минерал түйіршіктері шөкпей үнемі қозғалыста болып, олардың көпіршіктермен жиі және аз жылдамдықпен соқтығысуларын қамтамасыз ететін гидродинамикалық режим жасалуы керек.

3. Минералданған көпіршіктер пульпа бетіне иірімсіз, жадағай тік бағытты қозғалыспен көтерілулері қажет.

4. Көбікті қабат машинадан белгілі жылдамдықпен шығарылып, соның нәтижесінде көбіктің сапасы белгілі шектен төмендемеуі қажет. Көбік тез шығарылса, оның құрамындағы бос жыныс минералдар түйіршіктері пульпаға қайта түсіп үлгермейді де, концентрат сапасы төмендейді. Егер көбік тез шығарылмаса, онда көбік құрамынан бағалы минералдар түйіршектерінде, әсіресе ірілері, пульпаға түсіп үлгіреді де, бөліп алу дәрежесі төмендейді.

5. Процестің үздіксіз жүруі қамтамасыз етілуі қажет, демек пульпа машинаға үздіксіз түсіріліп, көбікті өнім және қалдық үздіксіз шығып жатуы керек.

6. Камераларда не науаларда пульпа деңгейін өзгертіп отыруға арналған механизм болуы қажет.

7. Машина конструкциясы оның жұмысын реттеуге, жөндеу жұмыстарын жүргізуге қолайлы және құны неғұрлым төмен болуы керек.

Осы талаптардың барлығына бір ғана типті машинаның сай келуі қиын. Машина конструкциясы негізінде кен қасиеттерімен анықталуы қажет. Олардың бастылары: 1) флотациялауға түсетін кеннің ірілігі, ал ол, кеннің сепкілдігіне сәйкес ұнтақталуымен байланысты;

2) кеннің шламдану дәрежесі; 3) бағалы минералдардың флотоактивтілігі; 4) флотацияланатын минералдардың тығыздығы; 5) кендегі жеке концентраттарға бөлінетін бағалы минералдар саны. Сонымен байланысты, байытуға қолданылатын технологиялық схемалар қарапайымды не күрделі болып келеді.

Флотациялық машиналардың конструкцияларының өзгертілуі әр қасиетті кенге ең сай келетін талаптардың орындалуына сәйкес дамыған. Классификацияда келтірілген машиналардың көп уақыт кең таралып келгені механикалық машиналар болды. Оған басты себеп болған, көпшілік кендердің көп металды болып, күрделі технологиялық схемалардың қолданылуы болды. Олардың біраз кемшіліктері ескеріле отырып кейінгі 20-30 жылдарда көп фабрикаларда пневмомеханикалық машиналар қолданыла бастады. Пневматикалық машиналардың бірнеше түрлері жасалды. Олардың өз ерекшеліктері бар. Кейбір кендер және көмір үшін оларды тиімді қолдануға болады. Ондай кендер түріне, мысалы, бір компонентті және байыту үшін қарапайым технологиялық схемаларды қажет ететін кендер жатады (күкірт, көмір және т.б.).

§2. Флотациялық пульпаның ауалану сипаттамалары

Пульпаның ауалануы оның ішіндегі ауаның жалпы көлемімен, ұсақ көпіршіктерге бөлінуімен, көпіршіктердің пульпа ішінде жайылуының біркелкілігімен, жоғары көтерілу траекторияларымен және жылдамдықтарымен сипатталады.

Пульпа ішіндегі ауаның жалпы көлемі ол қандай әдіспен енгізілетініне байланысты. Әр түрлі конструкциялы машиналарда ол кең шекте өзгереді. Жалпы орташа есеппен (ол өндірістік тәжірибеден алынған) пульпаның көлемінің 30% ауа үлесіне тиеді. Ол қолданылатын операциялар түріне қарай өзгеріп отырады. Мысалы, негізгі (басты) операцияда ауа көлемі жеткілікті болуы қажет, ал тазалау операцияларында азайтылады. Технологиялық көрсеткіштердің жоғары мәндері, ауа көлемі тек белгілі мөлшерде болғанда ғана алынады.

Механикалық машиналарда пульпаға ауа импеллердің айналуымен байланысты түседі. Ол үшін импеллер сол деңгейдегі камерадағы пульпа қысымынан (H_n) артық статикалық қысым (H_c) тұдыруы қажет. Ортадан тепкіш принципімен жасалған машиналардың әрекет, теориясы бойынша, импеллердің статикалық қысымы төмендегі теңдікпен анықталады:

$$H_c = \psi \cdot v^2 / 2g,$$

мұнда ψ - импеллердің конструкциясына тәуелді коэффициент (статорсыз импеллер болса $\psi = 0,75 \div 0,85$); v - импеллердің шеңберлі жылдамдығы.

Ауа импеллермен егер шеңберлі жылдамдық белгілі бір аумалы жылдамдықтан (v_0) асса ғана сорылады. Аумалы жылдамдықта

$$H = (v^2 - v_0^2) \psi / 2g = K(v^2 - v_0^2),$$

K - пропорционал коэффициенті.

Егер импеллер үстіне түсетін пульпа көлемі ортадан тебіліп үлгірмейтіндей болса, демек оның үстіңгі орталық аймағы толы болса, онда ауа сорылмайды. Осыған байланысты шеңберлі жылдамдықтың әр шамасына, түсетін пульпаның мөлшері сай болуы қажет. Осы мақсатпен механикалық машиналарда импеллер үстіне түсетін пульпа көлемі арнаулы қондырғымен реттеліп отырады.

Сорылатын ауа көлемі шеңберлі жылдамдық өскен сайын арта береді. Бірақ екпінді күштердің үлкеюіне және энергия шығынының өсуіне байланысты, шеңберлі жылдамдықты тым жоғарылатуға болмайды. Әдетте, ол 10 мм/с-тен аспайды.

Флотациялық процестің ауалануында ең маңызды роль атқаратын жай, ауаның ұсақ көпіршіктерге бөлінуі.

Ауаның ұсақ көпіршіктерге бөлінуі негізінен екі әдіспен орындалады: ауаның тұтас сорғалаңына пульпаның механикалық әсерімен және сорғалаңды ұсақ тесіктердің өткізу арқылы.

Механикалық және пневмомеханикалық машиналарда ауалағыш қондырғылардың әсерімен ауалы пульпа өте турбулентті (иірімді) қозғалыста болады. Соның нәтижесінде, ауа сорғалаңын үзіп бұзатын, онымен қатар судың (пульпаның) тұтас қабатын созып, ішінде кавитациялық ауасыз қуыстар тудыратын, әр түрлі бағытта әсер ететін күштер пайда болады. Ауа сорғалаңының көпіршіктерге бөлінуі және олардың ұсақтануы неғұрлым оның және судың қозғалу жылдамдықтарының арасындағы айырмашылық артса, сонымен қатар су-ауа шекаралығында бет тартыс (σ_{c-a}) азайса, соғұрлым тиімді жүреді.

Зерттеулер нәтижесінде ауаның ұсақтануына пульпа ішінде кіші иірімді қозғалыстар орталықтарының көп болуының әсері жоғары екендігі анықталған. Осы мақсатқа сай жасалған ауалағышты өндірісті сынақтан өткізгенде жақсы нәтиже берген.

Пульпаның иірімді қозғалысында ірі көпіршіктер тұрақсыз келеді. Олардың сумен шекаралығындағы иірімдер ірі көпіршіктің біраз бөлегін жарып-жұлып әкетіп, ұсақ көпіршіктерге айналдырып отырады. Екіншіден, ірі көпіршіктердің пішіндері құбылып өзгермелі келеді де, соның нәтижесінде тұрақтылықтары төмен болып, белгілі жағдайда ұсақ көпіршіктерге бөлінеді.

Көпіршіктер диаметрлері кішірейген сайын олардың тұрақтылығы жоғарылайды. Осындай қалыпқа жету үшін пульпа интенсивті араластырылып, неғұрлым ықшамды иірімділіктер көп болуы қажет.

Пневматикалық машиналарда ұсақ көпіршіктер қысыммен түсірілетін ауаны ұсақ тесікті заттардан (тесікті резеңке, саңылаулы керамика және т.б.) өткізу арқылы алынады.

Алынатын ауа көпіршіктерінің диаметрлері тесіктер диаметрлерімен, ауаның одан өту жылдамдығымен (ол ауаның түсу қысымына байланысты) және тесіктердің ара қашықтығымен анықталады.

Егер ауаның тесіктен шығу жылдамдығы белгілі шамадан артса, онда ауа көпіршіктерге бөлінбей, тұтас сорғалаң түрінде шығады. Тек содан кейін пульпаның механикалық әсерімен көпіршіктерге бөліне бастайды. Тесік аралары өте жақын болғанда да, олардан шыққан ауа бірігіп, тұтас сорғалаң құрайды.

Тесіктен шығатын көпіршік диаметрінің тесік диаметріне тәуелділігін көпіршіктің көтерілу күшімен, оны ұстауға бағытталған бет тартылыс күштің арасындағы тепе - теңдік болу шартынан табуға болады.

Көпіршіктің көтерілу күші Архимед заңы бойынша:

$$F_A = (\delta_c - \delta_a) q \pi d^3 / 6$$

мұнда d - көпіршік диаметрі, мм; δ - судың, δ_a - ауаның тығыздықтары, $\pi d^3 / 6$ - көпіршік көлемі.

Көтерілуге кедергі күш (F_K) тесіктің периметрі бойымен әсер ететін бет тартылысымен анықталады:

$$F_r = \pi d_m \sigma_{c-a},$$

мұнда d_m - тесік диаметрі, мм; σ_{c-a} - су және ауа шекаралығындағы бет тартылысы.

Көпіршіктің тесіктен шығардағы ең үлкен диаметрі (d_{max}) екі күштің айырмашылығы шартынан ($F_A - F_K$) табылады:

$$d_{max} = \sqrt[3]{6 \cdot \sigma_{c-a} d_m / (\delta_c - \delta_a) q}.$$

Бұл формуладан көпіршік диаметрі неғұрлым тесік диаметрінен кіші болса және су-ауа шекаралығында бет тартылысы төмендесе, соғұрлым көпіршік диаметрі кішірейеді. Сондықтан, бет тартылысын көбіктендіргіш реагенттер қосып төмендету қажетті шарт.

Ауаның тесіктерден өтіп шығуы үшін, ол аппараттағы пульпа қабатының статикалық қысымынан және көпіршік ішіндегі қысымнан артық қысыммен түсірілуі қажет. Ол қысым шамасын тек тәжірибемен ғана анықтауға болады.

Пневматикалық машиналарда егер көпіршіктер диаметрі орташа 3-4 мм болғанда, пульпадағы ауа көлемі мөлшері 15-30% тей болады. Суда еріген газ молекулаларының бірігіп, ауа көпіршіктерінің көп не аз бөлінуі пульпаның газ молекулаларымен қанығуына, су-ауа шекаралығында бет тартысының азаюына және газбен қанығу қысымы мен пульпа бетіндегі қысымның айырмашылығына тәуелді.

Н.Ф.Мещеряковтың деректері бойынша, 933 гПа-ға тең вакуум жасалса, 1 л көбіктендіргішпен өңделген судан оның ішінде еріген газдың 90-96%-ті шығады. Оның көлемі 300 миллилитрдей.

Пульпада газ молекулаларының еруі және минерал беттерінде көпіршік түрінде бөлініп шығуы азды-көпті барлық машиналар түрлерінде орын алады.

Пульпаның иірімді қозғалысында ауа көпіршіктерінің бір - бірімен соқтығысуы заңды құбылыс. Әсіресе, көлем бірілігінде олардың саны артқан сайын соқтығысуларыда жиілейді. Олардың соқтығысқанда іріленуін тоқтататын су-ауа шекаралығында адсорбцияланатын көбіктендіргіш молекулалары. Оның қажетті концентрациясы реагенттің қасиетіне қарай тәжірибемен анықталуы қажет.

Көпіршіктердің минералдануына және флотация уақытына, олардың қалқып көтерілу жылдамдығы белгілі әсер етеді. Көтерілу жылдамдығы бірсыпыра факторлармен байланысты. Мысалы, оларға пульпаның гидродинамикалық қозғалу режимін, көпіршік диаметрін, олардың минералдануларын, көбіктендіргіш концентрациясын, пульпаның тығыздығын және т.б. жатқызуға болады. Осылардың жиынтығының әсерінің күрделілігінен көтерілу жылдамдығын есептеу жолын табу қиын. Қазір тек жеке көпіршіктің көтерілу жылдамдығын есептеуге арналған формулалар ғана белгілі. Тәжірибеден алынған деректерге қарағанда, диаметрлері 3-4 мм-ден артатын көпіршіктердің орташа көтерілу жылдамдықтары 25-30 см/с.

Көбіктендіргіш реагенттер түйіршіктердің көтерілу жылдамдығын азайтады. Олай болуы көпіршіктердің кішіреюімен ғана байланысты емес, сонымен қатар су-ауа шекаралығында пайда болатын ерекше су қабатының тұтқырлық туғызуының әсері.

Пульпа тығыздығы артқан сайын оның тұтқырлығы өсіп, көпіршіктің көтерілу жылдамдығын төмендетеді. Бірақ пульпа тығыздығы белгілі мөлшерден асқанда, ауаның ұсақ көпіршіктерге бөлінуі қиындап ірі күйде қалады да, көтерілулері жылдамдайды.

Көпіршіктердің көтерілу жылдамдықтарына әсер ететін факторға олардың минералдануларыда жатады. Кіші диаметрлі көпіршік беті толық минералданса, ол көтерілу орнына, керісінше, батып кетеді не пульпа ішінде көтерілмей жүзе береді.

Камера ішіндегі пульпаның әр деңгейінде көпіршіктердің көтерілулері әр түрлі: төменгі қабаттарда олар ұсақ болғандықтан және иірімді қозғалыстың әсерімен баяу көтеріледі де, жоғарғы қабаттарда диаметрлерінің біртіндеп өсуімен және пульпа қозғалысының жайлануымен көтерілу жылдамдығы үлкейеді.

Флотация жылдамдығына, демек процестің өнімділігіне, үлкен әсер ететін факторлар көпіршіктердің диаметрлері және пульпа көлемінде біркелкі жайылуы.

Кейбір зерттеу нәтижелеріне қарағанда механикалық машиналарда көпіршіктердің басым көпшілігінің диаметрлері 0,8-1,0 мм мөлшерінде болады, ал пневматикалық машиналарда - 3-4 мм шамасында.

Көпіршіктердің пульпада жайылуы неғұрлым біркелкі болса, демек пульпаның ауалануы толығырақ болса, олардың минералдар түйіршіктерімен соқтығысуы жеңілдейді де, флотациялану ықтималдықтары өседі. Жайылу біркелкілігі, кезегінше, пульпаның гидродинамикалық қозғалысы мен оның тығыздығына байланысты.

Пульпаның ішіндегі жалпы ауа көлемін және оның әр аймағындағы үлесін мөлшерлі түрде әр түрлі белгілі қарапайым аспаптарды қолданып анықтауға болады.

§3 Механикалық флотомашиналар

Бұл машиналардың басқалардан басты айырмашылығы, тез айналатын қондырғының әсерімен пульпада ортадан тепкіш күш пайда болады да, сол қондырғының үстіңгі аймағында біраз шамалы вакуум жасалады. Соның әсерімен пульпа ішіне атмосферадан ауа сорылады.

Айналмалы қондырғының әр түрлі конструкциялары белгілі. Бұрынғы СССР-да ең көп тарағаны М е х а н о б р (ФМ) м е х а н и к а л ы қ ф л о т о м а ш и н а л а р ы. Бұл машиналар екі камералы секциялардың жалғастарынан тұрады, демек операцияларда камералар саны жұпты болады. Камералардың көлемі 0,14 м³-тен 6,3 м³-ке дейін өзгереді. Бірінші камера сорғыш түрінде, ал екінші тура ағымды болады. Қажетіне қарай бір машинада бір не бірнеше сорғыш камералар орнатылуы мүмкін, ал қалғандары тура ағымды болады.

Ең бірінші камера ретінде тек сорғыш камера пайдаланылады. Оған бастапқы пульпа камера қабырғасында орнатылған қалта 14 арқылы түсіріледі (40-сурет). Қалта импеллердің 3 орталық үстіңгі жағы мен құбырмен 13 жалғастырылған. Камера ортасында пульпаны араластыру және ауалау мақсатымен орнатылған қондырғы жүйесі ауалау блогы деп аталады. Оның құрамында тік орнатылған вал 4 бар. Импеллер 3 сол валдың төменгі ұшына орнатылған. Вал орталық құбыр 6 ішінде орналасқан. Құбырдың кеңіген төменгі ұшы дискамен 10 бітеді. Онда шеңбер бойымен орналасқан тесіктер бар, ал астыңғы бетінде радиусқа 60° жасай көлбеу орнатылған бағыттағыш қалқаншалар 12 бар. Орталық

40-сурет. Механобр механикалық флотомашинасының қиынды көрінісі.

құбырдың жоғарғы шеті подшипник корпусымен ауа кірмейтін тығыздықпен жалғастырылып бекітілген. Бұл құбырға атмосферадан ауа түтік 7 арқылы түседі.

Импеллер 3 пішіні тарелка тәріздес. Оның үстіңгі шетіне айнала радиус бағытымен қалқаншалар 11 орнатылған. Орталық құбырдың төменгі кеңейген бөлігінде (стақан) үш тесік бар. Оның біреуіне (бірінші сорғыш камерада) құбырмен 13 бастапқы пульпа түседі. Тура ағымды камераларда ол тесік тығынмен жабулы болады. Одан басқа бір - біріне қарама қарсы орналасқан екі тесік бар (камераның алдыңғы және арт жағына қараған стақан қабырғаларында). Оның біреуіне (артқысына), басқа операциялардан қайтарылатын екіаралық өнім түсірілуі қажет болса, тасымалдағыш құбыр келіп жалғанады. Екіншісі тартқыш 9 ұшына бекітілген қақпақшамен (шибер) 8 жабылады, демек тартқышпен ол тесік үлкейтіліп не кішірейтіліп, импеллер үстіне камерада құйылатын пульпаның көлемін азайтып не көбейтуге болады.

Сорғыш және тура ағымды камералар тесікті қалқамен 2 бөлінген. Сондықтан екі камерада да, пульпа деңгейі бірдей. Олардағы пульпа деңгейін не көтеріп, не төмендету үшін тура ағымды камераның қабырғасына арнайы қондырғы орнатылған. Ол астыңғы және үстіңгі жағы ашық металды қораптан тұрады. Оның астыңғы жағында, камера қабырғасында тесік 19 бар. Оның үлкенді-кішілігі тартқыш 20 үшін орнатылған жапқышпен 15 реттеледі. Ол тесіктен жоғары камера қабырғасында екінші тесік бар. Ол қозғалмалы қақпақпен 16 жабылады. Оның ашылып жабылуы теңгергіш жүгі 18 бар рычагпен 17 реттеледі. Демек, машина құрамына кіретін әр екі камера басқаларынан осындай қондырғымен бөлінген. Сондықтан әр екі камерада пульпа деңгейі басқалардан тәуелсіз реттеледі.

Енді осы “Механобр” машинасында процесс қалай жүретініне тоқталайық. Импеллердің үстіңгі орталығына бастапқы пульпа құбырмен 13 түссе, камера ішіндегі пульпа дискадағы 10 тесіктер арқылы импеллердің шет жақтарына құйылып жатады. Импеллердің жылдам айналу нәтижесінде, оның қалқаншаларымен пульпа қозғалмайтын етіп көлбеу орнатылған диск қалқаншаларының 12 арасымен, ортадан тепкіш күш әсерімен шетке бағытталады. Диск қалқаншаларының көлбеу орналасуына байланысты, пульпа олардың арасымен ешқандай кедергісіз өтеді. Осының нәтижесінде импеллер айналасында иірімді ағымдар пайда болмайды және пульпа үлкен жылдамдықпен шығарылады. Соның әсерінен импеллер үстінде біраз шамалы вакуум пайда болып, атмосферадан түтік арқылы ауа сорылады да, пульпамен араласады. Диск қалқаншаларынан шыққан жерде пульпаның иірілімделуімен ауа ұсақ көпіршіктерге бөлінеді.

Екінші тура ағысты камерада пульпа қозғалысы басқадай жүреді. Мұнда стаканның (орталық құбырдың төменгі шегі) бірінші камераға қараған жағы тесік тығынмен жабылады. Сондықтан импеллер үстіне пульпаның негізі ашылу-жабылуы қақпақшамен 16 реттелетін тесік арқылы түседі.

Тура ағысты камерадан пульпаның негізгі бөлегі жоғарғы тесік арқылы шығады. Оның көп не аз ашылуы рычагта орнатылған теңгеруші жүктің қойылған орнына байланысты. Ол белгілі орынға камераларда пулпаны белгілі деңгейде ұстауға сәйкес қойылады. Егер пульпа деңгейі бір себептермен көтеріліп кетсе, онда қақпақшада қысым жоғарылайды да, ол үлкенірек ашылып, пульпа деңгейін төмендетіп қалпына келтіреді. Ал камерада пульпа деңгейі төмендеп кетсе, қақпақшада қысым азайып, ол жабылыңқырайды. Соның нәтижесінде пульпа деңгейі камераларда көтеріледі. Осылай пульпа деңгейінің реттелуі жартылай автоматты түрде жүреді.

Төменгі тесіктен 19 пульпаның төменгі қабаттарында орналасқан ірі түйіршікті бөлегі шығады.

Екінші камерадан сипатталған қондырғы арқылы шыққан пульпа келесі жұпты камераның бірінші сорғышына тағы құбыр арқылы түсіріледі. Машинаның екі камералы секциялардан тұруы оларды қажеттілік санына қарай жалғастыруды, процестің өнімділігіне сәйкес көп камералы етіп құрастыруды көп жеңілдетеді.

“Механобр” машиналарының басқа типтерден біраз артықшылықтары бар: оның сорғыш камерасы болуы, басқа операциялардан түсетін екіаралық өнімдерді оған түсіру үшін насостардың қажеті жоқ. Соның нәтижесінде көп операциялы күрделі схемалар қолданылғанда, пайдаланылатын насос сандары азаяды. Екіншіден, пульпа араластырғыш және ауалағыш қондырғы жеке блок түрінде жасалған. Оның құрамына кіретін кейбір бөлшектер тозса, блок тұтас түрінде алынып жөндеуге қойылады да, оның орнына басқасы орнатылады. Мұның өзі жөндеуге уақыт кетірмеуге және машинаның тоқтау уақытын азайтуға мүмкіндік береді.

Машинаның кемшіліктеріне жататындар: пульпаның жоғары бағытта күшті ағынмен көтерілуі иірімді қозғалыс тудырып, көпіршіктердің жайлап көтерілу режимін бұзады. Иірімділікті азайту үшін камераның қабырғаларының астыңғы беттерінің әр жеріне тік қалқаншалар орнатылады. Екінші кемшілігіне импеллер және статор қалақшаларының тез тозуы жатады. Қазір көпшілік фабрикаларда олар тұтас резеңкеден құйылып жасалады не резеңкемен қапталады.

Машиналардың техникалық сипаттамалары қосымшаларда келтірілген.

Шет елдердің байыту фабрикаларында қолданылатын механикалық флотомашиналардың “Механобр” машиналарынан ерекшеліктері вал ұшында орнатылатын араластырғыш және ауалау механизмдерінің конструкцияларының әр түрлі болуында және көпшілігі тура ағымды болады. Солардың ішінде ертеден АҚШ-та қолданылып келе жатқаны тура ағымды “Ф а г е р г р е н” ф л о т а ц и я л а у м а ш и н а с ы. Оның ауалау блогы (41-суретте) көрсетілген.

а)

б)

41-сурет. Фагергрэн машинасының ауалағыш блогы.

Ауалағыш тұтас резеңкеден не жасанды заттан құйылған ротор (а) және статордан (б) тұрады. Статор, қабырғаларында қатар-қатар орналасқан сопақша тесіктері бар, цилиндр пішінді. Тесіктер биіктіктері цилиндр биіктігіне жуық. Цилиндрдің іш қабырғасында тесіктер аралығында тік, шығыңқы қырлар орнатылған. Статор ауа түсетін құбыр ұшына бекітілген. Оның ішінде ұшына ротор орнатылған вал айналады. Ротор 8 не 10 радиальды біріктіріліп орнатылған қалқаншалардан тұрады. Статор биіктігі ротордан аз, демек ротордың төменгі жағы одан шығып тұрады.

Ротордың жылдам айналысында пульпа жоғары көтеріліп, сорылған ауамен араласып, статор қабырғасындағы тесіктерден өтіп көпіршіктенеді де, статор сыртындағы кеңістікке горизонталь бағытта қозғалып шығады. Көпіршіктер көтеріліп көбікті қабатқа шығып, ал пульпа айналып қайтадан статор ішіне құйылады.

Ротор күшімен пульпа статор сыртына жазық горизонталь бағытпен шығуына және ауалану процесінің тиімді жүруіне байласты, флотациялауда пульпаның деңгейін (жоғарғы бетін) төмен ұстауға болады. Соның нәтижесінде үлесті электр энергия шығыны бұл машиналарда төмен (1 тонна кенге 2 кВт сағаттан артпайды).

“Фагергрэн” машиналарының камера көлемі $28,3 \text{ м}^3$ жетеді. Бұлар шетелдерде ең көп тараған машиналар.

Көбік камералардың екі жағынан өздігінен асып төгіліп жатады. Олар кендерді және көмірді флотациялауға қолданылады.

Ауалау қондырғылары әр түрлі, басқада бірсыпыра шетелдік механикалық машиналар белгілі. Оларға жататындар: Америкалық “Денвер Суб-А”, “Денвер-М”, “Бут”, Германияда – “Гумбольдт”, Австралиялық “Вормен”.

Бұрынғы СССР-да “Механобр” дан кейін оның өзгертілген түрлері жасалды. Солардың бірі қайнау қабаты бар ФМ 6,3 КС флотомашинасы (42-сурет). Оның ФМ-нен айырмашылығы, біріншіден, орталық құбырдың төменгі кеңіген (стакан) жерінің үстін ала камера 1 ішінде тор 2 орнатылған. Оның тесік аудандары барлық бет ауданының 18-20%-дей. Екіншіден, пульпа импеллер үстіне құйылып айналма қозғалысқа келу үшін, камераның алдыңғы қабырғасының сырт жағына науа 5 орнатылған. Пульпа оның жоғарғы басынан

42-сурет. Қайнау қабаты бар ФМ 6,3 КС флотомашинасы

құйылып, оған жалғастырылған құбыр 6 арқылы орталық құбырға 3 түседі. Науаға пульпа оның жоғарғы шетіндегі жырық 4 арқылы құйылады.

Осындай ерекшеліктеріне бола процесс бұл машиналарда тиімді жүреді. Тор пульпаның иірімді қозғалыстарын басып, оның жоғарғы бағытта жайлы және бүкіл ауданда бір қалыппен көтерілуіне мүмкіндік тудырады. Осының нәтижесінде тор үстінде минералдар түйіршіктері қозғалмалы “қайнау” қалпында болады да, ауа көпіршіктері солардың араларымен ирелендей көтеріледі. Осындай режим олардың өзара көп рет және аз жылдамдықпен соқтығысуына мүмкіндік тудырады. Тік бағытты жайлы қозғалыс минералданған көпіршіктер бетінен түйіршіктердің айырылуын азайтып, көбікті қабатқа жетулеріне жағдай жасайды.

Бұл машиналар, технологиялық байыту схемалары қарапайым, химиялық шикі заттарды флотациялауда қолдану тапты. Жалпы барлық дерлік кен түрлеріне қолдануға болады.

Көмір флотациялауда кең тараған флотомашинаға бұрынғы СССР-да жасалған т у р а а ғ ы м д ы М Ф У ф л о т о м а ш и н а л а р ы ж а т а д ы .

Камерада екі ауалау блоктарының болуы пульпаның төменгі және жоғарғы қабаттарының толық ауалануларын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, пульпаның жоғары бағытта жадағай қозғалуы процестің тиімді жүруіне жағдай тудырады.

Механикалық флотомашиналарын басқаларымен салыстырғанда артықшылықтары, оларды негізінде кез келген пайдалы қазындыларды флотациялауға қолдануға болады және оларға арнаулы түрде ауаны қысыммен түсірудің қажеті жоқ.

Бұл машиналардың артықшылықтарымен қатар бірсыпыра кемшіліктері бар. Оларға жататындар: машиналар конструкцияларының күрделілігі, пульпаның ішіне ауаның сорылуы импеллер мен статордың тозуына тікелей тәуелді (олардың қалақшаларының ара қашықтығы 5-6 мм-ге тең болуы қажет, одан үлкейсе ауа сорылуы төмендей байстайды), энергия шығыны жоғары, статор мен импеллерді жиілеу жөндеудің қажеттігі.

Механикалық машиналардың осы кемшіліктерін азайту мақсатымен кейінгі 30-40 жылдарда пневмомеханикалық флотомашиналар жасалып, қолдану тауып кең таралуда.

§4. Механикалық флотациялау машиналарында процеске әсер ететін факторлар

Флотациялау машиналарында жүретін процесті сипаттауда басты орын алатын фактор п у л ь п а н ы ң а у а л а н у ы . Ауалануда пульпа ішіне тек сорылған ауаның көлемі ғана

емес, оның көпіршіктерге бөліну дәрежесі, көпіршіктердің неғұрлым бүкіл пульпа көлеміне жайылуы сияқты факторлар сипатталады.

Механикалық флотомашиналарда сорылатын ауа көлемі (Q) тікелей импеллердің шеңберлі айналу жылдамдығымен (U) байланысты. Ол артқан сайын сорылатын ауа көлеміде арта береді. Сонымен қатар шығындалатын электр энергия шамасыда (N) өседі. (43-сурет, а).

43-сурет. Әр түрлі факторлардың процеске әсері және олардың өзара байланыстары.

Шеңберлі айналу жылдамдығы белгілі шектен артқанда, пульпаның араластырылуынан туатын иірімділік дәрежесі жоғарылап, түйіршіктердің көпіршіктер бетінде жабысу күші төмендейді. Сондықтан ол тек белгілі мөлшерге дейін ғана жоғарлауы қажет. Осыған байланысты, шеңберлі айналу жылдамдығының шамасы, пульпа ішіне сорылатын ауа көлемі, орташа, пульпаның 30%-дей көлеміне сай болуы қажет.

Процеске үлкен әсер ететін фактор п у л ь п а т ы ғ ы з д ы ғ ы . Ол көлемнің бірлігіндегі қатты заттың проценттік үлесімен, не болмаса пульпадағы қатты заттың массасының сұйық зат массасына қатынасымен (Т : Ж) анықталады.

Пульпа тығыздығы артқан сайын (өнімділік тұрақты қалғанда), оның машина ішінде болу уақыты және флотореагенттердің концентрациясы артады.

Көбікті өнімде пульпа тығыздығы артқан сайын, бағалы заттың проценттік үлесі төмендей бастайды. Оған себеп болатын жай-бос жыныс минералдар түйіршіктерінің көбікке кездей соқ шығуы өседі, ал бағалы минералдардың ірі түйіршіктерінің көпіршіктерге жабысу күші үйкелістің күшеюі әсерінен төмендеп, пульпада қалып қояды. Сонымен қатар, мортты бағалы зат түйіршіктерінің ұнтақталып шламданулары артып, флотациялану қасиеттері төмендейді (43-сурет, б).

Пульпаның тығыздығының артуы, ауаның ұсақ көпіршіктерге айналуын және пульпа көлемінде біркелкі жайылуын қиындатады. Сондықтан, пульпаның ауалану дәрежесінің жоғарғы шегі оның тығыздығы 20-35% болғанда орын алады.

А у а к ө п і р ш і к т е р і н і ң ұ с а қ т а л у ы машиналардың ауалау механизмінің конструкциясына және көбіктендіргіштердің түрі мен концентрацияларына байланысты. Неғұрлым пульпаны араластыру күші жоғары болса, ауаның сорылуыда, ұсақталуыда және түйіршіктер мен көпіршіктердің соқтығысуларыда артады. Бірақ екпінді және үйкеліс күштердің өсуі нәтижесінде көпіршіктердің бетінде түйіршіктердің жабысу күші төмендейді. Сонымен қатар, электроэнергия шығыныда өседі.

Пульпаның ауалануына и м п е л л е р ү с т і н е т ү с е т і н п у л ь п а н ы ң к о л е м і белгілі әсерін тигізеді (43-сурет, в).

Сорылатын ауаның көлемі (Q) импеллердің орталық үстіне түсетін пульпа (П) көлеміне тәуелді. Пульпа көлемі белгілі мөлшерге дейін өскенде ауа көлеміде өседі, ал одан асса өсе берсе ауаның сорылуы азая бастайды да, сорылу тоқталады. Қажетті үлесті энергия шығыны тек өсе береді. Ең тиімді режим пульпаның белгілі көлемі импеллердің үстіңгі орталығына түсіріліп, оған қосымша диск тесіктері арқылы импеллердің шет аймағына түсірілгенде жасалады.

Шығындалатын үлесті энергия шығыны және сорылатын ауа көлеміне әсер ететін фактордың бірі камерадағы п у л ь п а д е ŋ г е й і н і ң б и і к т і г і . Пульпа деңгейі (Н) жоғарылаған сайын ауаның сорылуы төмендеп, энергия шығыны арта түседі (43-сурет, г).

Егер пульпа деңгейі белгілі мөлшерден төмендесе, оның импеллер маңайындағы қозғалыс режимі бұзылады, көпіршіктердің көтерілу жолы қысқарып, түйіршіктермен соқтығысулары азаяды, пульпаның жайдақ, тік қозғалысты жоғарғы қабаты жасалмайды. Осылармен қатар, машина камераларының пайдалы көлемі азайып, өнімділігі төмендейді.

Сондықтан процесс импеллер үстіндегі пульпа қабатының ең қажетті биіктігінде жүргізілуі қажет.

Байыту технологиялық көрсеткіштері камералардан көбікті қабатты қалқып алу әдістерімен тығыз байланысты.

Көбікті қабаттың қалыңдығы пульпаның деңгейімен анықталады: деңгей неғұрлым жоғары болса, көбік қабаты соғұрлым жұқалана береді. Сонымен қатар, оның қалыңдығына кеннің бірсыпыра қасиеттері (ондағы бағалы заттың проценттік үлесі, шламды бөлегінің аз-көптігі, тұрақтылығы және т.б.) әсер етеді. Соған қарай көбікті толық не болмаса жартылай қалқу, тез не аз жылдамдықпен қалқу қажеттіліктері анықталып, онда қалқудың әдістері таңдалады.

Көбік қалқитын қондырғының бірсыпыра түрлері белгілі. Ең жиі қолданылатыны екі қапалақты бір сыпырғыш. Ол камераның науаға жақын жағына орналасқан. Артқы аймақтардан көбік біртіндеп, өздігінен алға жылжып отырады. Көбікті қалқу жылдамдығы сыпырғыш валының айналу санын не болмаса қапалақ санын өзгертумен реттеледі. Егер көбік көлемі мол болса (мысал, көмір флотацияланса), онда паралель екі сыпырғыш орнатылады. Көбікті қабаттың тек бет қабатын (астыңғы қабатын қозғамай) сыпыру үшін айналмалы шынжырлар не лентаның бетіне тік орнатылған қалақшалары бар сыпырғыш қолдануға болады. Көбік қабатын бүтіл беттен тез жылдамдықпен сыпыру үшін арнаулы тартқыштарға не рычагтарға орнатылған сыпырғыштары бар қондырғы қолданылуы мүмкін.

Үлкен көлемді көбік қабатын камераның екі жағынан да сыпыру жиі қолданылады.

Табиғи аз суланатын не болмаса жйынағыш реагенттермен суланулары жоғары дәрежеде төмендетілетін және кенде проценттік үлестері өте аз минералдар флотацияланғанда көбік қабаты өте жұқа болады. Мұндай жағдайда оның құрылымын бұзбай толығырақ, бірақ сапасын төмендетпей бөліп алу үшін “а д г е з и я л ы қ” бөлу әдісі ұсынылды (В.А.Малиновский). Көбік түсетін науаға жақын жағына, камера бойымен параллель, пульпа бетіне дейін батырыла, ақырын айналып тұратын адгезиялық барабан орналасқан. Көбіктегі гидрофобты түйіршіктер оның бетіне жабысып қалады. Олар науа жағына жақындаған беттен қырғышпен қырылып науаға түсіріледі. Көбік барабан бетіне арнаулы сыпырғыш қондырғымен біртіндеп жылжытылып отырады.

Бұл әдіс кезінде Балхаш және Тырныауыз молибден фабрикаларында сынақтан өтіп, Тырныауыз фабрикасында негізгі және бақылау операцияларында қолданылды.

§5. Пневмомеханикалық флотациялау машиналары

Пневмомеханикалық машиналардың механикалық машиналармен салыстырғанда айтарлықтай артықшылықтары бар. Олардың ең бастысы бұларда пульпаны араластыру, түйіршіктерді шөкпейтін қалыпта қозғалысқа келтіру және түсірілген ауаны көпіршіктерге айналдыру мақсатымен жүргізіледі, ал ауа қысыммен айдалып түсіріледі. Олардың көптеген түрлері белгілі. Бірақ, бір - бірінен айырмашылықтары ауалау қондырғыларының әр түрлі болуында.

Бұрынғы СССР-да ең бірінші жасалғаны саусақты роторлы флотомашиналар (ФПМ). Олардың камера көлемі $6,3 \text{ м}^3$ -ке дейін болды. Машиналар тура ағымдыларға жатады (44 сурет). Олар камералардан тұрады. Пульпа бір камерадан келесі камераға бөлгіш қабырғадағы үлкен төрт бұрышты кеңістік арқылы өтеді. Саусақты импеллер (ротор) 2 іші қуыс конустан тұрады. Ол қуыс валдың 3 төменгі ұшына бекітіледі. Конустың шеңберлі шетіне саусақтар орнатылған. Ротор айналасына, камераның ішкі бетінде, радиалды бағытта пульпаның иірімді қозғалысын азайтатын пластинкалар, қалқаншалар 4 орналасқан. Олар тозығы жеткенде ауыстырылып отырады. Ауыр түйіршіктер шөкпей жақсы араласу үшін қалқанша пластинкалар камера түбінен жоғары орнатылады. Олар ауаның көпіршіктерге айналуына да әсерлерін тигізеді.

Ауа айдағыштан машинаның ұзын бойын қуалай орналасқан құбырға 5 ауа қысыммен түседі де, одан әр камераға жіңішке құбыр және подшипник корпусы арқылы қуыс валға түсіп, ротор арқылы пульпаға шығады. Ауа көпіршіктерге саусақтар аралығынан өткенде бөлінеді. Осы аймақта күшті иірімді қозғалыс тууы және қысым өсуімен байланысты ауаның суда еруіде орын алады. Еріген ауа пульпаның үстіңгі қабаттарында минерал түйіршіктері бетінде бөлінеді.

44-сурет. Саусақты роторлы пневмомеханикалық флотомашина.

Бұл машинаның үлкен артықшылығы (механикалық машиналармен салыстырғанда), әр камераға түсетін ауа көлемін қажетіне қарай үлкен шекте реттеу болатындығы, энергия аз шығындалады, жөндеу шығындарыда төмен. Ауаның қажетінше мол түсірілуіне байланысты, флотациялау уақытыда аздау. Кемшілігі ретінде ірілеу ауыр түйіршікті материалды флотациялаудың қиындығын келтіруге болады. Оның себебі, ротордың араластыру күшінің төмендігіне байланысты ауыр түйіршіктер шөгіп қалады.

Шет ел тәжірибесінде конструкциясы жоғарыда сипатталған машинаға ұқсас “Аджибейр” атты машиналар қолданылады.

ФПМ 12,5 және ФПМ 25 тура ағымды машиналар (көлемдері $12,5$ және 25 м^3) кейінгі кезде кеңінен қолдану тапты. Олардың ортадан тепкіш ауалағыштарының конструкциялары бірдей (45 сурет).

45 сурет. ФПМ 12,5 және ФПМ 25 машиналарының ауалағышы.

Ауа түсетін құбырдың 1 төменгі жағы, ашық төңкерілген конустың 2 ішіне орналасқан. Құбыр ішінде төменгі ұшына импеллер 5 бекітілген вал 3 айналады. Конустың төменгі шетіне

статор 4 орнатылған. Құбыр мен конус өзара радиальды тік орналасқан пластинкалармен бекітілген.

Ауа қысыммен құбырға түсіріледі, ал пульпа құбыр мен конус аралығындағы кеңістікке құйылып, тік бағытта айналмалы қозғалысыта болады. Ауамен араласқан пульпа көпіршіктеніп, импеллермен тебіліп статор арқылы шығып, камера түбіне жайылады да, жоғары бағытталады. Пульпаның жоғары көтерілу күшінің жеткілікті болуынан бұл машиналарда ірілеу түйіршіктердің флотацияланулары жақсарады. Бұл арда пайдалы қазындылардың барлық түрлерін флотациялауға болады.

Шет елдер тәжірибесінде осындай машиналар “Денвер ДР” (США) аталады.

Келтірілген машиналардан басқа бұрынғы СССР-да тура ағымды пневмомеханикалық машиналардың басқада түрлері жасалды.

ФПМУ 6,3 тура ағымды флотмашинасының камера көлемі $6,3 \text{ м}^3$. Оның ауалау блогы өсіті және конусты саусақты импеллерден тұрады. Соның нәтижесінде оларда үлкен көлемді ауаны көпіршіктерге айналдыру және камера көлемінде бір келкі жаюға мүмкіндік туды.

Бұлардан басқада ауалағыш конструкциялары өртүрлі машиналар жасалып, кейбірі химиялық шикізаттарды (кендерді) флотациялауда қолдану тапты. Оларға жататындар, мысалы, жүзгі (қайнау) қабатты пневмомеханикалық машина, дірілдеудік ауалағышты машиналар және т.б.

Шет елдердің өндірістік тәжірибесінде БФР (Швеция), “Минемет” (Франция), ОК16 және ОК38 (Финляндия), “Максвелл” (Канада), “Денвер ДР” (США) атты пневмомеханикалық машиналары қолданылады.

Пневмомеханикалық машиналар тобына пневмогидравликалық флотомашиналар жатады. Олардың бірсыпыра айтарлықтай ерекшеліктері бар. Бірақ циклонды ауалағышты және эжекторлы машиналар көптеген насостарды қажет етулерімен байланысты кеңінен қолдану таппады. Тек “Апатит” (СССР) машинасы ғана апатит-нефелинді кенді флотациялауға қолданылды.

§6. Пневматикалық флотациялау машиналары

Пневматикалық флотациялау машиналарында қозғалмалы бөлшектер болмайды. Пульпа қысымды ауамен араластырылып көпіршіктенеді. Оларға жататындар: аэролифті, колонды және көбікті қабатта бөлгіш машиналар.

Т а я з а э р о л и ф т і флотомашиналарда (46 сурет) ресиверден $1 \text{ } 1,2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ қысыммен түсетін ауа ваннаға 4 түтіктер 6 арқылы түсіріледі, ваннаның ұзын бойына созылып, паралель тік орнатылған екі қалқан 5 аралықтарымен жоғары көтеріліп, пульпамен араласады. Соған байланысты, қалқандар аралық аймақта пульпа тығыздығы төмендейді. Ал қалқандардың сыртқы аймағында пульпа тығыздығы жоғарырақ болғандықтан, қысым айырмашылығы әсерімен пульпа қалқан аралығымен көтеріліп, олардың жоғарғы шетіне жеткенде төмен бағытталады. Сөйтіп пульпа ваннаның ұзын бойымен екі қалқанды айнала қозғалыста болады. Пульпа қозғалу бағытын өзгерткен жерде иірімділік пайда болу әсерімен ауа көпіршіктеніп минералданады.

Қалқандардың үстіңгі жағына, төменгі шеттері пульпаға еңгізіле ауа атмосфераға шықпас үшін екі қабырғалы жапқыш 2 орнатылған. Ауаланған пульпа осы қабырғалардың төменгі шетіндегі тесіктер арқылы көбікті қабатқа шығады.

46 сурет. Таяз аэролифті флотомашина.

Пульпа ваннаның бір шетіне түсіп, екінші шетіне өз ағыны әсерімен екі бұрама қозғалыс жасай жылжиды. Ваннада пульпа деңгейі, соған қарай көбік қабатының қалыңдығы қалдық шығатын шетті көтеру не түсірумен реттеледі.

Минералданған қозғалмалы көбікті қабат ваннаның ұзын бойымен екі жақ шетінен асып төгіліп көбік науасына түседі.

Ваннаның көлденең қиынды ауданы $0,8-1,0 \text{ м}^2$, ұзындығы $3-16,5 \text{ м}$, ауа түсетін түтіктер диаметрлі $13-25 \text{ мм}$, ал олардың арасы $85-150 \text{ мм}$ болады. Ауа көлемі машинаның 1 м ұзындығына шаққанда $4-13 \text{ м}^3/\text{мин}$ шегінде өзгереді. Қысымды ауа айдауға шығындалатын энергия 1 т кенге шаққанда мөлшері $1,2-4 \text{ кВт. сағ.}$

Машинаның артықшылығы сол, конструкциясы қарапайым, бөлшектерін тікелей фабрикаларда жасауға болады.

Машина кемшіліктеріне үлесті өнімділігінің төмендігін, пульпаның әлсіз араласу нәтижесінде ауаның ұсақ көпіршіктерге толығырақ айналмайтынын және ірілеу түйіршікті затты флотациялауға келмейтінін жатқызуға болады.

Оларды негізінде жеңіл және оңай флотацияланатын кендер түріне қолдану тиімді. Терең аэролифті флотомашиналар конструкциялары жағынан таяз аэролифті машиналарға ұқсас ((47 сурет). Олардың негізгі айырмашылығы, ванна тереңдігі $2-3 \text{ метрге}$ жетеді. Екі қалқан 2 аралығы сыртындағы бөлімдер флотациялау бөлімдері деп аталады. Ауа түсетін түтіктердің (патрубоктар) 3 төменгі шеттеріне

47- сурет. Терең аэролифті флотомашина.

резеңкеден жасалған ұштық 4 орнатылған. Оның ортасында ауа қысыммен түскенде ғана ашылатын жырығы бар. Кездейсоқ, ауа түсірілуі тоқталса жырық жабылады да, түтік ішіне пульпа еніп, құммен бітелмейді.

Машина іске қосылғанда қысымды ауа жырықты ұштықтан шығып, шөккен затты біртіндеп қопсытып, пульпа араласа бастайды.

Түтіктен шыққан ауа оның бірсыпыра биіктігіне дейін ұсақтанбай тұтас ағым түрінде орала көтеріледі, тек жоғарғы жағында ірі көпіршіктерге бөліне бастайды. Ұсақ көпіршіктерге пульпа қалқандардың жоғарғы шеттерін орай, қабырғалар бөгетімен төмен бағытталғанда пайда болатын иірімді қозғалыстар әсерімен бөлінеді.

Пульпа ваннаның ұзын бойына қалқаншаларды айнала бұрама траекториялы қозғалыс жасауда, ваннаның түп аймағында гидростатикалық қысымның жоғарылап, ал пульпаның бет қабаттарында төмендеуі нәтижесінде, бұл машиналарда суда еріген газдың минерал түйіршіктері бегінде көпіршік түрінде бөлініп шығу ықтималдығы жоғары.

Ауаның мол болуынан көбік қабатының қалыңдығы ваннаның жоғарғы үштен бір бөлігін алып жатады да, өздігінен ваннаның ұзын бойымен шетінен асып науаға түседі.

Қалқандардың екі аралық аймағы мен сырт аймақтарында ваннаның биіктігіне байланысты қысым айырмашылықтары жоғары болғандықтан, пульпаның араласу және қозғалыс кимылы қарқынды болады. Соның нәтижесінде, пульпаның жоғарғы қабаттарында иірімділік күшінің артуынан ауаның ұсақ көпіршіктерге бөліну процесі интенсивті жүреді және еріген ауаның бөлініп шығуыда жоғары.

Ваннаның қалдық шығатын шетінде арнаулы шығару қондырғысы бар аэролифті көтергіш орналасқан. Ол құмды затты шөктірмей жоғары көтеріп барып шығаруды қамтамасыз етеді.

Көбіктің ванна бойында бір қалыпты шығуын ресивердің әр тұсынан түтіктерге шығатын ауа көлемін өзгертумен реттеуге болады.

Машина өнімділігі (пульпа көлемімен бағалағанда) минутіне 10 м^3 -ке жетеді, 1 м ванна ұзындығына келетін ауа көлемі $5-7 \text{ м}^3/\text{мин}$. Ауа қысымы $2,5 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ шегінде өзгереді.

Терең аэролифті Механобр машиналарында (АФМ 2,5) энергия шығыны механикалық және таяз аэролифті машиналармен салыстырғанда 40% төмен. Бұл машиналарды өте

қарапайымды схемаларымен байытылатын және көбікті өнім шығымы үлкен қазындыларды (мысалы, көмірді) флотациялауда қолдану өте тиімді. Түсті металдар кендірін байытуда қолдануларын тежейтін жайлар, көп операциялары күрделі схемаларда қолдану бірсыпыра қиындықтармен байланысты. Мысалы, бір операциядан екінші операцияларға түсіру үшін көптеген насостар қолдану қажеті туады. Сонымен қатар, бұларда ауыр тығыздықты минералдардың ірілеу түйіршіктерінің флотациялануы төмен.

К о л о н н а л ы п н е в м а т и к а л ы қ м а ш и н а л а р (48 сурет).

48 сурет. Колонналы пневматикалық флотомашина.

Бұл машиналарда оларға түсетін пульпа және ауа көпіршіктері қарама-қарсы тік бағытта қозғалады: пульпа жоғарыдан төмен қарай, ал ауа көпіршіктері төменнен жоғары қарай көтеріледі. Колонна қиындысы дөңгелек не төрт бұрышты болуы мүмкін. Биіктігі 2-10 метрге, ал диаметрі бір метрге жетеді. Бастапқы пульпа тасымалдағыш құбырмен 2 колоннаның 1 орта шеніне түсіріледі, ал ауа ресиверден 3 қысыммен ($1,4 \cdot 10^5$ Па) ұсақ тесікті (5 мкм-ден 2,5 мм-ге дейін) ауалағышқа 4 түседі. Ауалағыш көбінде ұсақ тесікті резеңкеден жасалады.

Пульпа төмен ағып патрубоктан 7 шығады. Ауа көпіршіктері колоннаның жоғарғы жағына жиналып көбік қабатын түзеді. Көбік қабаты үстіне жіңішке құбыр 5 арқылы су шашылып тұрады. Соның әсерімен көбіктегі бос жыныс минералдар түйіршіктері біртіндеп төмен жылжып пульпаға қайта түседі. Жиналған көбік өздігінен құбыр 6 арқылы шығып жатады.

Пульпаның төмен ағым жылдамдығы ауа көпіршіктерінің жоғары көтерілу жылдамдығынан аз болуы қажет. Озара бірігулері (коалесценция) тезделіп, процестің бұзылуына әкеліп соғады.

Колонналы флотомашиналарының басқалардан артықшылықтары: орнатуға өте аз аудан қажет етеді, қозғалатын бөлшектері жоқ, сондықтан энергия тек қысымды ауа айдауға ғана жұмсалады, жұмысын оңай реттеуге болады.

Олардың тұрақты жұмыс істеулеріне екі ғана фактор әсер етеді: колоннада пульпаның жоғарғы деңгейі және ауалағыштағы ауа қысымы. Сондықтан олар автоматтандырылған болуы қажет. Бұл машина кезінде Балхаш кен-металлургиялық комбинатының мыс фабрикасында сынақтан өтіп қанағаттандырылғы нәтиже көрсетті. Оның үлесті өнімділігі “Механобр” машинасымен салыстырғанда 5-8 рет артық болатыны анықталды.

К ө б і к т е б ө л г і ш ф л о т о м а ш и н а л а р (49 сурет). Бұлардың басқа машиналардың барлығынан айырмашылығы, алдын ала реагенттермен өңделген пульпа көбік бетіне түсіріледі. Ол үшін ваннаның 1 үстіңгі ортасының ұзын бойына көлбеу қарама-қарсы бағытта науашықтар 4 орнатылған. Олар машинаның оң және сол жағына ұзын бойына пульпаны біркелкі бөліп, жайлы ағыспен түсіруге мүмкіншілік береді. Көбік бетіне түсер алдында пульпаға шашыратқыштармен 5 су себіледі. Ваннаның жоғарғы ернеуінен 150-200 мм төменірек екі жақ ұзын бойына қатар-қатар тесікті резеңкеден жасалған түтіктер-ауалағыштар 2 орнатылған. Оларға ауа қысыммен түсіріледі ($1,5 \cdot 10^5$ Па).

Пульпа көбікті қабаттың үстіне түскен кезде, гидрофобты минерал түйіршіктері көпіршіктер беттеріне жабысып қалады да, ал гидрофильді түйіршіктер өз салмақтарымен шөгіп ванна түбіне түседі. Одан әрі шығару қондырғысы 8 арқылы ваннадан шығады. Көбікті қабат өздігінен ваннаның жоғарғы ернеуінен 6 асып науаға 7 түседі.

Минералдар түйіршіктерінің тікелей көбік бетіне түсірілуі екпінді күштер туғызбай, гидрофобты түйіршіктердің толық флотациялануларын қамтамасыз етеді. Бұл процестің үлкен ерекшелігі сол, басқа машиналармен салыстырғанда флотацияланатын түйіршіктер диаметрлері көп есе өседі. Мысалы, сульфидті минералдар түйіршіктерінің диаметрі 2 мм-ге, көмір - 4-3 мм-ге, алмаз - 2 мм-ге, сальвин - 3-4 мм-ге дейін жоғарылайды.

Көбікте бөлу процесінің басқа машиналардағы процестен бір ерекшелігі флотациялау уақыты

49-сурет. Көбікте болгіш флотомашинасы.

ұзарған сайын, көбікті өнімдегі бағалы заттың проценттік үлесі арта береді де, ал оның шығымы және бөліп-алу дәрежесі кеми береді. Осыған байланысты, флотациялау уақыты көбікті өнімінің сапасы белгілі бір қажетті деңгейден төмен болмауын қамтамасыз ететіндей, бірақ қалдықтағы жоғалым белгіленген мөлшерден аспайтындай болып таңдалуы қажет.

Флотациялау уақыты, негізінде, гидрофильді түйіршіктердің көбік қабатынан өтіп үлгіруімен анықталады. Оған тек бірнеше секунд қана уақыт қажет. Осыған байланысты көбікте бөлгіш машиналардың үлесті өнімділігі өте жоғары: 100-120 т/(м³. сағ.) жетеді, демек, механикалық флотомашиналардың үлесті өнімділіктерімен салыстырғанда 20 еседен арта жоғары.

Көбікті өнімнің сапасын оның бетіне су себумен не болмаса басқыш реагенттердің ерітінділерін себумен реттеуге болады. Егер көбікті өнімде сапасыздау аэрофлокулалар (құрамына бағалы минералдардан басқа бос жыныс минералдар түйіршіктері бар шоғырлар) болса, онда оны қайтадан екінші операцияға түсіріп сапасын арттыру қажет. Бірақ тазалау алдында аэрофлокулалар механикалық әдістермен бұзылып, минералдар түйіршіктері ажыраған қалыпқа келулері қажет.

Көбікте бөлуде процеске үлкен әсер ететін жай, пульпаның көбік бетіне қандай қалыпта түсірілуі. Егер пульпа жоғары ағымдылықпен түссе, ол көбікті қабаттан тез өтіп пульпаға түседі де, тіпті гидрофобты түйіршіктердің өзі көпіршіктерге жабысып үлгермейді. Көбікті қабатта тек өте гидрофобты ұнтақтау түйіршіктер қалып, ал ірілеу түйіршіктер пульпаға өтеді. Сондықтан, пульпаның көбікке түсу ағымы жоғарлаған сайын, бағалы минералдардың флотациялануы төмендей береді. Осыған байланысты пульпаның түсу ағымын төмендету үшін, пульпа түсетін жерге оған қарама-қарсы бағытта қысым мен көпіршіктермен араласқан су сорғалаңы беріледі. Соның нәтижесінде түсетін пульпа бөлшектеніп және түсу бұрышы көлбеуленіп, көбікке түсу жылдамдығы азаяды.

Осы келтірілген шараның тиімділігі бастапқы пульпаның тығыздығы артқан сайын жоғарылай түседі. Себебі, пульпада су азайған сайын оның қозғалмалылығы төмендеп, ағым күшіде азаяды.

Пульпа флотацияға түсірілер алдында керекті флотореагенттермен белгілі ретпен өңделуі қажет. Флотациялау уақытының өте аздығына байланысты, реагенттерді тек машинаға түсер алдында не машинаға беру еш нәтиже бермейді. Реагенттермен, әсіресе жинағыштармен, өңдеудің тағы бір ерекшелігі сонда, флотацияланатын минералды гидрофобизациялау өте жоғары дәрежеде жүргізілуі қажет. Егер кенде шламды зат көп болса, пульпаны жинағыштармен өңдеуде ірі түйіршіктердің бетінің гидрофобизациялануын қажетті дәрежеге жеткізу қиын, болмаса реагент шығыны өте жоғары болады. Себебі, оның көбі шламмен адсорбцияланады. Сондықтан ондай кенді алдын ала шламды және құмды фракцияларға бөліп, құмды фракцияны жоғары тығыздықта реагенттің жеткілікті концентрациясымен өңдеп барып, шламды фракциямен қосып флотациялау өте тиімді болады.

Жеке фракцияларды өңдегенде чандарда тек әдеттегідей араластырып қоймай, адсорбция толық жүру үшін қосымша арнаулы шаралар қолданылғаны жөн, мысалы, дрілдеуік араластырғыштарды қолдану және т.б.

ФПС 16 және ФП 16 флотациялау машиналары, негізінде, ірілеу сепкілді және оңай флотацияланатын тау-химиялық минералды шикізаттарды байытуға қолданылады. Сильвин және фосфорит кендерін флотациялауда олардың 1 м ұзындығына шаққанда үлесті өнімділік, сағатына 3-5 тоннаға жетеді.

§7. В з г е р і м д і қ ы с ы м д ы ф л о т а ц и я л а у м а ш и н а л а р ы

В а к у у м д ы ф л о т а ц и я л а у м а ш и н а л а р ы н д а пульпа алдын ала реагенттермен және қысымды ауамен өңделеді. Соның нәтижесінде пульпада ауаның еруі жоғарылайды. Осыдан кейін вакуумды камераға түсіріледі, демек камерадан ауа сорылып, атмосфералық қысымнан төмендейді. Соның әсерімен еріген газ молекулалары гидрофобты минерал түйіршіктері бетінде жиналып, ауа көпіршіктері пайда болады да, флотацияланады. Гидрофильді түйіршіктер камера түбіне шөгіп шығарылады.

Бұл машиналарда шламды түйіршіктердің флотациялануларына жақсы жағдай жасалады. Бірақ конструкцияларының күрделілігіне қарай олар қолдану таппады деуге болады.

К о м п р е с с и о н д ы ф л о т а ц и я л а у м а ш и н а л а р ы н д а пульпа реагенттермен алдын ала өңделген соң қысымды ауа үрленіп ($3 \cdot 10^5$ - $4 \cdot 10^5$ Па) машина ваннасына түсіріледі. Мұнда пульпа үстіне ауа қысымы 1 атм. дейін төмендеу нәтижесінде гидрофобты түйіршіктер бетінде көпіршіктер пайда болып, олар флотацияланады.

Бұл машиналар қарапайымдылығына бааланысты өндірістерде шығатын суларды қатты шламды түйіршіктерден тазалауда қолдану тапты.

Э л е к т р о ф л о т а ц и я л а у м а ш и н а л а р ы н д а пульпаны ауалау суды электролиздеу арқылы жүргізіледі. Электролиздеуде судан өте ұсақ (0,05-0,2 мм) сутек және оттегі молекулаларынан тұратын көпіршіктер пайда болады.

Бұлардың көптеген конструкциялары белгілі. Жалпы оларды екі топқа бөлуге болады: су екі электрод арасымен өткізілетін машиналар және су камерада тұра ағыммен өтетін машиналар. Бұлар лас суларды тазалауда және ионды флотацияға қолдануда келешегі бар машиналар екенін көрсетті. 1 м³ көлемді суға электр энергия шығымы 0,3-0,4 кВт. с.

§8. Флотациялау машиналарын есептеу.

Қажетті есептеулер әр түрлі мақсаттар үшін жүргізіледі:

- 1) фабриканың өнімділігін және флотациялау уақытын қамтамасыз ететін машиналар (камералар) санын табу үшін;
- 2) жұмыс істеп тұрған машиналардың өнімділігін анықтау үшін;
- 3) фабриканың өнімділігін және жұмыс істеп тұрған машиналардың санын біле тұра флотациялау уақытын есептеу үшін.

Байыту фабрикасын жобалауда оның өнімділігін біле тұра қажетті машина санын есептеу үшін міндетті түрде флотациялау уақытын білу қажет. Ол лабораториялық жағдайда зерттеу жұмыстарын жүргізу нәтижесінде анықталады. Бірақ ол жұмыстар аз көлемді және жеке камерада жүргізілгендіктен дәл анықталмайды. Сондықтан ол жартылай өндірістік сынақтар жүргізілгенде қосымша анықталады. Флотациялау уақыты көптеген факторларға тәуелді. Сондықтан әр кен үшін нақтылы қажетті уақыт табылуы қажет.

К а м е р а л ы қ м а ш и н а л а р д ы е с е п т е у . Машиналар камералардан тұратындықтан оларды есептеуде камералар саны (n) анықталады:

$$n = \frac{V_{\square} \cdot t}{1440 \cdot V_k \cdot K},$$

мұнда n - камералардың қажетті саны;

$V_{\square}$ - операцияға түсетін пульпаның тәулік көлемі, м³/24с;

t - флотациялау уақыты, мин;

V_k - бір камераның көлемі, м³;

K - камерадағы пульпа көлемінің камераның геометриялық көлеміне қатынасы, демек толу коэффициенті (K = 0,65-0,80);

1440 - бір тәуліктегі минут саны.

В а н н а л ы м а ш и н а л а р д ы е с е п т е у д е төменгі формула қолданылады:

$$L = \frac{V_{\square} \cdot t}{1440 \cdot S \cdot K},$$

мұнда L - ванна ұзындығы, м;

S - ваннаның пульпаға толған көлденең қиындысының ауданы, m^2 ;

V_t , t , K - мәндері жоғарыда келтірілген формуладағыдай.

Ванна ұзындығы 10 м-ден аспауы керек. Пульпаның тәулік көлемін есептеу үшін сол операцияға түсетін қатты заттың тәулік өнімділігін (Q т/24), оның тығыздығын (δ) және пульпадағы судың массасының қатты зат массасына (R) қатынасын білу қажет. Сонда $V_t = Q \cdot (R + 1/\delta)$, мұнда $R = C:T$.

Келтірілген формулаларды қолданып, жұмыс істеп тұрған машинаның өнімділігін, сол сияқты флотациялау уақытын табуға болады.

Машинаның өнімділігін (Q т/24) былай есептеуге болады:

$$V_t = \frac{1440 \cdot n \cdot V_k \cdot K}{t}, \quad Q(R + 1/\delta) = V_t, \quad \text{болғандықтан}$$

$$\text{одан } Q = \frac{V_t}{R + 1/\delta} \quad \text{т/24с}$$

Флотациялау уақыты:

$$t = \frac{1440 \cdot n \cdot V_k \cdot K}{V_t} \quad \text{мин.}$$

§9. Флотациялау машиналарының ерекшеліктері, оларды тандау және жетілдіру жолдары.

Осы тарауда келтірілген мәліметтерден флотациялау машиналарының әр типіне тән ерекшеліктері бар екенін білдік.

Ондай ерекшеліктерге оларда ауа көпіршіктерінің пайда болуы, камералары не ванналы болуы, әр түрлі ірілікті түйіршіктердің ірілі-ұсақтығы және пульпа ішінде бір келкі жайылуы, пульпаның гидродинамикалық режимі және т.б. жатады.

Осы ерекшеліктеріне орай белгілі бір қасиеттері бар кенді флотациялауға тек кей бірін ғана пайдалану тиімді болады.

Механикалық флотациялау машиналарының басқаларынан басты артықшылығы оларды күрделі технологиялық схемаларда қолдану өте ыңғайлы. Себебі бір машина құрамына бірнеше сорғыш камералар енгізуге болады. Соның нәтижесінде басқа операциялардан түсетін екі аралық өнімдер үшін насостар қолданудың қажеті болмайды. Сонымен қатар, бұларда пульпаның импеллермен интенсивті араластырылуы әсерімен ірілеу және ауыр түйіршіктер жүзу қалпында болады. Пульпа деңгейін әрбір екі камерада басқаларынан тәуелсіз реттеуге болатындығына байланысты, көбікті өнімнің сапасын реттеу мүмкіншілігі өте жоғары.

Пневмомеханикалық машиналардың басты артықшылығы, пульпаны ауалау дәрежесінің жоғарғы шегін қажетінше көтеруге болады. Сорғыш камераларының жоқтығына байланысты екі аралық өнімдер бір операциядан екінші операцияларға насостармен айдалып түсіріледі. Осыған байланысты, күрделі технологиялық байыту схемаларында тек оларды қолдану тиімсіздеу. Қазіргі кезде қолданудың ең тиімді варианты оларды механикалық машиналармен тіркес пайдалану болып отыр: негізгі және бақылау операцияларында, демек бағалы минералдардың негізі бөлінетін операцияларда пневмомеханикалық машиналар қолданылып, ал оларда алынатын көбікті өнімді тазалау операцияларында механикалық машиналар қолданылады.

Қарапайым байыту схемаларында түйіршіктердің ірілігі тым жоғары болмаса (мысалы - $0,074 + O_{mm}$ ірілік класының үлесі 40-50%-тен кем болмаса), пневмомеханикалық машиналар кеңінен қолдану табуда.

Пневматикалық машиналар үлкен шығымды көбікті өнім алынатын және оңай флотациялануларына байланысты қарапайым схемалармен байытылатын қазындылар үшін

тиімді машиналар болып табылады. Ауаның қысыммен түсірілуі және пульпаның әр деңгейінде гидростатикалық қысымның айырмашылығы жеткілікті бөлу нәтижесінде (колонналы және терең аэролифті машиналарда) ауаның суда еріп, артынан гидрофобты минералдар бетінде көпіршік түрінде бөлінуі шламды түйіршіктердің флотациялануларына жақсы жағдай туғызады.

Көбікті қабатта бөлгіш машиналарда флотацияланатын түйіршіктердің ірілігі 2-3 мм-ге жетуі бірсыпыра қазындылардың флотациялануларын интенсификациялауға жол ашты.

Машиналардың жаңа түрлерін жасауда қазіргі кездегі басты бағыт камералардың көлемін үлкейту. Қазірдің өзінде шет елдердің өндірістік тәжірибелерінде үлкен көлемді камералардан тұратын машиналар жиі қолданылуда. Мысалы “Флагергрэн” машинасының камера көлемі 28,3 м³-ке дейін, “Аджитейр” машинасының камера көлемі 22,6 м³-ке дейін, “Денвер ДР” машинасының көлемі 36,1 м³-ке дейін жетеді, ал “Максвелл” (Канада) машинасында - 56,6 м³-ге жетеді.

Пневматикалық машиналарда да камералар не ванналар көлемі айтарлықтай үлкейтілді. Мысалы, Канаданың “Опемиска” фабрикасында колонналы машинаның көлемі 65 м³-ке жеткізілді.

Өндірістік тәжірибе үлкен көлемді камералы машиналарда алынатын технологиялық көрсеткіштер, стандартты кіші көлемді машиналардың көрсеткіштерінен кем түспейтінін көрсетті. Онымен қоса түпкілікті және күнделікті пайдалану шығындары, энергия шығыны азайып, процесс өнімділігі артады, көмекші жабдықтардың саны азайып, оларды пайдалану жеңілдейді. Осының бәрі процесті реттеуді (пульпа деңгейін, концентрат сапасын тұрақтандыру бақылау), автоматты жүйелерді пайдалануды (бақылау орындары азаяды, көп аспаптарды қолданудың қажеті болмайды) жеңілдетеді.

Жалпы өндірістік тәжірибеде бір кенді флотациялауда тек бір типті ғана флотомашина қолданып жоғары технологиялық көрсеткіштер алу қиын деуге болады. Сондықтан келешек өндірістік тәжірибеде бір кенді флотациялауда әр түрлі типті және көлемді машиналарды қолданудың маңызы зор деуге болады. Мысалы, негізгі және бақылау операцияларында кенді пульпаны үлкен көлемді және өнімді пневматикалық машиналарды қолданып, олардан алынған көбікті өнімдерді механикалық не пневмомеханикалық машиналарда флотациялау не басқа варианттарды қолданудың тиімді болатыны айқын көрінеді. Әрине, тиімді вариант тек кен қасиеттерінің ерекшеліктерін ескере отырып тәжірибелер жүргізу нәтижесінде ғана таңдалуы қажет.

II ТАРАУ.

КОМЕКШІ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТАР

Кен флотациялау алдында, процестің тиімді түрде жүруі үшін әр түрлі дайындау операцияларынан өтеді. Оларға, қажетіне қарай кейбір реагенттермен белгілі уақыт ішінде пульпаны араластыру, ауамен қанықтыру және тағы басқалар жатады.

Алдын ала пульпамен араластыруды қажет ететін реагенттерге, мысалы, активтендіргіш ретінде пайдаланылатын мыс купоросы (мырыш флотациясы алдында), күкіртті натрий (түсті ауыр металдардың карбонатты, ал кейде сульфатты минералдарын сульфидтеу үшін) және тағы кейбір реагенттер жатады. Олармен белгілі уақыт аралығында араластыру, минералдар бетімен әрекеттесіп, жұқа жеке фаза түзіп үлгірулеріне қажет. Араластыру процесі арнаулы араластырғыш чандарда жүргізіледі.

§1. Араластырғыш (контакталы) чандар

Араластырғыш чан (50 сурет) цилиндр пішінді биік бактан тұрады. Оның ортасында төменгі ұшына қалақша (пропеллер) 1 бекітілген вал 2 айналады. Вал тік бойында бірнеше тесіктері бар орталық құбыр 3 ішіне

50 сурет. Араластырғыш чан.

орнатылған Бастапқы пульпа орталық құбырдың тесігіне түсіріледі. Араластырғыш күшімен пульпа суретте көрсетілгендей тік бағытта айналмалы қозғалыста болады. Оның жоғарыдан төмен бағытталуына орталық құбырдағы тесіктер мүмкіндік береді.

Егер вал кенеттен тоқталса, шөгілетін зат араластырғышты басып қалмайды. Себебі ол бак түбінен бірсыпыра жоғары орнатылған. Сондықтан оны қайта қосу алдында тазалаудың қажеті жоқ. Чанның құрылысы сондай, оның ішіндегі пульпа барлық көлемінде интенсивті қозғалысқа келеді.

Пульпаны араластыруға қажетті уақыт чанның көлемімен ($V \text{ м}^3$) анықталады. Ол төмендегі формуламен есептеледі:

$$V=Q(1/\delta_k+K)t60,$$

мұнда Q - өнімділік, т/сағ; δ_k - қатты зат тығыздығы, т/м³; R - пульпа тығыздығы ($C:K$, C - су, K - қатты зат); t - қажетті араластыру уақыты, мин.

Араластыру уақыты реагент қасиетіне қарай кендер үшін 1-60 мин шегінде өзгереді. Чан көлемі араластыру уақытына байланысты ондаған м³-ке жетеді.

§2 Реагент түсіргіштер

Флотациялау операцияларында, әдетте, бірнеше не одан көп реагенттер қолданылады. Олардың әр қайсысы тек белгілі орындарға, шығындарына байланысты өте дәл мөлшерде түсірулері қажет. Сол үшін реагенттер қасиеттеріне қарай әр түрлі конструкциялы арнаулы аппараттар-түсіргіштер қолданылады. Олар бас корпуста флотациялау машиналар орнатылған деңгейден жоғары, арнаулы алаңда орнатылады. Сол алаңда ерітінділер келіп түсетін чандар орналасады. Олар реагент түсіргіштерімен жіңішке құбырлар арқылы жалғастырылады, демек түсіргіштерде ерітінді деңгейі үнеме бір қалыпта тұрады.

Реагенттер түсіргіштерінен флотациялау операцияларының әр жеріне жіңішке құбырлар тартылады.

Реагенттер түсіргіштеріне қойылатын талаптар: конструкциялары неғұрлым қарапайым, реагент шығыны дәл өлшенетін және жұмысы оңай реттелетін, төмен құнды болулары қажет.

Қолданылатын түсіргіш конструкциясы реагент қасиетіне қарай таңдалады. Реагенттер суда жақсы еритін тұздар түрінде, толық ерімейтін ұнтақ түрінде және май реуешті болады. Осыған сәйкес, қазіргі кезде реагент түсіргіштердің көптеген түрлері белгілі. Бірақ байыту фабрикаларында қолданыс тапқандары көп емес.

С ұ й ы қ е р і т і н д і л і р е а г е н т т е р д і ң т ү с і р г і ш т е р і р е т і н д е ең көп тарағандары с к и п т і (ш ө м і ш т і) т ү с і р г і ш т е р . Олар АКПР-1, АКПР-2 және ППЭМ-1176 деген аттармен белгілі.

51 суретте ППЭМ-1176 скипті түсіргіш көрсетілген. Төрт бұрышты бачокке түсетін реагент деңгейі қалқыма 6 арқылы үнемі бір қалыпта болады. Бачокта арнаулы бағыттағыштар 5 бойымен жоғары-төмен қозғалыста болатын скип-шөміш 1 бар. Ол рычагты қозғалтқыш әсерімен бір қалыпты жылдамдықпен жоғары көтеріліп, одан кейін қайта төмен түсіп отырады. Скип төмен түскенде реагентпен толады. Жоғары көтеріліп белгілі деңгейге жеткенде, бағыттағыштардың құрылысына байланысты скип еңкейіп, ішіндегі реагент воронкаға 7 құйылады да, одан жіңішке құбыр арқылы қажетті орынға барып түседі.

Реагенттің шығыны (ерітіндінің бір минутте воронкаға құйылатын көлемі) алдын ала есептеледі.

Скиптің көтерілу биіктігі арнаулы механизммен реттеледі. Ол үшін гайкамен 8 тартқыш 3 ұзындығы өзгертіледі. Скип неғұрлым жоғары көтерілсе, оның еңкею бұрышы өсіп, төгілетін реагенттің көлемі өседі.

51 сурет. Скипті ППЭМ-1176 түсіргіші.

Скипті түсіргіштер бір, екі және төрт камералы болып жасалады. Әр камера басқаларынан тәуелсіз жұмыс істейді және әр камераны әр түрлі реагенттер үшін пайдалануға болады.

Зиянды қасиеттері бар (тотықандырғыш, күйдіргіш және т.с.с.) реагенттер қолданылғанда, бөлшектер таттанбайтын заттармен қапталады не жалатылады.

АКПР-1 және АКПР-2 скипті түсіргіштерде реагент шығынын реттеу автоматтандырылған.

Механобр институты скипті түсіргіштер негізінде автоматты 5-АДР және 6-АДР ш ө м і ш т і түсіргіштер жасады. Бұларда да реагент шығыны шөміштің еңкею бұрышын өзгертумен реттеледі. 6-АДР-да 1 ден 12-ге дейін реттелетін блоктар орнатуға болады. Әр блок басқаларымен байланыссыз жұмыс істейді. 5 -АДР түсіргішінің схематикалық көрінісі (52 суретте) көрсетілген.

52 сурет. 5-АДР шөмішті түсіргіштің схематикалық көрінісі.

Тез тотығатын және кристалдануға бейім реагенттер (сұйықшыны, купоростар, цианплав) үшін м е м б р а н д ы түсіргіш МПР-642 жасалды. Ол кезек-кезек толатын және реттегіш қондырғы арқылы босап отыратын екі мембранды камерада тұрады.

Бақтан қысыммен бір камераға реагент түскенде екі мембрана жылжиды. Соның нәтижесінде реагент екінші камерада ығыстырылып шығарылып процеске түседі. Мембранның ығысу қашықтығы реттеліп отырады.

К л а п а н д ы және и н е л і түсіргіштерге АПИ-1 және АДР-1 жатады. АПИ-1 түсіргішінде реагент шығыны орындағыш механизмінің лекалы бойымен иненің жылжуы арқылы, дроссельдің тесігінің көлденең қиындысының өзгеруімен реттеледі.

АДР-1 түсіргішінде реттеу жүйесі орындағыш механизммен бірге ванна ішіндегі қалқығыш үстіне орнатылған.

И м п у л ь с т і П Р И - 1 түсіргішінде реагент шығыны электромагнитті жүйемен басқарылатын клапанның ашылу уақытына тәуелді.

П о р ц и я л ы түсіргіштердің дәлдіктері жоғары және оңай автоматтандырылады. Олардың ішіндегі кең тарағаны ПР-2 (53 сурет).

Ерітінді ниппель 1 арқылы түсіріледі. Өлшегіш цилиндрдің 2 толуы және процеске реагенттің түсірілуі клапан 3 арқылы орындалады. Реагент шығыны электромагнит якоріне 4 бекітілген клапанның золотнигінің орнына байланысты. Электромагнит катушкасы металды корпус ішіне орналасқан. Магнит іске қосылғанда, якорь золотникпен жоғары көтеріледі де, түсу тесігі ашылып, шығу тесігі жабылады. Өлшегіш толады. Электромагнит жұмысы үзілгенде барлық процесс керісінше жүреді. Өлшенген реагент процеске түсіріледі.

53 сурет. Порциялы түсіргіш ПР-2.

ПР-2, ішінде механикалық кірмелер жоқ, тұнық және тұтқыр емес ерітінділер үшін қолданылады.

Сұйық ерітінділер үшін аталғандардан басқада түсіргіштер белгілі. Соның біріне д и а ф р а г м а л ы Д П Р - 1 түсіргіш жатады.

Қарапайым конструкциялы, ертеректе жиі қолданылған түсіргіштерге с т а к а н д ы түсіргіштер жатады (54 сурет).

Бачок 1 ішінде айналмалы диск 2 орнатылған. Оған шайқала қозғала алатын стакандар 3 ілінген. Олар реагентпен толып, көтеріліп стерженге 4 жеткенде қисаяды да, реагент науаға 5 төгіледі. Стаканның қисаю бұрышы стерженнің орнын өзгертумен реттеледі.

54 сурет. Стаканды түсіргіш.

Май тәрізді тұтқыр не суда нашар еритін реагенттер үшін шкивті түсіргіштер қолданылады (55 сурет).

55 сурет. Шкивті түсіргіштің схематикалық көрінісі.

Реагент түсетін бакта ақырын айналып тұратын шкив 2 орнатылған. Оның төменгі жартысы реагентке батыңқы. Айналу кезінде оның бетіне реагент жабысып қаптайды. Ол қабат сыдырғышпен 3 сыпырылып, науашыққа 4 түседі. Ваннада реагент деңгейі қалқымамен 5 реттеледі.

Реагент шығыны сыдырғыштардың жалпақтықтарын және олардың санын өзгертумен реттеледі.

Жалпы, суда ерімейтін (майлы заттар) не нашар еритін реагенттерді дұрыс пайдалану жолы, оларды процеске эмульсия түрінде түсіру. Біріншіден, олардың шығынын реттеу дәлдігі жоғарылайды, екіншіден, реагент шығыны төмендейді, үшіншіден, технологиялық көрсеткіштерінде жоғарылайды. Неғұрлым эмульсиялану дәрежесі жоғары болса, оның тиімділігі жан жақты артады. Қазіргі кезде осы мақсатпен ультрадыбысты және қысымды сорғаланды эмульсиялағыштар қолданылады.

Құрғақ ұнтақты реагенттер үшін кез-келген қатты затты белгілі мөлшерде біркелкі беруге қолданылатын аз өнімді ленталы конвейерлер және тарелкелі түсіргіштер пайдаланылады.

Ленталы түсіргіш бункерден, оның астына орнатылған, қозғалту жүйесімен ақырын айналып тұратын ленталы тасымалдағыштан тұрады. Бункердің алдыңғы көлденең қабырғасы лентаға жетпей, біраз биіктікте бітеді. Ол ашық жердің ауданы қозғалмалы жапқышпен (шибермен) өзгертіліп отырады, демек реагент шығыны жырықтың үлкен-кішілігімен реттеледі.

Тарелкалы түсіргіш цилиндр пішінді бункерден тұрады. Оның төменгі түбі ортасында тесігі бар конуспен бітеді. Тесіктен сәл төмен, ақырын айналып тұратын дөңгелек, беті тегіс тарелка бар. Реагент осы тарелкаға бункерден үнемі тіреле түсіп тұрады. Шеті тарелканың үстіңгі бетіне тиер-тимес етіп, оның үстіндегі заттың біраз бөлегін қиып бөліп отыратын қырғыш орнатылған. Реагент шығыны осы қырғыштың тұру қалпын өзгертумен реттеледі.

Ертеректе байыту фабрикаларында бұл түсіргіштер процеске ақ кірішті құрғақ түрде беруге жиі қолданылды. Қазіргі кезде ақ кіріш көбінде диірмендерде су ішінде ұнтақталып “ақ кіріш сүті” түрінде беріледі. Ол үшін фабрикалардың реагент бөлімінде шағын шарлы диірмендерде ұнтақталып, классификацияланып, оның ағызындысы процеске түсіріледі. Оны осылай қолдану, шығынын азайтады және процестің тұрақты жүруіне мүмкіндік тудырады.

БЕСІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

I-ТАРАУ

ПАЙДАЛЫ ҚАЗЫНДЫЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ФЛОТАЦИЯҒА ӘСЕРІ

§ 1. Бағалы заттардың кендегі проценттік үлестері

Кеннің сапасы оның көптеген қасиеттерімен сипатталады. Солардың бастыларының бірі бағалы заттың кендегі проценттік үлесі. Ол кендерде үлкен шекте өзгереді. Мысалы, мыс кендерінде оның проценттік үлесі орташа 0,5-1%-ке тең, мырыш кендерде орташа 2-3%, ал молибден 0,01-0,1% мөлшерінде кездеседі. Байыту технологиясының қазіргі даму сатысында бағалы заттың кендегі проценттік үлесі белгілі шектен төмен болмаса ғана тиімді байытылады. Демек, кез келген кен байытыла бермейді.

Жалпы кен қандай әдіспен байытылса да ондағы бағалы заттың проценттік үлесі өскен сайын, оны концентратқа бөліп алу дәрежесі жоғарылай береді. Ол үшін бағалы зат минералының флотоактивтілігі жеткілікті болуы қажет. Егер ол нашар флотацияланатын минерал болса, онда проценттік үлестің жоғарылығы еш нәтиже бермейді.

§ 2. Кеннің минералды құрамы

Кен байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштерге кеннің минералды құрамының әсері өте зор. Әр түрлі кен орындарынан алынатын бір типті кендер байытылғанда, технологиялық көрсеткіштері бірсыпыра өзгеруі мүмкін. Себебі, бір металл кендерде әр түрлі минералдар түрінде кездеседі. Олардың әрқайсысының флотациялық қасиеттері әр түрлі. Мысалы, мыс кендерде флотациялық қасиеттері жоғары сульфидті минералдар түрінде (халькопирит, борнит, халькозин және ковеллин), флотацияланулары төмен тотықты минералдар түрінде (малахит, азурит және куприт), флотацияланбайтын силикатты минерал-хризокolla түрінде болуы мүмкін. Оларды флотациялау үшін әрқайсысының қасиетіне сай реагенттік режим қолдану қажет. Егер олар бірге кездессе, барлығына бірдей жарарлық реагенттік не басқа режим жасау қиын. Сондықтан олардың өзара қатнастарына қарай әр түрлі технология қолданылады. Мысалы, металдың негізі сульфидті минералдар түрінде кездессе, онда кен сульфидті кен болып қаралып флотацияланады. Егер кенде тотықты минералдар басым болса, онда алдымен сульфидті минералдар флотацияланып, оның соңынан тотықтылары флотацияланады, демек жеке флотациялау әдісі қолданылады. Мысалы, кенде металл флотацияланбайтын түрлерімен кездессе, олар гидрометаллургиялық әдістермен алынуы мүмкін.

Егер кенде бірнеше бағалы металдар минералдары бірге кездессе, олардың бөлінуі флотациялық қасиеттерінің арасындағы айырмашылықтарына байланысты. Мысалы, мыс және қорғасын сульфидтерінің флотациялық қасиеттері өте жақын болғандықтан оларды кеннен жекелеп бөлу өте қиын. Сондықтан олар кеннен тек бірге алынып, коллективті концентрат күрделі реагенттік режим қолдану арқылы бөлінеді. Жалпы сульфидті минералдарды басқа бағалы не бос жыныс тотықты минералдарынан бөлу оңай. Себебі, флотациялық қасиеттерінің айырмашылығы жоғары. Сол сияқты, катиондары бірдей тотықты минералдарды да бөлу қиын.

Мысалы, флюорит (CaF_2) және кальцит (CaCO_3) минералдары бір катионды болғандықтан флотациялық қасиеттері өте жақын. Сондықтан олар кеннен бірге флотацияланып, артынан коллективті концентрат арнаулы әдіспен бөлінеді.

Кенді, таңдамалы (селективті) флотациялауда бағалы минералдардың ғана қасиеттері емес, сонымен қатар кендегі бос жыныс минералдарының қасиеттерінде белгілі роль атқарады. Олардың ішінде кейбір алюмосиликатты минералдар табиғи аз суланады. Соның нәтижесінде, егер белгілі шаралар қолданылмаса, олар көбікті өнімге шығып, концентрат сапасын төмендетеді. Егер бос жыныс негізі активтенбеген кварцтан тұрса, бағалы минералдарды одан бөліп алудың еш қиындығы жоқ.

Флотациялауды қиындататын факторға кенде тез шламданатын минералдардың болуы. Олар үлесті бет аудандарының үлкендігіне байланысты, реагенттер шығындарын өте жоғарылатып жібереді. Сонымен қатар, шламды зат көбікті өнімге де шығады және флотацияланатын минералдардың бөлінуіне кедергі жасайды.

§ 3. Кеннің жаратылу жағдайы (генезис)

Кеннің барлық қасиеттері оның жаратылу жағдайымен анықталады. Флотация тұрғысынан қарасақ ондай қасиеттерге кен құрамындағы минералдардың түрлері және кристалдану сипаттамалары, изоморфизм, тотықтану дәрежелері, сепкілдігі және т.б. жатады.

Мысалы, балқыған магманың кристалдануынан не болмаса ыстық су ерітінділерінен шөгілетін сульфидті минералдар жоғары тығыздықты және ірі кристалды болып келеді. Сульфидті минералдардың тотығып еруінен пайда болатын тотықты минералдар ұсақ кристалды, тығыздығы төмен, іші балшықты материалдарға толы, саңылаулары көп және мортты келеді. Мұндай кендерді ұнтақтағанда флотацияға зиянды әсер ететін шламды зат көп шығады.

Кен, жаратылу сатыларында, көптеген процестерден өтеді. Бастапқы минералдар бұзылу нәтижесінде кейіннен пайда болатын минералдар олардың бетінде қабыршақ ретінде түзіліп, ұнтақтау процесінде оңай шламданады. Сол сияқты, бірінші жаралған минералдар, екінші бір элементтердің ерітінділерімен химиялық әрекеттесіп, күрделі құрамды минералдар түзіледі.

Табиғатта көптеген минералдар құрамдарында әр түрлі элементтер изоморфты кірмелер ретінде кездеседі. Мысалы, сфалеритте үнемі дерлік темір және кадмий, пентландитте темір, қорғасын минералдарында күміс, шеелитте молибден және т.б.

Минералдарда басқа кірмелердің болуы олардың флотациялық қасиеттерін белгілі шекте өзгертіп отырады, демек әр кен орнынан шығатын бір минералдың қасиеттері құрамындағы кірме түріне қарай және олардың азды-көптігіне қарай өзгереді.

Кен орнының генезисіне қарай, жартылай өткізгіштік қасиеттері бар минералдарда электрон және тесіктер концентрацияларының қатынасы, соған байланысты Ферми деңгейі өзгеріп отырады. Мысалы, сульфидті минералдар бетінде электрондар концентрациясы өссе, ксантогенаттың диксантогенидке айналуы төмендейді де, бөліп алу дәрежесі азаяды. Сондықтан оны тесікті өткізгішке айналдыру қажет. Ол мақсатқа минералды тотықтандыру арқылы жетуге болады. Керісінше, егер тесіктер концентрациясы жоғары болса, оны төмендету үшін тотықсыздандыру қажет (мысалы, оның флотоактивтілігін басу үшін).

Сульфидті минералдардың кен орнында, не кенді қазу, тасымалдау, ұсақтау және ұнтақтау процестерінде тотығулары, олардың бетінде сумен жақсы әрекеттесетін (полярлығы жоғары) қосылыстар пайда болуын күшейтеді. Осыған байланысты, флотациялау алдында минерал беттерін сульфидтеу жүргізіледі.

Кенде бірнеше сульфидті минералдар болғанда, олар өзара әрекеттесіп флотациялық қасиеттерінің айырмашылықтары төмендейді. Соның нәтижесінде оларды жекелеп бөлу қиындайды.

Осындай өзгерістерге бос жыныс минералдарыда түседі. Соның нәтижесінде олардың беттерінің кремниленулері, коалиниттелулері, хлориттенулері және серициттенуі жүреді. Бұл процесс минералдардың табиғи сулануларын төмендетіп, олардың флотациялану активтіліктерін жоғарылатады. Соған байланысты арнайы басқыш реагенттерін қолдануды қажет етеді. Сонымен қатар, ұнтақтау процесінде кеннің шламдануыда жоғарылап, сапалы концентрат алу қиындайды.

§ 4. Кеннің сепкілдік сипаттамасы және қауышпаларды ажырату

Кенді флотациялау алдында жүргізілетін ұнтақтау процесі қандай ірілікке (ұнтақтыққа) дейін жүргізілуі ондағы минералдардың сепкілдігімен анықталады. Бірақ флотациялау алдында ұнтақтаудың ерекшелігі сол, бағалы минералдар түйіршіктерінің диаметрлері белгілі мөлшерден аспауы қажет. Осыған байланысты ұнтақтау процесіне екі талап қойылады: 1) бағалы минералдар бос жыныс минералдарынан және өзара бір - бірінен толық ажыраулары қажет; 2) бағалы минералдар түйіршіктерінің диаметрлері флотациялық іріліктен арытпауы қажет. Демек, егер сепкілдігі жағынан минералдар түйіршіктерінің диаметрлері флотациялық іріліктен үлкен болса, онда ұнтақтау сол қажетті ірілікке дейін жүргізілуі керек. Ал, егер сепкілдік дәрежесі флотациялық іріліктен көп жоғары болса, онда басқа байыту әдістерін қолдану мүмкіншіліктері қарастырылуы қажет.

Флотациялауға жататын кендерді байытуда қиындықтар тудыратын басты фактор-минералдар қауышпаларын ажырату. Көпшілік жағдайда оларды толық ажырату мүмкін емес.

Егер кен толық ажырату мақсатымен өте ұнтақталса, онда бағалы минералдардың ірілеу түйіршіктері қажетсіз мөлшерден тыс ұнтақталып шламға айналады да, флотациялық қасиеттерін жоғалтады. Сондықтан, өндірістік тәжірибеде кен белгілі бір мөлшерге дейін ғана ұнтақталады. Соның нәтижесінде бағалы минералдардың белгілі бөлігі қауышпа түрінде қалады. Олар не қалдықта қалуы мүмкін, не концентратқа шығып, оның сапасын төмендетеді. Әдетте қауышпа түрдегі жоғалымды азайту үшін әр түрлі технологиялық шаралар қолданылады.

Қауышпаларды мүмкіншілігінше толық ажырату, екінші жағынан, кенді шламдамау, тәжірибеде ұнтақтаудың әр түрлі схемаларын, сатылай байыту схемаларын қолдану арқылы, классификациялау процесін жоғары дәрежеде реттеу арқылы іске асырылады. Кен неғұрлым ірілеу сепкілді болса, соғұрлым ақырғы көрсеткіштерді көтеру мүмкіндігі артады.

II-ТАРАУ

ПУЛЬПА ТЫҒЫЗДЫҒЫ ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРА ӘСЕРІ

Пульпа тығыздығы флотация процесіне жан жақты әсер етеді. Ол екі өлшеммен сипатталады:

1.Пульпадағы қатты заттың проценттік үлесі $P(\%)$. Ол мына формуламен есептелінеді:

$$P = \frac{K}{K + C} 100\%,$$

мұнда K - пульпаның бірлік көлеміндегі қатты заттың салмағы;

C - сол көлемдегі судың салмағы.

2.Пульпадағы қатты заттың салмағының су салмағына қатынасы ($K:C=R$)

Фабриканың өнімділігі және флотомашинаның көлемі тұрақты қалғанда, пульпа тығыздығының өсуі оның машина арқылы өтуін жылдамдатады, сол сияқты реагент концентрациясында (егер оның шығымы тұрақты қалса) өседі. Бірақ пульпа тығыздығы белгілі мөлшерден асса, оның ауалануы нашарлайды және ірі түйіршіктердің флотациялануы қиындайды.

Пульпа тығыздығы кеннің қасиетіне қарай және әр түрлі операцияларда өзгертіліп отырады. Негізгі операцияда пульпаның орташа тығыздығы 25-35% болса, тазарту операцияларында ол төмендетіледі. Кен неғұрлым шламды болса, әсіресе шламның негізі бос жыныс минералдарынан тұрса, пульпа тығыздылығы азайтылады. Тазалау операцияларында пульпа тығыздылығы кей жағдайларда 12-15% - ке дейін төмендетіледі. Пульпа тығыздығының флотациялық факторларға әсері (56-суретте) көрсетілген.

56-сурет. Пульпа тығыздығының басқа факторларға әсері.

1-пульпаның ауалануы; 2-реагенттің көлемді концентрациясы; 3-пульпаның машинадан өту жылдамдығы; 4-шламды түйіршіктердің флотацияланулары; 6-түйіршіктердің шламдануы.

Көбікті өнімнің шығымына байланысты, пульпа тығыздығы бірінші камерадан келесілерге өткенде біртіндеп азая береді. Тазалау операцияларында пульпа тығыздығын төмендету, оған түсетін көбікті өнімге су қосу арқылы жүргізіледі. Ол су көбікті өнімнің тасымалдағышы ролін де атқарады.

Көбікті өнім тығыздығы камерадағы пульпа тығыздығынан жоғары болады. Себебі оның дені, бетіне минерал түйіршіктер жабысқан ауа көпіршіктерінен тұрады. Жалпы флотация процесінің тұрақтылығы пульпа тығыздығының реттеліп тұрақтануымен тығыз байланысты.

Пульпа температурасының флотация процесіне әсері, негізінен, реагенттердің активтіліктерінің өзгеруімен байланысты. Жалпы, химиялық процестердің жүруінде температура қандай роль атқарса, адсорбция процесіне де сондай әсер етеді.

Температура жоғарылаған сайын көпшілік реагенттердің суда еруі өседі. Мысалы, органикалық жинағыш (майлы қышқылдар, керосин және т.б.) реагенттер, көбіктендіргіштер, біраз анорганикалық тұздардың суда ерігіштіктері төмен. Соның нәтижесінде олардың шығындары жоғары. Екінші жағынан, температура өскен сайын активтілік энергияның жоғарылауына байланысты, реагенттердің минерал беттерімен әрекеттесу мүмкіншілігі арта түседі.

Өндірістік тәжірибеде үлкен көлемді кенді пульпаның температурасын көтеру көп энергия шығынын қажет етеді. Осыған байланысты флотация, негізінде, табиғи температурада жүргізіледі. Тек кіші өнімді кейбір фабрикаларда және температура әсері айтарлықтай күшті екені айқындалған жағдайларда ғана кенді пульпа қыздырылуы мүмкін. Осымен қатар, дүние жүзілік тәжірибеде коллективті концентраттарды бөлуде пульпаның температурасын көтеру жиі қолданылады деуге болады. Мысалы, мыс-молибден концентраты (Балхаш) күкіртті натриймен өңделгенде пульпа 80-90°C дейін қыздырылады, Лениногор фабрикасында мыс-қорғасын концентраты реагенттермен өңделгенде температура 25-28°C мөлшерінде болуы қажет. Флюорит концентратын кальциттен тазалау үшін пульпа сұйық шынымен 80-90°C температурада өңделеді.

Байыту фабрикаларында пульпаның температурасын көтеру, көпшілік жағдайда, оның ішіне судың ыстық буын енгізумен жүргізіледі.

III-ТАРАУ

ПУЛЬПАНЫҢ СУ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ РЕАГЕНТТІК РЕЖИМ

Байыту процестерінде қолданылатын табиғи су құрамы өте күрделі келеді. Оның ішінде көптеген иондар, коллоидтар және органикалық кірмелер кездеседі. Олардың барлығы дерлік флотация процесіне әр түрлі бағытта әсер етеді.

Олар судың табиғи қозғалысында жер құрамындағы минералдармен әрекеттесуі нәтижесінде пайда болады. Суда үнемі кездесетін иондарға, мысалы, хлор (Cl^-), сульфат (SO_4^{2-}) карбонат (CO_3^{2-}), гидрокарбонат (HCO_3^-), натрий, калий, кальций, магний, темір және басқалары жатады. Олармен қатар оттегі, көмірқышқыл газ және күкіртті сутек молекулалары кездеседі.

Бұлармен қатар, кенді ұнтақтау, классификациялау және флотациялау процесінде оның құрамындағы минералдардың азды-көпті еруінің нәтижесінде қосымша көптеген иондар суға шығады. Олардың бірсыпырасы судағы сутек концентрациясын (pH) белгілі шекте өзгертіп отырады.

Флотациялау процесіне әсіресе металл катиондарының әсері зор. Мысалы, мыс, темір, кальций және тағы басқалары минералдар бетінде адсорбциялану нәтижесінде оларды активтендіріп, бөлуді қиындатады. Сульфидті кендерде мыс туынды сульфидтер түрде болса (халькозин, ковеллин және борнит), суға шығатын мыс катиондары сфалериттің активтілігін жоғарылатып, оны басуды қиындатады. Темір ионы кварц бетіне адсорбцияланып, оны басудың қажеттілігін тудырады. Егер кварц таза болса, оны басудың қажетіде жоқ және бағалы минералдарды одан айыру оңай жүргізіледі. Осындай мысалдарды көптеп келтіруге болады. Мұндай иондар "шарасыз иондар" (неизбежные ионы) деп аталып кеткен.

Шарасыз иондардың флотацияға үлкен нұқсан келтіретін тағы бір жайы - катиондардың жинағыш реагенттермен әрекеттесіп, олардың шығындарын жоғарылатып жіберуі.

Келтірілген деректер шарасыз иондардың флотацияға зиянды әсерлерін төмендету бағытында үнемі қажетті шаралар қолданып отырудың керектігін көрсетеді. Ол шаралардың көпшілігі реагенттік режимнің дұрыс табылуымен байланысты.

Флотация сілтілі ортада жүргізілсе, көпшілік металл катиондары (әсіресе ауыр металдар катиондары) гидроксил ионымен (OH^-) әрекеттесіп, суда аз еритін металл гидроксидтеріне айналады.

Жинағыш реагенттердің металл катиондарымен әрекеттесуін төмендету үшін олардың сол катиондармен аз әрекеттесетін түрлерін қолдану қажет. Мысалы, катионды жинағыштар катиондармен әрекеттеспейді. Сол сияқты, пульпада кальций ионы көп болса, жинағыш ретінде онымен жақсы әрекеттесетін күшті майлы қышқылдарды (карбон қышқылдары) қолданбай, олардың орнына көмірсутек радикалдары қысқа, кальций иондарымен аз әрекеттесетін реагенттерді қолдануды қарастыру қажет.

Келтірілген жайлардан басқа, пульпаның ионды құрамын өзгертудің басқада жолдары бар. Әсіресе флотацияда қайтарымды (оборотная) су қолданылғанда, оны алдын ала әр түрлі әдістермен өңдеудің (кондициялаудың) маңызы зор. Дегенмен, басты шара реагенттік режиммен байланысты.

Реагенттік режим деп, қолданылатын реагенттердің түрлерінің, олардың шығындарының, пульпаға түсірілу кезектілігін, түсіру орнының және олармен пульпаны араластыру уақыттарының жиынтығын атайды. Әрине, ең басты фактор реагенттерді дұрыс таңдау. Ол байытылатын кеннің қасиеттерімен анықталады.

Пульпаға түсіру кезектілігінің жалпы схемасы төмендегідей: ортаны реттегіштер - басқыш реагенттер (қажеті болса активтендіргіштер) - жинағыш реагенттер - көбіктендіргіштер. Әр нақтылы кенді флотациялауда бұл рет біраз өзгеріске түсуі мүмкін.

Көпшілік жағдайда әр реагенттің әсері жоғары болуы үшін ол басқа реагенттермен бірге емес, жеке түсірілуі қажет. Мысалы, жинағыш реагентпен өңдеу алдында пульпа басқыш (не активтендіргіш) реагентпен жеке чанда белгілі уақыт мөлшерінде өңделуі қажет.

Реагенттердің түсірілу орындары көбінде араластыру уақытымен байланысты. Мысалы, ортаны реттегіш реагенттердің (ақкіріш, сода) негізгі түсірілу орны ұнтақтау процесі. Сонда, келесі реагенттер түсірілер алдында пульпада қажетті рН жасалады және бірсыпыра металл катиондары ерімейтін не аз еритін шөгінділерге айналады (бұл туралы жоғарыда айтылды). Сонымен қатар, сілтілі ортада сульфидті минералдардың тотығу жылдамдығы төмендейді.

Кейбір басқыш реагенттердің пульпамен араласу уақытын ұзарту үшін олар ұнтақтау процесіне түсіріледі (мысалы, циан тұздарымен мырыш купоросы). Активтендіру процесінде минерал бетінде қабыршақты адсорбция жүру үшін оған белгілі уақыт қажет. Сондықтан қажетті араластыру уақытына қарай ол реагенттермен пульпаны араластыру жеке чандарда жүргізіледі (мысалы, сфалеритті мыс купоросымен өңдеу, ауыр металдар тотықтарын күкіртті натриймен өңдеу).

Суда жақсы еритін және минералдармен тез әрекеттесетін реагенттерге сульфгидрильді жинағыштар (ксантогенаттар және дитиофосфаттар) жатады. Олар тікелей флотомашинаның бірінші камерасының қалтасына түсіріледі. Өте сирек жағдайда (ол кенге байланыст) кейбір жинағыш реагенттер диірменге берілуі мүмкін.

Көбіктендіргіш реагенттер тікелей флотациялау операцияларына түсіріледі.

Бірсыпыра кендер коллективті схемалармен байытылады, демек екі не одан көп минералдар коллективті концентрат түрінде алынады. Оны жеке концентраттарға бөлу үшін басқыш реагенттермен өңдеу алдында, концентрат десорбциялау операциясынан өтеді: егер сульфидті концентрат болса күкіртті натриймен, ал тотықты концентрат болса сұйық шынымен өңделеді. Соның нәтижесінде минералдар беті жинағыштардан тазартылады. Тек содан кейін қосымша ұнтақталып не ұнтақталмай басқыш реагенттермен өңделеді.

Реагенттерді шығынына сай дәл реттеп және тасымалдауды оңайлату үшін олардың ерітінділерінің концентрациясы белгілі шекте болуы қажет.

Реагент ерітінділерін дайындауда, олардың шығындарына байланысты, қолайлы концентрацияларын белгілеу керек. Мысалы, соданың шығыны 1 тонна кенге жүздеген грамм болғандықтан, ерітінді концентрациясы 5-10% -ке жетуі мүмкін. Ал ксантогенат ерітіндісінің концентрациясы 1%-тен аспайды.

Реагенттер пульпаға түсіргіш аппараттар арқылы беріледі. Оларды таңдау тағыда реагенттердің қасиетімен байланысты.

IV-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛАУ СХЕМАЛАРЫ

(сызба нұсқалары)

Флотациялау процесімен байытқанда кенді тек бір операциядан өткізіп сапалы концентрат алу және ақырғы қалдық алу мүмкін емес. Екіншіден, көпшілік кен комплексті болып кездеседі. Сондықтан олардан бірнеше концентраттар алынуы қажет. Бағалы минералдар кенде әр түрлі сепкілді және әр түрлі қасиетті болып кездеседі. Кеннің осындай қасиеттеріне байланысты және бағалы заттарды тиімді бөліп алу үшін, ол көптеген операциялардан өтеді. Сол операциялар жиынтығын флотациялау схемасы деп атайды.

§ 1. Флотациялау операцияларының түрлері

Ұнтақтау процесінен шыққан кеннің түсетін ең бірінші байыту операциясы негізгі флотация деп аталады. Ол операцияда кеннен бір ғана не бірнеше бағалы минералдар бірге бөлінуі мүмкін. Бұл операцияда қойылатын мақсат - кеннен бағалы минералды неғұрлым толық бөліп алу. Бірақ, бағалы минералдардың қасиеттерінің әр түрлі болатындығына және қауышпалардың толық ажырамауына байланысты олардың біразы концентратқа шықпайды. Сондықтан оларды қосымша флотациялауға тура келеді. Негізгі флотациядан алынған көбікті өнімге қажетсіз минералдардың бірге шығуымен байланысты оның сапасы талапқа сай келмейді. Сондықтан оларды тазалау қажет. Осы мақсатпен негізгі операциядан шыққан көбікті өнім тазалау операцияларына түседі, ал қалдық түрінде алынған өнім (камералық) бақылау операциясына түседі.

Тазалау операциялар саны бастапқы кендегі бағалы заттың проценттік үлесіне қарай және концентрат сапасына қойылатын талаптарға сай бірнеше не көп рет жүргізілуі мүмкін. Кен неғұрлым бай болса, ондағы минералдардың флотоактивтіліктерінің айырмашылығы жоғары болса, соғұрлым тазалау операцияларының саны азаяды. Түсті металдар кендерін байытуда тазалау операциялар саны әдетте 3-4 тен аспайды.

Бақылау операцияларының саны бір-екіден аспайды. Негізгі флотацияның қалдығында бағалы минерал, негізінде, үш себептен қалады: қауышпалардың ажырамауы, шламға айналуы және реагенттік режимнің сәйкес болмауынан. Егер жоғалым бірінші екі фактордың әсерінен болса, онда бақылау операциясының санын өсіру еш нәтиже бермейді. Көпшілік жағдайда бақылау операциясында қосымша бөлу тек реагенттік режимді жақсарту арқылы ғана іске асады.

Негізгі, тазалау және бақылау операцияларының жиынтығы флотация циклі деп аталады. Флотациялау схемасы кеннен неше концентрат алынатынына және байыту ерекшеліктеріне қарай бірнеше циклдерден тұруы мүмкін. Әр циклде жеке не коллективті (бірік) концентрат алынады. Цикл, әдетте, сонда алынатын металл атымен аталады. Мысалы, мыс циклі, қорғасын-мыс циклі және т.с..

Егер циклде жеке атты концентрат алынса, ол даяр концентрат болып саналады, ал коллективті концентрат алынса, ол бөлу операцияларына, демек келесі циклге түсуі қажет.

Флотациялау схемасында концентраттар мен ақырғы қалдықтан басқа операцияларда көптеген өнімдер алынады. Ол өнімдердің жалпы аттары екіаралық өнімдер. Олар тазалау операцияларында камералық, ал бақылау операциясында көбікті өнім түрінде алынады. Олар схеманың әртүрлі операцияларына қайтарылып отырады. Тазалау операциясынан шыққан екіаралық өнім оның алдындағы операцияға қайтарылады. Бақылау операциясының көбікті өнімі негізгі флотацияға түседі және т.с. Бір компонентті кеннің ең қарапайым флотациялау схемасы 57-суретте көрсетілген. Егер екіаралық өнім негізінде қауышпалардан тұрса, ол алдыңғы операцияларға қайтарылмас бұрын жеке диірменде ұнтақталады. Кейде ұнтақтаудан кейін жеке циклде байытылуы мүмкін.

Операциялардан шығатын өнімдер схемада белгілі тәртіппен көрсетіледі. Көбікті өнім операцияның аты жазылған сызықтың сол жағындағы, ал камералық өнім оң жағындағы тік сызықтармен белгіленеді.

Суретте көрсетілгендей, бақылау флотациясының көбікті және бірінші тазалау флотациясының камералық өнімдерінің біріктірілуі олардың қасиеттерінің (металдық проценттік үлестері, қауышпалар сипаттамалары) жақындығына байланысты.

§ 2. Флотациялық сатылы байыту схемалары

Көптеген кендерді флотациялауда сатылы байыту схемалары жиі қолданылады. 57-суретте келтірілген схема кеннің бір сатылы байытылуын көрсетеді. Өндірістік тәжірибеде мұндай схемалар сиректеу кездеседі.

Сатылы байыту схемаларының қажеттігі кеннің сепкілдік сипаттамаларымен анықталады.

Бір сатылы байыту схемалары егер кен біркелкі сепкілді және аз шламданатын болса ғана қанағаттандырылғыш нәтиже береді. Табиғатта біркелкі сепкілді, демек бағалы минерал түйіршіктерінің диаметрлері бірдей болып кездеспейді. Тек олардың көпшілігінің диаметрлерінің салыстырмалы түрде жақындығына қарап, біркелкі деп шартты мағынада айтылады. Кендердің басым көпшілігінің сепкілділігі үлкен шекте, мысалы, бірнеше микроннан ондаған, кейде тіпті жүздеген микронға дейін өзгереді. Егер кен, минералдардың өте ұнтақ сепкілді бөлігі ажыратылғанша ұнтақталса, онда олардан бұрын ажырап үлгірген ірі түйіршіктері қажетсіз ұнтақталып шламға айналады. Сондықтан мұндай кендер тек сатылы флотациялау схемаларымен ғана тиімді байытылады. 58-суретте бір компонентті кеннің үш сатылы байыту схемасы келтірілген. Бастапқы кен минералдардың ірілеу сепкілді бөлігі ажыратылғанша ғана ұнтақталады да, бірінші байыту сатысына түседі. Ол сатыда минералдың тек ажыраған бос түйіршіктері концентратқа бөлінеді. Ұсақ сепкілді бөлігі (ажырамаған) қалдықта қалады. Осыдан кейін байытудың екінші сатысы басталады. Бірінші сатыдан шыққан қалдық бағалы минералдың қалған бөлігін ажырату үшін ұнтақталады да, одан кейін байытудың екінші сатысына түседі. Осы ретпен үшінші байыту жүргізіледі. Әр сатыда негізгі флотациядан алынған өнімдер біріктіріліп не жеке тазалау операцияларына түсірілуі мүмкін.

58-сурет. Бір компонентті кеннің үш сатылы байыту схемасының қысқа түрі

Көп жылдық өндірістік тәжірибе сатылы байыту схемаларын қолданудың тиімді екенін көрсетті. Бірақ операциялар саны көбеюімен байланысты қолданылатын жабдықтар саныда өсіп, түпкілікті шығындар артады. Сонымен қатар процесті реттеуде қиындайды. Осыларға байланысты сатылы байыту саны екі-үштен аспайды. Қазақстан республикасында тек Кентау байыту фабрикасында қорғасын-барит кенін флотациялауда қорғасын циклінде байыту үш сатылы жүргізіледі.

Кеннің қасиетіне қарай сатылы байытудың бірнеше түрлері қолданылады. 59-суретте кеннен технология басында ақырғы қалдық және сапасы төмен, бірақ бағалы зат толығырақ шыққан концентрат алынады. Концентраттың сапасын арттыру үшін бағалы минералдардың бос жыныс минералдарымен қауышпалары концентратты ұнтақтау арқылы ажыратылып барып байытуға түседі. Егер кеннен бір ғана металдың концентраты алынатын болса, қосымша ұнтақтау бір рет қана жүргізіледі.

59-сурет: Сапасыз концентратты қосымша ұнтақтап байыту схемасы.

60-суретте кеннен бастапқы ұнтақтаудан кейін сапасы жоғарылау концентрат және ақырғы қалдық алынып, екіаралық өнім жеке циклде байытылатыны көрсетілген. Екіаралық өнім циклінде алынатын концентрат осы циклде жеке тазалау операцияларына түсуі мүмкін, ал көпшілік жағдайда, ол бастапқы негізгі флотацияда алынған концентратпен бірге тазаланады не ұнтақталғаннан кейін бастапқы негізгі флотацияға түсіріледі.

60-сурет. Екіаралық өнімді қосымша ұнтақтап жеке циклде флотациялау схемасы

§ 3. Құмды және шламды фракцияларды жеке флотациялау

Ұнтақтау және сатылы байыту схемалары белгілі дәрежеде нәтиже бергенімен, кейбір шламданғыш кендер үшін ерекше технологиялық режимдер қажет. Соның біріне дүние жүзілік тәжірибеде кездесетін, ұнтақталған кеннің құмды және шламды фракцияларын жеке флотациялау жатады. Мұндай технологиялар шламды заттардың флотацияға зиянды әсерін белгілі мөлшерде төмендетеді.

Фракцияларды жекелеп флотациялауда әр цикл (құмды және шламды) өзіне қажетті режимдерде жүргізіледі. Оларға жататындар: реагенттік режим, ауалау дәрежесі, пульпаның тығыздығы, флотация уақыты және т.б. Солармен қатар, жеке циклдерде флотациялау талапқа сай флотомашиналарды қолдануға мүмкіндік береді. Мысалы, құмды фракция циклінде көбікте бөлгіш аппараттар, қайнау қабатты машиналар және т.с.с., ал шламды циклде судан бөлінетін газбен флотациялау, электрофлотациялау машиналарында жүргізілуі мүмкін.

Шламды флотацияда бағалы минералдарды таңдамалы флокуляциялау және коагуляциялау арқылы олардың флотоактивтілігін жоғарылатуға болады.

Қазақстан республикасында құмды және шламды фракцияларды жекелеп флотациялау 60 жылдан астам Жезқазған мыс байыту фабрикасында тиімді қолданылып келеді (61-сурет)

61-сурет. Жезқазған мыс кенін байыту фабрикасының схемасы.

61-суретте келтірілген схемадан Жезқазған фабрикасында тек жекелеп байыту ғана емес, сонымен қатар, құмды циклден алынатын концентрат және екіаралық өнімдер қосымша ұнтақталып байытылатындарын, демек екі типті схемалардың комбинациясының қолданылуын көреміз.

Фосфорит, марганец, темір және т.б. кендердің кейбір түрлері байытылғанда оларды флотациялау алдында шламды фракция бөлініп, ақырғы қалдық ретінде шығарылады да, тек құмды фракция флотациялауға түсіріледі.

§ 4. Коллективті (бірікті) және селективті (таңдамалы) флотациялау схемалары

Көпшілік кендер, әсіресе түсті металдар кендері, көп металды (полиметалды) болып кездеседі. Осындай кендерге, мысалы, Қазақстанда Лениногор, Зырдін, Белоусов және тағы басқа кен орындарынан шығатын кендер жатады. Олардан алтын, мыс, қорғасын, мырыш, пирит және кейбірінен барит концентраттары алынады.

Қолданылатын флотациялау схемаларының түрлері көптеген факторлармен анықталады. Олардың ішіндегі бастыларына жататындар: бағалы компоненттердің саны, олардың кендегі проценттік үлестері, бағалы минералдар құрамы, сепкілдік

сипаттамалары, минералдардың флотоактивтілігі және бос жыныс минералдарының құрамы. Осы факторлармен байланысты барлық схемалар түрлерін үш топқа бөлуге болады:

- 1) біртіндеп селективті (таңдамалы) флотациялау схемалары;
- 2) коллективті-селективті флотациялау схемалары;
- 3) коллективті флотациялап, алынған коллективті концентратты бөлу схемалары.

Схемаларды бұдан былай сипаттауда, мысал ретінде екі компонентті (қорғасын-мырыш, мыс-молибден) және одан көп компонентті кен ретінде мыс-қорғасын-мырыш-пирит кендері қаралады.

Біртіндеп селективті флотациялау схемаларымен кеннен бағалы минералдар бірінен соң бірі кезекті бөлінеді. Олардың бөліну кезегі минералдардың флотоактивтілігімен және кендегі металдың проценттік үлестерімен анықталады. Әдетте, алдымен кеннен оңай флотацияланатын минерал бөлінеді. Егер екі металл минералдарының флотоактивтілігі жақындау болса, онда алдымен проценттік үлесі аз металл минералы бөлінеді. Екі компонентті кенді біртіндеп флотациялау схемасы келтірілген (62-сурет)..

62-сурет. Екі компонентті кенді біртіндеп таңдамалы флотациялау схемасы

Бұл схемаларды қолдану шарттары: әр циклде флотациялауға жатпайтын минералдың (минералдардың) тиімді басқышы болуы қажет және кезегі келгенде оны активтендіру мүмкін болуы керек.

Жалпы бұл схемалар сиректеу кездеседі. Жер жүзілік тәжірибеде көбінде тек қорғасын-мырыш кені ғана осы схемамен флотацияланады. Оның сирек қолдануының бірнеше себептері бар:

- 1) кен флотациялау алдында, бағалы минералдар өзара және бос жыныс минералдарынан толық ажырау үшін жеткілікті дәрежеге дейін ұнтақталуы қажет;
- 2) кенді пульпа екі не бірнеше циклдерден өтуімен байланысты қажетті флотомашиналар саны көбейеді;
- 3) барлық циклде үлкен көлемді кенді пульпада қолданылатын реагенттердің концентрациясын белгілі деңгейде қамтамасыз ету мақсатымен олардың шығындары өседі;
- 4) флотоактивтіліктері жақын минералдарды селективті флотациялау қиындайды.

Коллективті-селективті флотациялау схемалары өндірістік тәжірибеде ең көп таралған схемаларға жатады. Бұл схемалар кен үш не одан көп компонентті болса қолданылады. Схеманың бұлай аталуы ең бірінші негізгі флотация операциясында екі (не одан көп) компоненттер минералдары коллективті флотацияланып, ал бір не одан көп компоненттер минералдары басылатынымен байланысты. Осындай схема, мысалы, мыс-қорғасын-мырыш (пирит) кендерін байытуда басты схема болып саналады. Үш компонентті кендерді коллективті-селективті схемамен байыту технологиясы келтірілген 63-сурет.

63-сурет. Үш компонентті кенді коллективті-селективті схемамен флотациялау

Келтірілген вариантта кеннен мыс және қорғасын минералдары коллективті флотацияланады. Оның басты себебі екі металдың сульфидті минералдарының флотоактивтіліктерінің жоғары болуы. Ал мырыш сульфидінің және пириттің флотоактивтіліктері төмен, сондықтан олардың флотациясын басу жеңіл.

Мырыш сульфидін және пиритті жекелеп флотациялау не бірге бөлу, негізінде, бірінші минералдың флотациялық қасиетімен анықталады. Егер пирит басқышы оның активтенуін төмендетпейтін болса, жеке флотацияланады да, ал керісінше болса бірге флотацияланады.

Мыс-қорғасын, сол сияқты мырыш-пирит коллективті концентраттары селективті флотациялауға түседі. Мыс-қорғасын концентратын бөлгенде, кен қасиетіне қарай не мыс минералдары, не болмаса қорғасын минералдары көбікті өнімге шығады (басылғаны камералық өнім түрінде алынады). Мырыш-пирит концентраты бөлінгенде әрдайым мырыш концентраты көбікті өнім түрінде алынады.

Коллективті флотациялау схемалары бойынша кендегі барлық сульфидті минералдар бірге флотацияланып, коллективті концентрат алынады да, ол селективті не коллективті - селективті схемалармен бөлінеді.

Коллективті флотациялау схемаларын қолдану кеннің екі қасиетімен анықталады:

1) флотацияланатын минералдардың барлығының флотоактивтілігі жоғары болғанда; 2/ бағалы минералдар кенде өзара бірігіп агрегатты (шоғырлы) сепкілді түрде болса.

Бірсыпыра кендер бағалы минералдарының жоғары флотоактивтіліктеріне байланысты тек қана коллективті схемамен флотацияланады да, коллективті концентрат селективті схемалармен бөлінеді. Осындай кендерге, мысалы, мыс-қорғасын және мыс-молибден кендері жатады. Бұлардан басқа көбінде селективті схемалармен байытылатын кейбір кендер, минералдарының қасиеттерінің өзгеруіне байланысты кейде коллективті схемалармен флотацияланады. Мысалы, мыс-мырыш кенінде мыс туынды сульфидтер (борнит, халькозин, ковеллин) түрінде болса, олар мырыш сульфидін (сфалеритті) активтендіріп жібереді де, оны басу қиындайды. Сондықтан кеннен олар коллективті концентрат түрінде алынып барып, артынан бөлінеді. Сол сияқты, қорғасын-мырыш кендерінде минералдар ірі агрегатты сепкілді болса, кен агрегаттар диаметрлеріне сай ірілеу ұнтақталып, коллективті схемамен байытылады (Өзбекстанда Алтын тапқан фабрикасында осындай схема қолданылады).

Екі компонентті кендерді байытудың коллективті схемалары келтірілген 64-сурет. Барлық сульфидті кендерде азды-көпті үнемі пирит кездесіп отырады. Коллективті схемалар қолданылғанда ол ақырғы циклде камералық өнім түрінде шығады. Қажеті болса ол флотациялануы мүмкін не болмаса қалдық ретінде қалады.

Қазақстанда Лениногор комбинатының N3 байыту фабрикасында Риддер-Сокольск кені және Белоусовка фабрикасында мыс-қорғасын-мырыш кені

64-сурет. Мыс-қорғасын және мыс-мырыш кендерінің коллективті схемалармен байытылу технологиялары.

-пирит кендрі коллективті схемалармен байытылады. Оған басты себеп болған жайлар:

1) сульфидті минералдардың агрегатты сепкілді болуы; 2) мыс кенде, негізінде, халькопирит түрінде болғанмен, біраз бөлегі туынды сульфидтер түрінде де кездеседі. Солардың әсерімен сфалерит табиғи активтенген түрде болады.

Кей кендерде сфалерит жартылай ғана активтенген түрде болады. Онда коллективті концентратқа сол активтенген бөлігі ғана шығады да, ал активтенбеген бөлігі коллективті флотация қалдығынан жасанды активтендіруден кейін қосымша флотацияланады. Мұндай схемаларды бөлшекті не жартылай коллективті схемалар деп атайды. Осындай схема Белоусовка фабрикасында қолданылады.

Коллективті және коллективті-селективті схемалардың біртіндеп селективті флотациялау схемаларымен салыстырғанда айтарлықтай тиімділіктері бар:

1) бос жыныс минералдарының негізі ірі ұнтақтаудан кейін жүргізілетін коллективті флотациядан ақырғы қалдық ретінде алынады да, кейінгі жүргізілетін селективті флотациялау алдында қосымша ұнтақтауға тек шығымы аз (кенмен салыстырғанда) коллективті концентрат қана түседі. Соның нәтижесінде ұнтақтау процесіне жұмсалатын шығын көп азаяды;

2) үлкен көлемді кенді пульпа тек коллективті флотациядан ғана өтеді, ал селективті флотациялау циклдерінен аз көлемді пульпа ғана өтуімен байланысты қажетті флотомашиналар саны, басқа жабдықтар азаяды;

3) бір тонна кенге шаққандағы реагенттер шығындары төмендейді;

4) күнделікті жұмыс шығындары азаяды.

Бұл схемалармен байытудың кемшілігі сол, селективті флотациялау алдында коллективті концентрат арнаулы дайындау операциясынан өтуі қажет. Ол үшін концентратқа шыққан минералдар бетінде адсорбцияланған жинағыш реагенттерді десорбциялау мақсатымен арнаулы реагенттермен (сульфидті кендерді, мысалы, күкіртті натриймен, тотықты кендерді сұйық шынымен) өндеп, басқада қажетті режимдер (пульпаның температурасын көтеру, реагенттерден шаю және т.б.) жасау қажет. Онымен қатар, коллективті концентраттарда минералдар көбінде қауышпалар түрінде болғандықтан қосымша ұнтақтау процесі жүргізіледі.

§ 5. Қиыстырылған схемалар

Кендер құрамдарының күрделілігіне, бағалы заттың онда әр түрлі қасиетті минералдар түрінде кездесуіне, кеннің кедейленуіне, оларды неғұрлым комплексті пайдалану қажеттілігіне байланысты өндірістік тәжірибеде әр түрлі әдістердің қиыспаларын қолдану күн санап артуда.

Қолданылатын қиыспа әдістерді жүйелеп топтау қиын. Себебі әр кеннің қасиетіне қарай тек өзіне тән әдістер қиыспасы ғана қанағаттандырушылық нәтижелер бере алады. Сондықтан бұл жерде кендердің тек кейбір қасиеттеріне байланысты қолданылатын қиыспалар түрлеріне тоқталайық.

Егер кенде кейбір минералдардың сепкілдігі өте үлкен шекте өзгерсе (мысалы, галениттің), оларды байытуға гравитациялық және флотациялық әдістердің бірге қолданулары тиімді келеді. Ірі сепкілді бөлегі ірі ұнтақтаудан кейін гравитациялық әдіспен, ал ұнтақ сепкілді бөлігі гравитациялық циклдің қалдығын ұнтақтаудан кейін флотациялау арқылы алынады.

Сульфидті-тотықты аралас кендерде тотықты минералдардың флотацияланбайтын түрлері болғанда, сульфидті минералдар флотация әдісімен алынып, қалдықта қалған тотықты минералдар ерітінділеніп, оған шыққан металдар катиондары не шөгілдіріліп, не электролизбен алынады. Мұндай технология мыстың аралас кендері үшін ертеден қолданылып келеді.

Мыс кендерде флотацияланбайтын оның силикатты минералы хризосола және басқада тотықты минералдар түрінде болса, кен қышқылды ортада ерітінділеніп, мыс ионға айналдырылады да, ерітіндіден Мостович әдісімен бөлінеді. Демек, мыс иондары цементацияланып металл ұнтағына айналдырылады да, флотацияланады.

Мыс-никель кендерінен олардың жеке концентраттарын алу үшін коллективті концентрат фاینштейн алу мақсатымен балқытылып, қатқан зат ұнтақталып, одан мыс қосындылары флотацияланады (Масленицкий әдісі). Бұл пирометаллургия мен флотация әдісінің бірге қолданылуының жақсы мысалы болып табылады. Темір кендерін байытуда электромагнитті, гравитациялық және флотациялық әдістерді бірге қолданудың көптеген варианттары кездеседі.

Титан, вольфрам және қалайы кендерін байытуда негізгі әдіс ретінде гравитациялық байыту қолданылып, алынатын коллективті концентраттарды бөлуге магнитті және электрлі әдістер қиыстары жиі қолданылады.

§ 6. Флотомашиналарда операцияларды жүргізу реті.

Флотациялау схемаларының күрделілігіне және қолданылатын операциялардың көптігіне байланысты, олар үшін пайдаланылатын машиналардың дұрыс қолданулары және орналасулары процестің дұрыс жүруіне маңызды әсер етеді. Оларға негізінен екі талап қойылады:

1) бір операциядан шыққан өнімдер екінші бір операцияларға неғұрлым өздігінен ағылып тасымалданып, олар үшін қолданылатын айдағыш насостар саны барынша аз болуы тиіс;

2) әр машинадан өтетін пульпа көлемі қажетті мөлшерден аз болмауы керек.

Төменде ең қарапайым флотациялау схемасы бойынша (65-сурет,а) операциялардың флотомашиналарда орналасу реті (65-сурет,б) келтірілген. Егер операциялар механикалық машиналарда жүргізілетін болса, әр операциядан шығатын камералық екіаралық өнімдер өздігінен ағып, келесі операцияларға түседі, ал көбікті өнімдер басқа операцияларда қолданылатын машиналардың бірінші камераларына олардың сору әсерімен түседі. Егер пневмомеханикалық машиналар қолданылатын болса, онда көбікті өнімдердің келесі операцияларға өздігінен түсулері, сол операцияларда қолданылатын машиналардың бірінші камераларында механикалық машиналардың импеллерлі-статор блоктары орнатылуы қажет.

65-сурет. Флотациялау схемасына (а) сәйкес флотомашиналардың орналасу реті.

Егер флотациялауда пневматикалық машиналар қолданылса, онда көбікті өнімдерді келесі операцияларға түсіру үшін тек насостар қолданылуы қажет (65 сурет, в).

V-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛАУ БӨЛІМІНІҢ ЖҰМЫСЫН ҰЙЫМДАСТЫРУ

Флотациялық байыту фабрикаларының барлық бөлімдерінің жұмысы флотациялау бөлімінің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз етулері қажет. Әсіресе флотациялық концентраттарды сусыздандыру мақсатымен жүргізілетін процестер (қойылдыру, сүзу және құрғату) флотациялау бөлімімен синхронды атқарылуы қажет. Сол сияқты реагент бөлімінде қажетті реагенттердің ерітінділері белгілі көлемде дайындалып, флотациялау бөліміндегі шығындау чандарына график бойынша түсіріліп отыруы негізгі шарттардың бірі болып саналады.

Флотациялау процесінде алынатын технологиялық көрсеткіштерді жетілдіру барлық операциялардың параметрлерін қажетті деңгейде ұстаумен байланысты. Сондықтан олар үздіксіз (кейбірі үзілімді аралықта) бақыланып отырулары қажет. Ол, байыту фабрикаларында технологиялық процестерді басқару үшін автоматикалық жүйелерді (АСУ ТП) пайдалану арқылы ғана іске асады.

§ 1. Флотациялау бөлімін іске қосу және тоқтату тәртібі

Флотациялау бөлімін іске қосу белгілі тәртіппен жүргізіледі. Әдетте, ең алдымен флотациялау өнімдері түсетін аппараттар және олармен байланысты насостар іске қосылады, демек қосу, аппараттар тізбегінің ең соңындағы жабдықтардан басталады.

Солардан кейін флотомашинаға және чандарға пульпа түсіретін насостар іске қосылады. Байыту процесіне қатынасы бар жабдықтар түгел жіберілген соң ғана ұнтақтау циклі іске қосылады (алдымен классификатор, сонсоң диірмен).

Диірменге кен түсе бастағаннан бастап оған қажет болса, реагенттерде түсіріле бастайды. Жалпы, реагенттер аппараттарға пульпаның түсу жолын қуалай отырып түсіріледі. Флотомашиналарда көбікті өнім пайда бола бастағанда науаларға су беру басталады.

Белгілі операция жүретін флотомашина пульпаға толған кезде оның жоғарғы деңгейі реттеле бастайды. Әдетте реттеу ең ақырғы камералардан басталады.

Флотациялау бөлімінің жұмысын тоқтату ең басқы процестерден басталады. Бірінші кезекте диірменге кен түсіру тоқтатылады да, диірмен мен классификатор ішіндегі кен біткенше біраз уақыт жұмыс істейді. Флотациялау машиналары басқы операциялардан бастап, олардың ішіндегі пульпаның негізі шыққанша біраз уақыт істейді де, сонсоң біртіндеп тоқтатылады. Реагент түсіруде сол кезекпен қатар тоқтатылып отырады. Науаға берілетін сулар көбікті өнімнің бітуімен сәйкес жабылып отырады. Насостарда осы кезекте біртіндеп тоқталады.

Көмекші процестердің жүруі флотациялану бөлімін тоқтатумен тікелей байланыспайды. Әрине, ондағы аппараттарда басқы процестерден бастап (алдымен қойылдырғыш) біртіндеп тоқтатылады. Барлық сусыздандыру процестері флотациялау бөлімі толық тоқтатылғаннан кейін біраз уақыт өткен соң ғана жұмыстарын аяқтайды.

§ 2. Флотациялық фабрикаларда еңбек қорғау және қауіпсіздік техникасын сақтау

Флотациялық фабрикаларда да, кез келген өндіріс орындарындағыдай, жалпы қауіпсіздік ережелері түгел сақтанулары қажет. Басқа өндіріс орындарынан олардың үлкен ерекшелігі, көптеген қасиетті химиялық заттардың флотореагенттер ретінде қолданулары.

Қауіпсіздік техникасын сақтау, реагенттерді қасиеттеріне қарай топтап, әр топтағыларды жеке-жеке орындарда арнаулы нұсқауларға сәйкес орналастырудан басталады.

Ақ кіріш және натрий силикаттарын ұсату желдеткіштер жүйелерімен жабдықталған жеке бөлімшелерде жүргізілуі қажет.

Реагенттердің ерітінділері арнаулы реагент бөлімінде еріткіш чандарда дайындалып, флотациялау бөліміндегі реагенттер алаңында орнатылған шығындау чандарына жіңішке құбырлармен беріледі. Қауіпсіздік техниканы сақтау үшін, оларды тасымалдау және шығындарын реттеу қолайлы болу үшін тек ерітінділер түрінде қолдану керек.

Көпшілік реагенттер өте ұлы болуымен байланысты оларды дайындау және сақтау арнаулы нұсқауларды қатаң орындауды қажет етеді. Ондай реагенттер ауаға бу шығармайтын арнаулы ыдыстарда және қақпақтары құлыптаулы түрде болуы қажет.

Ондай реагенттерді түсіргіштер автоматты жүйелермен жабдықталып, операцияларға әр түрлі түспен боялған құбырлармен түсірулері қажет. Олардың пульпаға түсіру орындары қоршауланып, жұмысшылардың олармен қатысу мүмкіндігі болмауы керек.

Реагент бөлімінде еріткіш чандарды және шығындау чандарын тазалау жұмыстары атқарылғанда жұмыскерлер тек противогаздар, арнаулы киімдер, қолқаптар киіп істеуі қажет.

Ұлы реагенттерден босаған ыдыстар жеке жерде сақталып, тиісті орындарға жөнелтілу алдында оларды арнаулы әдістермен тазалау керек.

Барлық жұмыс орындарында, реагенттермен жұмыс істеу жайында арнаулы нұсқаулар болып, олармен жұмыскерлер нақтылы танысып, оларды білетіндері туралы құжаттарға қолдарын қояды.

Сол сияқты, егер жұмыскерлер қатерлі жағдайға ұшыраған күнде, жұмыс орнында бірінші көмек беруге қажетті заттар болып, оларды қалай пайдалану керектігі туралы ұғымды жазылған нұсқаулар болуы қажет.

Флотациялық бөлімде процестер толық механикаландырылуына байланысты тоқ соғу қауіптілігінен сақтану ережелері мұқият орындалуы қажет.

Флотация процесінің қандай дәрежеде жүріп жатқанын оның сырт көрінісінен байқау үшін, бөлім ішінің жарықтылығы нормаға сай болуы керек. Сонымен қатар, бөлімді желдету жүйесі ауаның тазалық дәрежесін белгілі деңгейде ұстауға мүмкіндік беруі қажет.

VI-ТАРАУ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ФАБРИКАЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ ТУРАЛЫ

Флотациялық фабрикалардың технико-экономикалық көрсеткіштері көптеген факторлармен анықталады. Олардың бастылары: кеннің затты-минералды құрамы, байыту технологиясының деңгейі, процесті бақылау және реттеу дәрежесі, кенді комплексті пайдалану деңгейі және т.с.с. Осыған байланысты технико-экономикалық көрсеткіштер үлкен шекте өзгеріп отырады. Оларды қазіргі нарықтық экономика жағдайында жүйелі келтіру не талдау қиын. Сондықтан бұл тарауда флотациялық фабрикалардың жұмысын қамтамасыз етуге қолданылатын бір тонна кенге шаққандағы заттардың натуральды шамалар мөлшері келтіріледі (13-кесте).

13-кесте

1т кенге жұмсалатын электроэнергия, су және ұнтақтау заттардың шығындары

Электроэнергия кВт.с.	Су, т	Біліктер, кг	Шарлар, кг	Футеровка, кг
15-30	3-5	0,1-0,4	0,1-0,8	0,011-0,10

Электрэнергия және басқа заттардың шығындарының өзгеруіне, бірінші кезекте, кеннің қаттылығы және кеннің құрамына байланысты қолданылатын технологиялық схемалардың күрделілігі әсер етеді. Үлкен өнімді байыту фабрикаларының біраз көрсеткіштері келтірілген 14-кесте.

14-кесте

Ірі өнімді флотациялық фабрикалардың кейбір
көрсеткіштері (Абрамов бойынша)

Көрсеткіштер	Кен		
	Мыс фабр.	Полимет. фаб.	апатит. фабр.
Жылдық өнімділік, млн. т.	5-20	2-4	22,7
1 т кенге үлесті шығын: электрэнергия, кВт.с.	20-30	23-40	21,0
су, м ³	2,5-5	4-6	4,3
Ұсатқыштармен диірмендер футеровкалары, кг	0,2-0,3	0,2-0,4	0,13
біліктер мен шарлар, кг	1,2-1,6	0,7-1,6	0,9
1 т концентратқа қажетті отын, кг	20-28	17-22	17,5
1000 т кенге шаққандағы үлесті көрсеткіштер:			
өндірістік ғимараттардың көлемі, м ³	100-200	120-360	117
технологиялық жабдықтардың салмағы, т	1,7-2	2,3-2,6	1,1
қойылған электроқозғалтқыштардың қуаты, кВт	5-8	7-11	5,6
Басты корпуста жабдықтарды пайдалану коэффициенті жұмыс уақыты, %	90-93	90-93	93,5

АЛТЫНШЫ БӨЛІМ ПАЙДАЛЫ ҚАЗЫНДЫЛАРДЫ ФЛОТАЦИЯЛАП БАЙЫТУ ТӘЖІРИБЕЛЕРІ

I-ТАРАУ ТАБИҒИ АЗ СУЛАНАТЫН МИНЕРАЛДАР КЕНДЕРІН ФЛОТАЦИЯЛАУ

Табиғи аз суланатын минералдарға жататындар: көмір, графит, элементті күкірт және тальк. Олардың аз сулануы кристалдық құрылымдарының ерекшеліктерімен байланысты. Шеттік сулану бұрыштары 50-90° шегінде өзгереді. Осымен қатар, олар аз тығыздықтарымен және жұмсақтықтарымен сипатталады:

	тығыздық г/см ³	қаттылық (Моос шкаласымен)
Тас көмір	1,2-1,4	2-3,5
Графит	2,15	1-2
Элементті күкірт	2,05	1,5-2,5
Тальк	2,7	1,0

Табиғи суланулары аз болғанмен олар тек жинағыш реагенттерді қолдану арқылы флотацияланады. Негізгі жинағыштар ретінде полярсіз реагенттер қолданылады. Олар минералдар бетіне ұсақ тамшы түрінде молекулалық байланыспен жабысып, су қабатының тез бұзылуын жылдамдатады. Бет қасиеттерінің өзгеруіне қарай (мысалы, тотығу нәтижесінде) кейде полярсіз жинағыштарды гетерополярлы реагенттермен қосып беру олардың флотациялануларын жеңілдетеді. Сонымен қатар гетерополярлі реагенттер полярсіз жинағыш эмульсиялануын жақсартып, шығындарын төмендетеді.

Бұл минералдар кендерін флотациялау ерекшеліктеріне жататындар:

1. Кендер тек бір компонентті ғана болып кездеседі де, бағалы минералды тек бос жыныс минералдарынан айыру мақсаты қойылады.

2. Көпшілік жағдайда кендерде бос жыныс минералдарының шламды фракциялары, органикалық заттар және тағы басқа зиянды кірмелер болуына байланысты, оларды басуға басқыш реагенттері қолданылады.

3. Минералдардың жұмсақтығына байланысты белгілі бөлектері шламданып, бос жыныс минералдарын активтендіруі нәтижесінде концентрат сапасы төмендейді де, тазалау операцияларының санын жоғарылатады. Шламдануды азайту үшін графит және тальк кендерін байытуда көп сатылы флотациялау схемалары қолданылады.

Басқа қазындылар түрлерімен салыстырғанда, бұл кендерді байытуда алынатын технологиялық көрсеткіштер жоғары келеді. Күкірт концентратында күкірттің проценттік үлесі 60-90%, ал бөліп алу дәрежесі 80-95%, графит концентратында көміртек 88-89%, бөліп алу дәрежесі 82-83% мөлшерінде болады.

Графит кендерін флотациялау. Графиттің кристалдану ірілігіне қарай оның кендері қабыршақты (қабыршық размеры > 0,2 мм), тығызкристалды (< 0,1 мм) және жасырын кристалды (< 0,001 мм) болып бөлінеді.

Графиттің аз суланғыштығы оның кристал құрылымының ерекшеліктерімен, ал белгілі шекте өзгерімділігі құрамындағы кірмелердің және бетінің тотығу дәрежесімен байланысты. Жинағыш ретінде керосин (0,2-2,5 кг/т және көбіктендіргіштер) ретінде қарағай майы, Т-80 және т.б./ қолданылады.

Ең оңай флотацияланатын түрі қабыршақты графит, басқа екі түрінің флотоактивтіліктері төмен. Қабыршақты графитті флотациялауда басқыш реагенттер көбінде қолданылмайды. Бірақ кенде оңай флотацияланатын бос жыныс минералдары болғанда, оларды басу үшін сұйық шыны (кальцит үшін), ал слюдалар болса фторлы натрий қолданылады.

Негізгі флотациялау алдында ұнтақтау 45-55%-0,074 мм-ге дейін ғана жеткізіліп, бос жыныс минералдарының негізі ақырғы қалдық ретінде шығарылады. Концентрат сапасы оның күлділігімен бағаланады. Күлділік әдетте 5-18 % шамасынан аспауы қажет. Қабыршақты графиттің жоғары құндылығына байланысты, оны неғұрлым ірілеу және таза түрінде бөліп алу мақсатымен бастапқы концентрат (негізгі флотациядан алынған) сатылы тазаланылады, демек бірнеше рет қосымша ұнтақталып, тазалау операцияларының саны 6-8-ге жетеді.

Даяр концентратта көміртектің проценттік үлесі 93-95%, ал одан бөліп алу дәрежесі 90%-тен жоғары болады. Алынған концентрат құрғатылып, әр түрлі сорттарын алу үшін ірілік кластарға бөлінеді. Өндірістің әр салаларында графит концентраттарына әр түрлі талаптар қойылады.

Күкірт кендерін флотациялау. Күкірт кендерінде элементті күкірт ірі сепкілді /1,0-0,3 мм/ келеді. Осыған байланысты, негізгі флотация алдында 0,25-0,8 мм-ге дейін ұнтақталады. Жинағыш реагенті ретінде керосин, ал көбіктендіргіш ретінде қарағай майы, Т-80 және т.б. қолданылады. Керосин шығыны 0,8-1,0 кг/т, сұйықшыны 0,5 кг/т мөлшеріндей.

Күкірттің аз суланғыштығымен жоғары флотоактивтілігіне қарамастан, кенде өте ұнтақты балшық шламдары, битумдердің және басқалардың болуы флотацияға зиянды әсерлерін тигізеді. Сондықтан шламдарды пептизациялау, битумдерді басу мақсатымен сода, сұйық шыны, пирофосфат натрийы және т.б. қолданылады. Реттегіш реагенттер күкірттің 50%-тей мөлшерін автоклавты балқытуға жарамды жоғары сапалы концентрат (96-97% күкірттен тұратын) алуға мүмкіндік береді.

Флотациялаумен алынған концентрат автоклавта балқытылып "сықпалы күкірт" алынады да, оның қалдығы флотацияға қайтарылады.

Талькты флотациялау. Тальк концентраттары құрамында серпентин, хлорит, магнезит және доломит бар бос жыныстардан алынады. Сапасына қарай тальк концентраттары қағаз, резеңке, электроизоляторлар және солар сияқты кейбір заттарды жасағанда толтырма (наполнитель) ретінде қосылады. Олардың сапасы құрамында ерімейтін қалдықтың проценттік үлесімен, ірілігімен және оған сарғыш түс беретін құрамындағы темірдің аз-көптігімен бағаланады.

Тальктың флотоактивтілігі басқа минералдармен салыстырғанда көп жоғары. Қабыршақты түрі тығыз кристалдыларына қарағанда оңай флотацияланады. Беті темір тотықтарымен "жабылса" тальктің флотоактивтілігі күрт төмендейді. Ондайда күкірт қышқылымен рН 6,0-6,5 дейін төмендетіліп, флотациялануы жоғарылатылады.

Флотациялау алдында ұнтақтау мөлшері-0,15мм-ге дейін жүргізіледі. Жалпы сатылы байыту қолданылса технологиялық көрсеткіштер жоғарылайды. Жинағыш реагент ретінде керосин (100-200 г/т), көбіктендіргіш ретінде қарағай майы (50-100 г/т) қолданылады. Ірі қабыршақты аз суланатын фракциясын қышқылды ортада тек көбіктендіргішпен ғана флотациялауға болады.

Флотациялау схемасы негізгі, бақылау және 2-3 тазалау операцияларынан тұрады. Концентратта ерімейтін қалдықтың проценттік үлесі 88-89%, ал бөліп алу дәрежесі 82-83%-ке жетеді.

Көмірді флотациялау. Көмірге қолданылатын негізгі байыту әдісі гравитациялық әдіс. Бірақ жұмсақтығына байланысты, көп мөлшерде шламды фракция (0,5 мм-ден ұнтақ) шығады. Әсіресе, көмір қазу жоғары дәрежеде механикаландырылуына байланысты шламды фракцияның шығымы өскендіктен, флотациялау процесі қажетті байыту әдісіне айналды.

Көмір құрамының өзгеруіне қарай әр түрлі флотацияланады. Оның витрен және кларен сияқты жылтыр түрлілерінің күңгірт түрлерінен (дюрен және фюзен) флотоактивтілігі жоғары келеді. Тотығу дәрежелері артқан сайын және минералды кірмелердің проценттік үлестері көбейген сайын флотоактивтілігі төмендейді.

Жинағыш реагенттері ретінде керосиннен күштілеу аполярлы ароматты ААР-1 және ААР-2 атты реагенттер жиірек қолданылады. Сол сияқты, шекті көмірсутектерден және нафтеннен тұратын, ароматты көмірсутектерден тазаланған керосин үшін аполярлы парафиндерден, нафтенді және ароматты көмірсутектерден тұратын АФ-2 реагенттері пайдаланылады. Бет активті заттар ретінде (олар көбіктендіргіштер және эмульгатор ролін атқарады) бутил спиртін өндіруде шығатын қалдықты өнімдер (кубовые остатки), дивинильді жасанды каучук өндірісінің қалдығы пенореагент, сірке қышқылын өндіруде қосымша алынатын реагент ТЭФ-2 (ацетил альдегидінің тотықты өнімі) қолданылады. Олардың барлығының құрамында шектелген және шектелмеген әр түрлі спирттер бар.

Аполярлы реагенттерді тиімді қолдану жолы оларды эмульсия түрінде беру.

Ондай реагенттердің шығыны 500-1800 г/т шегінде, ал гетерополярлылардың шығыны 20-70 г/т шегінде өзгереді (егер спирттер түрінде болса). Флотациялау технологиясы осы екі топқа жататын реагенттердің тіркестері қолданылса жақсы реттеледі. Олардың ара қатнасы көмірдің қасиетімен анықталады. Егер тек аполярлы жинағыштар қолданылса көмір концентратының сапасы артады. Тотыққа шалынған көмірді толығырақ бөлу үшін гетерополярлы реагенттердің үлесі жоғарылау болуы қажет.

Реагенттердің эмульсиялануын жоғарылату үшін пульпаның температурасын 27-28⁰С-қа дейін көтеру жақсы нәтиже береді. Жалпы өндірістік тәжірибеде аполярлы реагенттердің тиімділігін арттыру үшін бірсыпыра әдістер қолданылады.

Көмір шламдарын флотациялауда пульпаның тығыздығы елеулі роль атқарады. Оңай флотацияланатын түрлерін байытқанда пульпада қатты заттың концентрациясы 120-200 мг/л, ал балшықты шламды материалды байытқанда 100 г/л-ге дейін төмендетіледі. Мұндай режимде, әрине, процесс өнімділігі төмендеп, реагенттер шығыны өседі. Бірақ флотацияның таңдамалылығы артады.

Көмірді флотациялау схемалары қарапайым келеді. Көпшілік жағдайда бірғана флотациялау операциясы қолданылады. Егер бастапқы көмір күлділігі жоғары болса, онда бірінші камералардан алынған көбікті даяр концентрат түрінде, ал соңғы камералардан алынған көбікті өнім тазалау операциясына түсіріледі.

Концентрат күлділігі әдетте 2,5-10%, ал қалдықта ол 60-80% шегінде өзгереді.

Көмір флотациялауда кейінгі 20-25 жылдарда үлкен көлемді ФППМ-20 типті пневматикалық машиналар /камера көлемі 40 м³/ қолданыла бастады. Сол сияқты, колонналы машиналардың келешегі айқын деуге болады.

II-ТАРАУ

АСЫЛ МЕТАЛДАР КЕНДЕРІН ФЛОТАЦИЯЛАУ

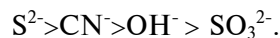
Асыл металдарға алтын, күміс және платина тобына кіретін металдар жатады. Бұлардан басқа кейде металл түрінде мыс, висмут және сынап флотацияланады. Асыл металдар кендерде сап түрінде және химиялық қосылыстар - теллуридтер (алтын, күміс), сульфидтер (күміс, платиноидтар) және тағы кейбір түрде кездеседі.

Бұлардың ішінде алтынның флотациялық қасиеті толық зерттелген деуге болады.

Алтынның негізі кенде сап түрінде және сульфидтер құрамында, әсіресе мыс, пирит және арсенопиритте өте ұнтақ сепкілді түрде кездеседі. Кейде оның сульфиді басқа сульфидтермен қатты ерітінді түрде байланыста болады.

Сап алтынның басқа сульфидтермен салыстырғанда флотоактивтілігі төмендеу. Дегенмен, сульфидрильді жинағыштармен қанағаттандырылғыш флотацияланады. Оның флотоактивтілігі судағы оттеппен белгілі дәрежеге дейін тотықтырылса жоғарылайды.

Алтынның флотациялануын басатын бірсыпыра реагенттер әрекет күштіліктеріне қарай төмендегідей орналасады:



Сульфид ионының басу әрекеті алтынның бетінің тотығуына жол бермей, соның нәтижесінде ксантогенаттың адсорбциялануын тоқтатады. Алтын бетінде өте суланғыш Au₂S қабыршағы түзіледі.

Циан ионының басу әрекеті алтын бетінде адсорбцияланған ксантогенатты ерітіп жіберуіне байланысты. Гидроксил ионының концентрациясы өскен сайын ксантогенаттың адсорбциялануы қиындай бастайды. Әсіресе оған ақ кіріштің әсері үлкен. Мысалы, рН=9,5 болғанда оның флотациялануы күрт төмендейді, ал содалы сілтілі ортада басылуы рН=11 мөлшерде ғана басылады. Сондықтан оны флотациялауды әлсіз, содалы сілтілі ортада жүргізу қажет (рН<9).

Алтын құрамында мыс және темір болса, олардың тез тотығуы нәтижесінде, әсіресе тотығулары белгілі мөлшерден асып кетсе, флотациялануы нашарлайды. Жалпы кез келген тез тотығатын кірмелер оның флотациялануына зиянды әсер етеді.

Егер алтын сульфидті минералдар құрамында болса, онда ол сульфидті концентратқа шығады.

Алтын өндіретін фабрикаларда оның кенде қандай түрде болуына байланысты әртүрлі әдістердің қиыспалары қолданылады. Мысалы, байыту әдістері гидрометаллургиялық әдістермен қоса қолданылады. Кендегі ірі түйіршікті сап алтын ұнтақтау циклінде гравитациялық әдіспен алынады. Ол үшін диірменнен шыққан пульпа классификаторға түсірілмес бұрын отсадкалау машинасынан (кейде арнаулы жабдықталған флотокамерадан) өткізіледі де, оларда сап алтын бөлінеді.

Сульфидтер құрамындағы алтын сульфидті минералдарды флотациялаумен көбікті өнім түрінде алынады. Жинағыш реагент ретінде ксантогенатпен дитиофосфаттың тіркестері қолданулары мүмкін. Оңай флотацияланатын бос жыныс минералдарын басуға органикалық басқыш, мысалы КМЦ, қолданылады. Себебі сұйық шыны не крахмал алтынның флотациялануын төмендетеді.

Сульфидті концентраттан алтынды бөліп алу үшін циандау процесі не балқыту қолданылады.

Көпшілік кендерде сульфидті минералдар құрамында басқада өте бағалы сирек және шашыранды элементтер (кадмий,индий,висмут,германий, селен,теллур және т.б.) кездесіп отырады. Осыған байланысты, флотациялау технологиясы оларды неғұрлым толығырақ бөліп алуға бағытталып жасалуы қажет.

III-ТАРАУ

СУЛЬФИДТІ КЕНДЕРДІ ФЛОТАЦИЯЛАУ

Түсті металдардың негізі сульфидті кендерден алынады. Құрамындағы металдардың түрлеріне қарай олар мысты, мыс-молибденді, мыс-мырышты, қорғасын-мырышты, мыс-қорғасын-мырышты, мыс-никельді, сынап-сурьмалы және висмутты болып бөлінеді. Бұлардың барлығында азды-көпті мөлшерде сирек және шашыранды элементтер кездесіп отырады.

Сульфидті минералдардың барлығы дерлік сульфгидрильді жинағыштармен оңай флотацияланады. Аталған жинағыштар бос жыныс минералдарымен әрекеттеспеуі нәтижесінде сульфидтер олардан оңай бөлінеді. Бірақ көптеген кенде бірнеше сульфидті минералдар бірге кездесіп отырады. Сондықтан оларды жеке концентраттар түрінде алу қажет. Осы тұрғыдан қарағанда бірсыпыра қиындықтар туады. Мәселе сульфидті минералдардың флотациялық қасиеттерінің айырмашылықтарының аздығында. Солай бола тұрсада, көптеген реттегіш реагенттердің (басқыштар, активтендіргіштер және т.б.) көмегімен оларды бөлу технологиялары жасалды.

Оларды кеннен бөлуді қиындататын екінші бір жай, ұнтақ сепкілді болулары және өзара байланыстарының кейде күрделі болуы. Сондықтан, көбінде түсті металдар кендері сатылы байытылады. Сол сияқты, ұнтақтауда сульфидтердің шламға айналуын төмендету үшін кенді ірі ұнтақтаудан кейін коллективті схемалармен байыту жиі қолданылады. Алынған концентраттар қосымша ұнтақталып селективті флотациялауға түседі.

Сульфидті флотация негізінде сілтілі ортада жүргізіледі. Тек кейбір жағдайда (мысалы, коллективті флотациялауда) бейтарапты не әлсіз қышқылды ортада флотациялау қолданылады. Сілтілі орта ақ кірішпен (егер кенде қорғасын минералдары болмаса) не содамен жасалады.

Мыс және мыс-молибден кендерін флотациялау. Кенде мыстың проценттік үлесі 0,3-0,4%-тен жоғары болса ол тиімді байытылатын кенге жатады. Оның негізгі сульфидті минералдары: халькопирит CuFeS_2 (ол мыс колчеданы деп те аталады), борнит Cu_3FeS_3 , халькозин Cu_2S (мыс жылтыры) және ковеллин CuS . Бұлар кенде әр түрлі қатнаста болады: кейбірінде мыстың негізі халькопирит түрінде болса, ал кейбірінде басқалары көбірек кездеседі. Оларды туынды сульфидтер (вторичные) депте атайды. Аталған сульфидтерден басқа кендерде үнемі пирит FeS_2 болады. Бос жыныс минералдарының негізін кварц, силикаттар және басқалар құрайды.

Пирит құрамында жиі алтын, күміс және платина тобына жататын металдар кездесіп отырады. Олардан басқа жиі кездесетін минерал молибденит MoS_2 .

Мыс сульфидтерінің барлығы сульфгидрильді жинағыштармен активті флотацияланады. Егер кен құрамында молибденит болса, қосымша аполярлы жинағыштар (мысалы, керосин) қолданылады.

Флотация әдетте сілтілі ортада ($\text{pH}=6-12$) жүргізіледі. Сілті ретінде ақ кіріш қолданылады. Ол пиритті басу үшін қажет.

Барлық мыс сульфидтері цианидтермен, сульфид және гидроксил иондарымен басылады.

Пирит және мыс сульфидтерінің көптеген кендерде кездесулерімен байланысты төменде олардың қасиеттері қысқаша сипатталады.

Пирит FeS_2 . Ол жер қыртысында ең көп тараған сульфид. Оның құрамы: Fe-46,6%, S-53,4%. Қаттылығы 6, тығыздығы 5 г/см³.

Пирит концентраты кендерден екі жағдаймен байланысты бөлінеді: 1) оны жағып, күкіртті газдан күкірт қышқылын алу үшін; 2) құрамында бағалы заттар болғанда соларды бөліп алу үшін.

Оның басты химиялық қасиеті - бетінің тез тотығуы. Беті аз мөлшерде ғана тотыққан пирит ең оңай флотацияланатын минералдарға жатады. Оның бетінде адсорбцияланған ксантогенат тек гидроксил иондарымен ығыстырылып шығарылады. Себебі гидроксил ион темір катионымен ерігіштігі өте төмен гидроксид түзеді. Осымен байланысты сілтілі ортада аса тотығып, флотоактивтілігі басылады. Әсіресе, сілті ретінде ақ кіріш қолданылса, оның басылуы күшейе түседі. Кальций катионы пирит бетін тотығуы нәтижесінде пайда болған қосылыстармен әрекеттесіп аз еритін қабыршақтар (CaSO_3 , CaSO_4) түзеді.

Пириттің күшті басқышы цианид. Циан ион (CN^-) темір катионымен өте күшті әрекеттеседі. Сонымен қатар, циан тұздары гидроксил иондарының көзі болып табылады. Мыс купоросымен активтенген пирит осы реагентпен күшті басылады. Оның улылығына байланысты шығынын азайту үшін ақ кірішпен бірге қолдану тиімді.

Басылған пирит пульпаның рН мөлшерін қышқылдармен 6,0-6,5-ға түсірсе оңай активтенеді. Қышқылды орта жасауды коллективті концентраттарды бөлгенде қолдануға болады. Мұнда пульпа көлемі аз болады да, қышқылдың кенге шаққандағы шығыны жоғары болмайды.

Пирротин $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$. Оның қасиеттері пиритке өте ұқсас. Оның құрамында да алтын, күміс және басқалары кездесіп отырады. Ол әсіресе мыс-никельді кенде үнемі кездесетін минерал және құрамында никель, кобальт, платина тобының металдары, мыс болады. Пириттен жұмсақ, қаттылығы 3. Сондықтан тез шламданады және тотығу жылдамдығы өте жоғары. Мысалы, пульпада пирротин оттегімен әрекеттесіп, қанығу дәрежесіне жетпей мыс сульфидтерінің тотығуы басталмайды. Сондықтан құрамында пирротин болатын мыс кендерін флотациялау алдында пульпаны аэрациялау қажет. Пирротиннің кейбір түрінің магнитті қасиеті болады. Ондай жағдайда сульфидтерді одан бөлу үшін магнитті әдіс қолдануға болады.

Халькозин Cu_2S /79,83% Cu, 20,17% S, қаттылығы 2-3, тығыздығы 5,5 г/см³/. Ол мортты, шламдануға ыңғайлы минерал. Құрамында көптеген бағалы металдар кездеседі. Флотациялық тұрғыдан қарағанда ол тез тотығатын минерал. Соның нәтижесінде пульпада мыс иондарының концентрациясы тез өсіп, басқа минералдарды активтендіріп жібереді. Сөйтіп олардың селективті флотациялануын қиындатады.

Халькозин флотациясы цианидпен, сульфит және гидросульфитпен, ферро - және феррицианидтермен, сульфид иондарымен басылады. Цианидпен басылу ерекшелігі сол оның концентрациясы белгілі шектен аспауы қажет. Асқан жағдайда мысты-цианид қабыршағы ери бастайды. Жалпы, цианид ионының концентрациясы жеткілікті және тұрақты қалыпта болғанда ғана процесс нәтижелі жүреді.

Халькопирит CuFeS_2 (34,5% Cu, қаттылығы 2-4, тығыздығы 4,2 г/см³). Ол мыстың ең жиі кездесетін басты минералы. Құрамында үнемі бағалы металдар кездесіп отырады. Тотығу жылдамдығы аз. Пульпаның рН-ы бейтараптыға жақын болғанда ол ең флотоактивті түрде болады. Өте жоғары сілтілі ортада (рН>11) оның бетінде темірдің гидроокисы қосылыстары түзіледі. Туынды сульфидтермен салыстырғанда халькопиритте циан ионы берік адсорбцияланады. Бұл жай, мыс-қорғасын концентратын бөлгенде тиімді пайдаланылады. Мыс сульфидтерін пириттен жоғары сілтілі ортада бөлу (ақ кірішті қолданып) қиындықсыз жүреді, тек ксантогенаттың концентрациясын жоғарылатуға тура келеді.

Борнит Cu_3FeS_3 (55,5% Cu, қаттылығы 3, тығыздығы 5,1 г/см³). Оның тотығуы халькопириттен төмен, ал халькозиннен жоғары. Басқа жағынан ол екі аралықты қасиетті келеді.

Ковеллин CuS (64,4% Cu, қаттылығы 1-2, тығыздығы 4,5 г/см³). Сульфидтердің ішіндегі ең мортты және жұмсағы. Өте тез шламданады. Флотоактивтілігі жағынан борнитке ұқсас.

Малибденит MoS_2 . Сульфидтердің ішінде табиғи аз суланатын минералға жатады. Ол ұнтақталғанда кристалдың бұзылуы негізінде молекулалық күштермен байланысатын сызатты жазықтықтар бойымен жүреді. Түйіршіктердің бет ауданының негізі осындай жазықтықтардың үлесімен сипатталады да, минерал беті аз суланады.

Молибдениттің ең басты ерекшелігі, басқа сульфидтерге қолданылатын басқыштардың еш қайсысының оған әсері жоқ. Ол тек қана органикалық коллоидтармен - крахмал және декстринмен басылады.

Мыс, темір және молибден сульфидтерінің ерекшеліктері кендерді байытуда мейлінше пайдаланылады.

Флотациялауда қойылатын негізгі мақсат мыс, сульфидтерін пириттен бөлу. Егер кенде молибденит болса, ол тек мыс сульфидтерімен бірге флотацияланады. Пирит ақ кіріш қолданып ($pH > 10$) басылады. Бірақ пириттің кенде проценттік үлесі жоғары болса, ақ кіріштің қажетті шығыныда жоғарылайды, ал гидроксил ионының жоғары концентрацияларында мыс сульфидтерінің флотациялануы баяулайды. Осыған байланысты, мыстың негізгі флотациясы алдында ақ кіріш шығыны пиритті толық басуға жеткілікті етіп берілмей, мыс сульфидтерінің активті флотациялануларына мүмкіндік тудырылады. Пириттің белгілі бөлегі мыс концентратына шығады. Оның сапасын жоғарылату үшін тазалау операцияларына ақ кіріш беріледі.

Мыс сульфидтері молибденит ксантогенаттармен, дитиофосфаттармен (не олардың тіркестерімен) және аз шығынды аполлярлы жинағышты (керосин не басқалары) қосумен флотацияланады. Егер кенде табиғи аз суланатын шламды заттар болса, оларды басуға сұйық шыны не КМЦ (карбоксилметилцеллюлоза) қолданылады. Көбіктендіргіш ретінде әртүрлі құрамды спиртті реагенттер қолданылады. Егер кенде мыстың тотықты минералдары-карбонаттар болса, оларды активтендіру мақсатымен күкіртті натрий беріледі.

Мыс-молибден коллективті концентраттарын бөлудің көптеген әдістері белгілі

1. Ең жиі қолданылатын әдіс-мыс сульфидтері күкіртті натриймен басылады. Молибденит аполлярлы жинағышпен флотацияланады. Күкіртті натрийдың шығынын төмендету үшін онымен өңдеу және флотация процесі пульпаны $80-90^{\circ}\text{C}$ температурада қыздыру арқылы жүргізіледі.

2. Коллективті концентрат ақ кірішпен жоғары температурада (80°C) тотықтандыру мақсатымен қыздырылады. Осыдан кейін молибдениттен басқа сульфидтер флотоактивтіліктерін жоғалтады. Молибденитті флотациялау алдында пульпадан ақ кірішті шығару мақсатымен қойылдырылады да, бірнеше тазалау операциялары жүргізіледі.

3. Мыс сульфидтері және басқалары цианидпен басылады. Оның шығыны $0,5 \text{ кг га}$ (концентрат тоннасына) жетеді. Бұл әдіс цианидтің улылығына байланысты сирек қолданылады. Цианид кейде мырыш купоросымен бірге қолданылады.

4. Цианид орнына феррицианид ($1,5 \text{ кг/т}$) басқыш ретінде қолданылуы мүмкін.

5. Бескүкіртті (P_2S_5) фосфор мен күйдіргі натрийдің тіркесі қолданылады.

6. Молибденит флотациясы декстринмен (не крахмалмен) басылады. Бұл әдіс молибдениттің концентратта проценттік үлесі мыс сульфидтерінен жоғары болса ғана қолданылады.

Құрамында молибден бар кендерде кейде висмут және рений кездеседі. Рений молибденитте изоморфты кірме ретінде болады. Сондықтан ол молибден концентратына шығады да, одан гидрометаллургиялық әдісті және ионды флотациялаумен жеке өнім түрінде алынады. Висмут жеке сульфид түрінде (висмутин Bi_2S_3) не сап түрінде кездеседі. Ол екі түріде оңай флотацияланып мыс-молибден концентратына шығады. Оны бөлгенде висмут мыс концентратының құрамында қалады. Оны жеке өнімге бөлу үшін концентрат күкіртті натриймен өңделіп оның флотациялануы басылады, ал мыс және темір сульфидтері катионды жинағышпен флотацияланады, не болмаса мыс және темір сульфидтері цианидпен басылып, висмутин флотацияланады.

Егер пирит концентратын алу қажеті болса, мыс-пиритті кенді тікелей селективті схемамен байытудың кемшілігі сол, мыс флотациясынан кейін пиритті флотациялау үшін пульпаның сілтілігі төмендетілуі қажет. Сондықтан кейде, кенді ірілеу ұнтақтағаннан кейін коллективті схемамен байыту тиімді. Біріншіден, жоғары сілтілі ортаның қажеті жоқ. Пульпа $pH \approx 7-9$ аралығында болса жеткілікті. Екіншіден, әлсіз сілтілі ортада минералдар активті флотацияланады. Қажетінше қосымша ұнтақталғаннан кейін ақ кірішпен жоғары сілтілі орта жасалып ($pH \sim 12$), пирит толық басылады. Мыс флотациясының камералық өнімі даяр пирит концентраты түрінде алынады.

Келтірілген деректердің барлығы сепкілді мыс-пирит кендеріне қатысты. Егер кен тұтас сульфидті болса, демек кеннің негізі пириттен (70-80%) тұрса, онда кен тек селективті схемамен байытылады.

Мыс - мырышты (пиритті) кендерді флотациялау. Бұл кендер қиын байытылатын кендерге жатады. Оның негізгі себептері төмендегідей:

1) мырыш сульфиді сфалерит ZnS (67,1%Zn, тығыздығы 4,1 г/см³, қаттылығы 3-4) мырыш алдамшысы депте аталады, құрамында үнемі темір, кадмий және индий болады. Ондағы темірдің үлесі кейде 25% - ке жетеді де, сфалерит түрі қара-қоңырға айналады. Оның бұл түрін марматит деп атайды. Егер темір жоқ болса, ол ақ-боз түсті болады да, клейофан аталады. Осы кірмелердің әсерімен оның флотоактивтілігі үлкен шекте өзгереді;

2) сфалерит мыс иондарымен тез активтенеді. Соның нәтижесінде оның флотоактивтілігі мыс сульфидтерінікімен бірдей дәрежеге жетеді. Осыған байланысты оның бетіндегі активті қабатты бұзу үшін арнаулы реагенттік режим қажет;

3) пирит әлсіз сілтілі ортада жоғары флотоактивтілігін сақтайды;

4) сульфидті минералдар кенде өзара күрделі байланыста болады. Оларды бір бірінен ажырату үшін өте ұнтақтау қажет (90-95% - 0,074+0 мм). Күрделі сепкілдіктің әсерінен қалдықтағы жоғалым олардың қауышпаларынан және шламдарынан тұрады.

Онымен қатар бір металл екінші металдар концентраттарында жоғалады.

Кендерді тікелей селективті схемамен байыту егер мыс кенде халькопирит түрінде болса ғана, демек мырыш сульфиді аз активтенгенде ғана қолданылады. Егер мыс туынды сульфидтер түрінде болғанда, сфалериттің активтенуі нәтижесінде, оны кенді пульпада басу қиын. Сонымен қатар сульфидтер өзара тығыз байланыста болса, онда оларды коллективті схемамен байыту тиімді болады. Егер сфалерит кенде жартылай ғана активтенген болса, онда коллективті концентратқа сол бөлегі ғана шығарылып, қалған бөлегі коллективті флотация қалдығынан активтендіріліп барып флотацияланады.

Кеннің сепкілдігі бір келкі болмаған жағдайда, селективті және коллективті циклдерде байыту сатылы жүргізілуі мүмкін. Онда оның әртүрлі варианттары жиі қолданылады.

Селективті схемаларда минералдарды неғұрлым таңдамалы бөлу мақсатымен әлсіздеу жинағыштарды не олардың кейбір тіркестерін қолдану жақсы нәтиже береді. Әсіресе пиритпен аз әрекеттесетін түрлерін қолдану, оның мыс және пирит концентраттарына шығуын бәсеңдетеді. Бұл кендерді флотациялауда оның негізгі басқышы ақ кіріш болады.

Селективті флотациялауда не мыс-мырыш коллективті концентратын бөлуде тек мыс сульфидтері флотацияланып, мырыш сульфиді басылады. Оны басуға қолданылатын реагенттер: цианидтер, күкіртті натрий, сульфооксидті қосылыстар (SO_3^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, SO_2), мырыш купоросы.

Мыс флотациясы алдында пульпа рН-ы 9-10-ға жеткізіледі, егер азда болса цианид қолданылатын болса. Ол қолданылмаса сілтілік ақ кірпішпен 10,5-11-ға жеткізіледі. Сілтілік дәреже артқан сайын мыс сульфидтерінің флотоактивтілігі төмендей бастады. Оның бөлініп алыну дәрежесін көтеру үшін жинағыш реагентінің шығыны арттырылады. Осы мәселені жеңілдету үшін, демек рН-ты тым жоғарылатпау үшін, жиі қолданылатын әдіске пульпаны ақ кірішті ортада ауалау жатады. Сонда темір сульфидтерінің тотығуының нәтижесінде олардың басылуы жеңілдейді.

Мыс флотациясының қалдығынан мырыш сульфиді және пирит селективті не коллективті флотацияланулары мүмкін. Селективті схемамен флотацияланғанда сфалерит мыс купоросымен (0,1-0,4 кг/т) активтендіріледі де, пирит жоғары сілтілі ($pH \geq 11$) ақ кірішті ортада басылады.

Екі варианттада пульпаны ауалау пириттің ақ кірішпен басылуын көп жеңілдетеді. Егер мырыш-пирит коллективті концентраты бөлінсе, мырыш флотациясының қалдығы (камералы өнім) даяр пирит концентраты түрінде алынады.

Кен қасиеттеріне қарай алынатын технологиялық көрсеткіштер көп шекте өзгеріп отырады: сепкілді кендерді (пирит аз болғанда) флотациялауда олар жоғарырақ, ал тұтас кендерді байытуда төмен келеді.

Полиметалды кендерді флотациялау. Кей кендердің бұлай аталуы шартты ұғым. Себебі көпшілік кендер полиметалды болып келеді. Соған қарамастан тек қорғасын-мырыш кендері (және олардың ішінде мыс болғанда да) полиметалды кендер деп аталып кеткен. Бұл кендерді байытудағы негізгі мақсат, қорғасын және мырыш концентраттарын алу. Егер кенде мыс болса

(Лениногор, Зырян, Белоусовка және басқалары), олда жеке концентратқа бөлінеді. Барлық кендерде пирит үнемі болады. Егер оның концентратын бөлу қажеті болса (күкірт қышқылын өндіру мақсатымен), олда флотацияланады. Кей кендерде барит кездеседі (Белоусовка).

Қорғасынның сульфиді **галенит** (86,6% Рв, **тығыздығы** 7,5 г/см³, қаттылығы 2,5) басқаша қорғасын жылтыры депте аталады. Жер жүзінде қорғасынның негізі осы минералдан алынады. Ол флотоактивтілігі өте жоғары минерал. Барлық сульфидрильді жинағыштармен активті флотацияланады. Оның беті тотыққа шалынса сульфидтендіруден кейін флотацияланады.

Галенитке цианидтер және мырыш купоросы ешқандай әсер етпейді. Ақ кіріш оның флотоактивтілігіне айтарлықтай әсер етеді. Сондықтан сілтілі орта содамен жасалуы қажет. Морттылығына байланысты галенит шламданғыш келеді.

Кендерді құрайтын сульфидті минералдардың құрамында өте ұсақ сепкілді алтын кездесіп отырады. Кендер негізінде сепкілді түрде кездеседі. Кейбіреулерінде сульфидтер өзара бірігіп агрегатты сепкілдік түрінде болады.

Қорғасын-мырыш кендері, егер мыссыз болса, екі схемамен байытылу мүмкін. Егер олардың сульфидтері кенде жеке сепкілді болса, онда тек селективті схема қолданылады. Олардың сепкілдігі агрегатты болса, онда коллективті схеманы қолдану тиімді келеді. Екі варианттарда да мырыш сульфиді цианидпен, мырыш купоросы, күкіртті натрий не сулфооксидті қосылыстардың тіркестерімен сілтілі ортада басылады.

Цианидпен мырыш купоросы мырыш сульфиді үшін ең күшті тіркес болып саналады. Әдетте бұл әдіс Шеридан-Гризволд әдісі деп те аталады. Бұл әдістің кемшілігі сол кенде алатын болса ол цианид әсерімен ериді, ал бос алтынның флотациялануы басылады. Мұндай жағдайда мырыс купоросы басқа реагенттермен бірге қолданылады (Палланч әдісі). Бірақ бұл реагенттердің басу әрекеттері төмендеу. Сирек мырыш сульфидінің басқышы ретінде тек күкіртті натрий ғана қолданылады (Гелльстранд әдісі).

Мыс-қорғасын-мырыш пиритті кендерді флотациялауда екі схема қолданылулары мүмкін: коллективті-селективті және толық коллективті схема қолданылып, коллективті концентрат жеке концентраттарға бөлінеді. Ол үшін ең жиі қолданылатыны коллективті-селективті схема.

Коллективті-селективті схема бойынша кеннен алдымен мыс-қорғасын коллективті флотациясы жүргізіледі. Оның қалдығынан мырыш сульфиді және пирит флотацияланады. Ақырғыларды басуға жоғарыда келтірілген реагенттер беріледі. Бұл схеманың ерекшелігі сол мыс және қорғасын сульфидтерінің жоғары флотоактивтілігі және мырыш сульфидінің активтілігінің төменділігі ұтымды пайдаланылады. Онымен қатар оның айтарлықтай кемшілігіде бар. Мырыш және темір сульфидін басуға қолданылатын цианид концентрациясы қанша төмен болса да ол мыс сульфидтеріне әсерін тигізеді. Оны неғұрлым азайту үшін цианид шығыны төмендетілсе, мырыш флотациясын басуға жетіспейді. Осының нәтижесінде мыс сульфидтерінің біразы басылып мырыш концентрациясына шығады да, ал мырыш сульфидінің біразы мыс-қорғасын концентратына шығады.

Толық коллективті схемамен флотациялау, негізінде, кеннің екі қасиетімен анықталады: 1) кенде сфалерит табиғи активтенген түрде болса; 2) сульфидтер өзара бірігіп, агрегатты сепкілді болса.

Сфалериттің табиғи активтенуі мыстың кенде туынды сульфидтер (халькозин, ковеллин және борнит) түрінде болуымен байланысты. Жалпы мыс-қорғасын-мырышты кендерде мыстың негізі халькопирит түрінде болады. Коллективті схеманың тиімділігі минералдар агрегатты сепкілді болғанда да артады. Оның басты себебі кен коллективті флотация алдында ірі ұнтақталып (50-70%-0,074+0 мм), ол циклден кейін бос жыныс минералдарының негізі ақырғы қалдық түрінде алынады. Минералдардың қауышпаларын ажырату үшін жүргізілетін ұнтақтауға (90-95%-ке дейін - 0,074+0 мм) тек коллективті концентрат қана түседі. Екіншіден, коллективті концентратты селекциялауға қолданылатын флотомашиналар саны көп азаяды. Үшіншіден реагент шығындары да төмендейді. (Лениногор және Белоусовка байыту фабрикалары).

Коллективті концентраттың жеке минералдарға бөлінуі үшін селективті флотациялау жүргізілуі алдында концентрат десорбция операциясынан өтеді. Оның мәні-минералдар бетіне адсорбцияланған жинағыш реагентті ығыстырып шығарып "тазалау". Сонда ғана селективті флотациялауда қолданылатын басқыштар әрекеті тиімді жүреді. Десорбциялау операциясы ұнтақтау процесі алдында жүргізіледі. Ол әдісті кезінде А.С.Конов және Л.Б.Дебрина

ұсынған. Сульфгидрильді жинағыштарды десорбциялау үшін күкіртті натрий қолданылады (3-4 кг 1т концентратқа). Коллективті концентрат белгілі уақыт ішінде күкіртті натриймен өңделген соң, сұйық фазаға шыққан жинағыш минерал бетіне қайтадан адсорбцияланбас үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Мысалы, егер концентрат шығымы үлкен болса, пульпаның сулы бөлегі бөлініп алынып, құмды бөлегі таза су қосылып шайылады да, ұнтақтау процесіне түсіріледі. Шайылған бөлегінен қатты зат қойылдырғыштарда бөлініп, ұнтақталған затпен біріктіріледі. Шаю процесі алдында, пульпадағы жинағыштың бос концентрациясын неғұрлым төмендету үшін қосымша активті көмір қолданылады. Егер концентрат шығымы аз болса, онда тек активті көмір ғана қолданылып, (~ 2 кг/т) шаю жүргізілмейді.

Ұнтақталған коллективті концентрат мыс-қорғасын флотациясына түсіп, оның қалдығынан мырыш және пирит концентраттары бөлінеді. Демек, коллективті концентратты бөлу режимі кенді коллективті-селективті схемамен флотациялаудан айырмашылығы жоқ.

Мыс-қорғасын концентратын бөлу бірнеше әдістермен жүргізіледі. Олардың тиімдісін таңдау концентраттың заттық және минералды құрамымен байланысты. Маңызды роль атқаратын факторлар: мыстың қандай сульфидтер түрінде болуы және мыспен қорғасынның концентраттағы проценттік үлестерінің ара қатынасы.

Егер мыс халькопирит түрінде болса, онда төмендегідей реагенттік режимдер қолданылуы мүмкін:

- 1) мыс сульфиді цианидпен басылады да, галенит флотацияланады;
- 2) галенит хром тұздарымен (бихромат)басылады да, халькопирит флотацияланады;
- 3)галенит және осы концентратқа аздап шыққан сфалерит және пирит сульфит тиосульфат)натриймен темір купоросының тіркесімен басылады.

Жер жүзілік тәжірибеде бұл аталғандардан басқада бірсыпыра көп тарамаған реагенттік режимдер белгілі,

Келтірілген әдістердің әрқайсысының айтарлықтай кемшіліктері бар. Цианды әдісте концентрат құрамындағы алтынның белгілі бөлегі еріп кетеді.

Бихроматты әдістің кемшілігі сол егер концентратта мыстың біраз бөлегі туынды сульфидтер түрінде болса, олардың тотығуынан пульпада пайда болатын мыс катиондары галенит бетіне адсорбцияланып, оның хромат ионымен әрекеттесуін күрт төмендетеді. Соның нәтижесінде галениттің басылуы азаяды. Сондықтан бұл әдіс сирек қолданылады.

Үшінші әдісте қолданылатын реагенттердің тиімділігі басқада факторлармен байланысты. Коллективті концентрат десорбциялаудан кейін басқыштармен өңделгенде пульпа рН-ы 5,6-5,8 шегінен шықпауы қажет және температура 26-28⁰С мөлшерінде болуы керек. Осы режим қатаң сақталғанда ғана қанағаттандырылдық нәтижелер алынады. Бұл режимде мыс концентраты жоғары сапалы түрде алынады. Коллективті концентратта мырыш және темір сульфидтері болса, олар қорғасын концентратында қалып оның сапасын төмендетеді. Бұл әдіс тек Лениногор фабрикасында қолдану тапты.

Келтірілген әдістерді таңдауда белгілі маңызы бар жай коллективті концентраттағы мыспен қорғасынның қатынасы: әдетте көбікті өнімге аз проценттік үлесті метал минералдары флотацияланады.

Егер мыс коллективті концентратта туынды сульфидтер түрінде болса, онда селективті флотация қиын жүреді. Жоғарыда айтылғандай, мұндай жағдайда галенит ешқандай реагенттік режиммен басылмайды. Сондықтан тек мыс сульфидтері басылуы қажет. Циан тұздарының әсерімен туынды мыс сульфидтерінің ерігіштік қасиеттеріне байланысты оның басу әрекеті өте тұрақсыз. Осыған байланысты бірсыпыра жүргізілген зерттеулер айтарлықтай нәтиже бермеді. Қазіргі кезде осындай концентратты Жезказған байыту фабрикасында бөлуде цианидпен мырыш купоросының тіркесі қолданылады. Реагенттермен өңдеу содалы ортада (рН $\sim$ 9-10) белгілі тәртіппен жүргізіледі: пульпа алдымен мырыш купоросымен, содан кейін цианидпен араластырылады (Ю.И.Еропкин әдісі).

Мыс-қорғасын-мырыш-пиритті коллективті концентратты бөлуде өндірістік тәжірибеде тікелей селекциялау әдісінде қолданылады (Жапония).

Бұл әдіс бойынша одан алдымен мыс сульфидтері, одан кейін кезегімен галенит, сфалерит және пирит бөлінеді. Мыс циклінде цианид қолданылмайды. Сондықтан мыс концентраты өте сапалы алынады және минералдар активті флотацияланады. Бұл циклде басқалары күкіртті қышқыл /пульпаға ол күкіртті газ SO₂ түрінде беріледі/, мырыш купоросы, ак кіріш және крахмал тіркестерін қолданумен басылады /рН=5,8-6,0/. Мыс флотациясының

қалдығынан галенит рН содамен 8-ге дейін көтеріліп цианидпен өңделгеннен кейін жүргізіледі.

Мыс-никель кендерін флотациялау. Бұл кендер сепкілді және тұтас түрде кездеседі және никельдің негізгі көздері болып табылады.

Кенде никель **пентландит** $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$, миллерит (NiS) және никельді пирротин минералдары түрінде болады. Соңғы минерал магнитті және магнитсіз қасиетті болып кездеседі. Мыс кенде халькопирит, кубанит және талнахит түрінде болады. Бұл кендерде алтын, күміс, кобальт, палладий, платина, селен, теллур және басқалары кездесіп отырады. Олардың негізгі массасы негізгі екі металдың сульфидтерімен тығыз байланысты түрде болады.

Бұл кендердің байытылуын қиындататын факторларға жататындар:

1) Пентландитте темір мен кобальттың, пирротинде никельдің изоморфты кіруі минералдардың флотоактивтілігін үлкен шекте өзгертіп отырады;

2) мыстың әр түрлі минералдар түрінде және пирротиннің әр түрлі қасиетті болуы;

3) мыс циклінде басылатын никель минералдарының активтенулерінің қиындығы;

4) минералдардың бір бірімен тығыз байланыста болуы;

5) кендерде табиғи аз суланатын бос жыныс минералдарының болуы.

Келтірілген жайларға байланысты бұл кендерді селективті схемалармен флотациялау қанағаттандырылғырлық нәтиже бермейді. Сондықтан, негізінде, тек коллективті флотациялау схемалары қолданылады. Сонымен қатар, коллективті флотациялау кендегі көптеген бағалы кірмелердің сульфидті концентраттарға толығырақ бөлінулеріне жақсы жағдай жасалады. Сөйтіп кенді комплексті пайдалануға мүмкіншілік туады. Себебі коллективті флотациялауда күшті жинағыш реагенттерін қолдануға болады.

Негізгі жинағыштар ретінде ксантогенат (100-200 г/т) және дитиофосфаттар (100-200 г/т) қолданылады. Көбікті өнімге оңай шығатын силикаттарды басу үшін органикалық басқыштар КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза), СЭЦ (целлюлоза сульфозефирі) және тағы сондайлар қолданылады. Егер флотация содалы сілтілі ортада ($\text{pH}=7,5-9,5$) жүргізілсе, КМЦ реагенті, ал қышқылды ортада ($\text{pH}=3-5$) СЭЦ не ЭСЦ реагенттері силикаттарды жақсы басады. Флотацияны қышқылды ортада жүргізгенде пирротин өте активті флотацияланады. Ол үшін қосымша аз мөлшерде (~ 50 г/т) мыс купоросы қосылады.

Коллективті концентратқа құрамында платина бар минералдар толығырақ шығады. Онда никельдің проценттік үлесі 3,5%-тен кем болмайды. Платиналы минералдарды шығару мақсатымен бақылау флотациясында арнаулы реагенттік режимдер қолданылады.

Коллективті мыс-никельді концентратты бөлу ондағы екі металдың проценттік үлестерінің қатынастарына байланысты. Егер мыстың проценттік үлесі никелдікінен 2 есе артық болмаса, оларды бөлуге пирометаллургия және флотация әдістерінің қиыспалары қолданылады (И.Н.Масляницкий әдісі). Концентрат фاینштейн алу мақсатымен балқытылады. Онда мыс халькозин Cu_2S түрінде, никель хизлевудит Ni_3S_2 түрінде және екеуінің қорытпасы түрінде болады. Файнштейн 50 мкм-ге дейін ұнтақталады да, жоғары сілтілі ортада $\text{pH}\sim 12$ / ксантогенатпен (1,0-1,5 кг/т) және көбіктендіргішпен мыс сульфиді флотацияланады. Никель концентраты камералы өнім түрінде алынады.

Егер коллективті концентратта мыстың проценттік үлесі никельден 2 есе жоғары болса, онда селективті флотация қолданылады. Концентрат ұнтақталғаннан кейін пентландит және пирротин жоғары сілтілі ($\text{pH}=10-12$) ақ кірішпен басылады да, мыс минералдары флотацияланады.

Келтірілген реагенттік режимдер кенде мыс халькопирит түрінде болғанда қолданылады. Кубанит және талнахиттің флотоактивтіліктері жоғары сілтілі ортада күрт төмендейді. Осыған байланысты, мыс кенде осы минералдар түрінде болса оны флотациялау әлсіз қышқылды ($\text{pH}\sim 5,5-7,0$) не бейтарапты ортада жүргізіледі. Никель минералдары және пирит алдынала пульпаны ауалаудан кейін натрий сульфитімен (560-700 г/т) басылады.

Кендерден пирротин кейде жеке концентрат түрінде де алынады. Коллективті циклде толық шықпаса қалдықтан мыс купоросымен активтендірілгеннен қосымша флотацияланады, не болмаса магнитті әдіспен флотацияның тіркесі қолдануы мүмкін.

Мыс концентраттарында оның проценттік үлесі 25-30%-ке, ал никельдің проценттік үлесі өз концентратында 4-10% шегінде болады. Бөліп алыну дәрежелері 80%-тен асады.

Мышыяк, сурьма және сынаптың сульфидті кендерін флотациялау. Мышыяқтың басты сульфиді арсенопирит FeAs_2 S (40% As_2), сынап сульфиді киноварь Hg_2S (86,2% Hg) және

антимонит $Sb_2 S_3$ (71,4% S'b) кендерде бірге және жекелепте кездесіп отырады. Бұлардан басқа үнемі кен құрамында пирит болады.

Киноварь сульфидрильді жинағыштармен оңай флотацияланады. Ол өте аз тотығуына байланысты (бұл жай оның кристалдық тор энергиясының өте жоғары екендігін көрсетеді, $PP=10^{-51}$) көмірсутекті майларменде флотацияланады. Күкіртті натриймен күшті басылады. Пиритті басуға жеткілікті қолданылатын цианидпен ақ кіріш киноварьдың флотациялануын төмендетпейді. Сұйық шыны оның флотоактивтілігіне үлкен әсер етеді.

Арсенопириттің флотациялану қасиеті пиритке жақын. Бірақ оның тотығу жылдамдығы пириттен төмен. Осыған байланысты, пирит флотацияланған кезде арсенопириттің тотығуы оның флотациялануына жеткіліксіз болады. Оның негізгі басқышы ақ кіріш.

Антимонит сульфидрильді жинағыштармен тек активтендірілгеннен кейін флотацияланады. Активтендіргіш ретінде мыс не қорғасын тұздары (қорғасын нитраты) қолданылады. Флотация әлсіз қышқылды не бейтарапты ортада ($pH=4-7,5$) жүргізіледі. Сілтілі ортада мыс купоросы оның басқышына айналады. Сол сияқты цианидте $pH=8$ болса оны басады. Оның тотығу қасиеті жоғары болғандықтан тотықтандырғыштардың бәрі белгілі жағдайда басқыштары бола алады. Тотықпаған антимонит активтендірусіз аполярылы жинағыштарменде флотацияланады.

Мышьяк-сурьма-сынап кендері, әдетте, коллективті-селективті схемалармен байытылады.

Сурьма-мышьяк коллективті концентраты екі әдіспен бөлінуі мүмкін:

1) арсенопирит және пирит сілтілі орта әсерімен, цианид және мырыш купоросымен басылып, антимонит флотацияланады;

2) антимонит күкіртті натриймен не күйдіргі натриймен басылып, пирит және арсенопирит мыс купоросымен активтендіріліп барып флотацияланады.

Сынап-мышьяқты коллективті концентрат арсенопиритті ақ кірішпен басып, киноварьды флотациялау арқылы оңай жүргізіледі.

Сурьма-сынап концентратын бөлу антимониттің тез тотығуына негізделген. Ол үшін әр түрлі күшті тотықтандырғыштар, мысалы, хромпиктің, сутектің асқынды тотығымен H_2O_2 тіркесі қолданылуы мүмкін.

Кенде киноварь, антимонит және арсенопирит бірге кездесе, оларды біртіндеп бөлу схемасы қолданылады. Сілтілі ортада алдымен киноварь флотацияланады. Одан кейін мыс купоросымен активтендіріліп антимонит бөлінеді. Арсенопирит флотациясы сұйық шыны және цианид тіркесімен басылады. Оны активтендіру күкіртті натрийды қолданумен жүргізіледі.

Сурьма және мышьяк концентраттарында жиі алтын кездесіп отырады. Ол концентраттарды металлургиялық өңдеу кезінде бөлінеді.

Висмут кендерін флотациялау. Висмуттың негізгі сульфидті минералы висмутин $Bi_2 S_3$ (81,8% Bi, тығыздығы $6,52 \text{ г/см}^3$, қаттылығы 2). Кейде кендерде оның сап түріде кездеседі. Висмутиннің қасиеті басқа сульфидтерге ұқсас. Оларда сульфидрильді жинағыштармен активті флотацияланады. Кендерде ол козалит $Pb_2Si_2S_3$ түрінде де кездеседі. Оларды флотациялау үлкен шекті сілтілі ортада жүргізіледі. Сап түріндегі висмут $pH=5,5-6,5$ шегінде ғана флотацияланады. Егер кенде молибденит болса висмут сульфидтері бихромат және тотықты темір сульфатымен басылады. Кендерде мыс халькопирит түрінде кездесе оларды селективті флотациямен бөлу қиын, себебі флотоактивтіліктері жақын. Сондықтан олар коллективті концентратқа шығарылады да, висмутин тұз қышқылымен ерітінділеніп, одан темірмен цементацияланады.

IV-ТАРАУ

ТҮСТІ МЕТАЛДАРДЫҢ ТОТЫҚТЫ ЖӘНЕ АРАЛАС КЕНДЕРІН ФЛОТАЦИЯЛАУ

Түсті металдардың (мыс, қорғасын, мырыш) тотықты минералдары азды-көпті мөлшерде олардың сульфидті кендерінде үнемі кездесіп отырады. Сонымен қатар кейбір аймақтарда олар қоры аз кен орындарында құрайды. Осыған байланысты, олар металдардың көздері болмағанмен айтарлықтай өндірістік маңыздары бар.

Аталған металдардың тотықты минералдарын кендерден бөліп алудың негізгі әдісі оларды алдын ала сульфидтеп сульфидильді жинағыштармен флотациялау. Осы әдіспен флотацияланатын минералдарға жататындар:

мыс минералдары - малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ және азурит $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$;

қорғасын минералдары- церуссит PbCO_3 және англезит PbSO_4 ;

мырыш минералы - смитсонит ZnCO_3 .

Металдардың бұлардан басқада тотықты минералдары кендерде өте аз мөлшерде болсада кездесіп отырады. Олар сульфидтенбегендіктен флотацияланбайды.

Минералдардың сульфидтенуі олардың кристаллохимиялық және құрылымдық ерекшеліктерімен анықталады. Мысалы, қорғасынның аталмаған басқада бірсыпыра тотықты минералдары аз мөлшерде болсада сульфидтенсе, плюмбоарозит $\text{PbFe}_6[(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_3]$ сульфидтенбейді. Оны тек темір минералдарын флотациялайтын кейбір реагенттермен ғана азды-көпті мөлшерін бөлуге болады. Сол сияқты, мырыш карбонатының (ZnCO_3) сульфидтенуі мыс және қорғасын минералдарына қарағанда көп төмен. Тәжірибеде оның сульфидтенуі 50-60°C-да ғана қанағаттандырылғыш жүреді. Оны флотациялаудың екінші бір әдісі күкіртті натриймен өңдегеннен кейін катионды жинағыштармен флотациялау.

Сульфидтеуде тотықты минералдар түйіршіктерінің бетінде сульфид ионының карбонат не сульфат иондарымен алмасуы нәтижесінде сульфидті қабыршық пайда болады да, сульфидильді жинағыштармен оңай әрекеттеседі. Ол үшін тек қабыршақ қалыңдығы белгілі мөлшерден жұқада не қалыңда болмауы қажет. Егер өте жұқа болса, оның тотықтану жылдамдығы жинағыш реагентімен әрекеттесу жылдамдығынан артып, минерал флотациялану қасиетін жоғалтады. Егер тым қалың болса, ол қабаттың кристаллохимиялық параметрлерінің минералдікінен өзгеше болуына байланысты ол бетте тұрақты болмайды, демек беттен сыдырылынып отырады.

Қажетті сульфидті қабаттың түзілуі бірсыпыра факторларға байланысты. Оларға жататындар: сульфид ионының концентрациясы, онымен пульпаны өңдеу уақыты рН температура, пульпаның ионды құрамы. Бұлардың ішіндегі ең маңыздысы, әрине, сульфид ион концентрациясы. Оның пульпадағы концентрациясы жоғары болғанда сульфидті қабыршықтың тотығуы мүлдем тоқталып, ол бетке жинағыш адсорбцияланбайды. Сондықтан сульфид ионының пульпадағы концентрациясы белгілі шекте тұрақты болуы өте маңызды роль атқарады. Осы мақсатпен күкіртті натрийды пульпаға бөлшекті түсіру тәжірибеде жиі қолданылады.

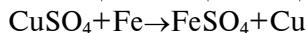
Мыс және қорғасын карбонаттарының сульфидтену қасиеттері жоғары. Олардың беттерінде сульфидті қабат түзілу жылдамдығының жоғары болуына байланысты күкіртті натрий пульпаға тікелей флотациялау алдында түсіріледі (0,5-1,5 кг/т). Мыс карбонаттарының сульфидтенуі әлсіз сілтілі ортада, ал қорғасын карбонаты $\text{pH} \sim 9,5$ -да, ал англезит $\text{pH} = 7,5-8,2$ де сульфидтенеді.

Аралас кендерді флотациялауда екі вариант қолданылуы мүмкін:

егер кеннің құрамында сульфидті минералдар үлесі жоғары болса, онда тотықты минералдар сульфидтермен бірге флотацияланады. Ол үшін кенді пульпа күкіртті натриймен өңделеді;

егер кенде тотықты минералдар үлесі жоғары болса, алдымен сульфидтер жеке флотацияланып, оның қалдығынан тотықтар сульфидтендіріліп барып бөлінеді.

Кенде сульфидтенулері қиын не сульфидтенбейтін тотықты минералдар болса (мысалы, хризокolla CuSiO_3 және басқалары) оны бөлу үшін гидрометаллургиялық және флотациялық әдістердің қиыспалары қолданылады (В.Я.Мостович әдісі). Ұнтақталған кен күкірт қышқылымен ерітінділеді. Бұл процесс $\text{pH} = 3,5-4$ те жүргізіледі. Ерітінділеу жоғары температурада ($\sim 60^\circ\text{C}$) жүргізілсе оның тиімділігі артады. Мыс ион түрінде ерітіндіге шығады да, одан темір ұнтағымен не жоңқасымен цементацияланады:



Күкірт қышқылының шығыны кен құрамына қарай алынатын мыстың 1 килограммына шаққанда 3-5 кг болады, ал 1т кенге шаққанда 30-40 кг мөлшеріне жетеді. 1 кг мысқа шаққанда темір шығыны 1,2-3,5 килограмдай.

Мысты флотациялау үшін қышқыл ортада тұрақтылықтары жоғары жинағыштар, мысалы, дитиофосфаттар және диксантогенід (80-200 г/т) қолданылады. Флотациялау кезінде пульпа қышқылдығы азайтылады ($\text{pH} \sim 4,5-5,0$).

Бұл процесте қолданылатын аппараттар қышқылды ортаға төзімді болуы қажет. Ол үшін әр түрлі шаралар қолданылады.

Мырыштың силикатты минералы каламинді $ZnSiO_3$ және басқаларын флотациялауға катионды жинағыштар қолданылады.

V - ТАРАУ

ПОЛЯРЛЫ ТОТЫҚТЫ МИНЕРАЛДАР КЕНДЕРІН ФЛОТАЦИЯЛАУ

Полярлы тотықты минералдарға құрамында жер-сілтілі катиондары бар (кальций, магний, стронций және барий) минералдар жатады. Олардың бастылары: флюорит, барит, апатит, фосфат, повеллит, доломит және басқалары. Осындай құрамды кендерден негізінде флюорит, барит және фосфор концентраттары алынады.

Бұл минералдарда негізгі байланыс ионды болғандықтан олар жинағыш реагенттермен оңай әрекеттеседі. Осы тұрғыдан қарағанда, олардың басты ерекшеліктерінің бірі сульфгидрильді жинағыштармен әрекеттеспейді, ал анионды оксигидрильді жинағыштармен активті флотацияланады. Оларды бос жыныс минералдарынан бөліп алу үшін көптеген реттегіш реагенттер қолданылады.

Флюорит кендерін флотациялау. Флюорит CaF_2 химия өнеркәсібінде фтор қышқылын және оның тұздарын, түсті металлургияда қолданылатын қосылыстарды алуға пайдаланылады.

Кендерде бос жыныс минералдары силикаттар және кварц түрінде болса карбоксильді жинағыштармен оңай флотацияланады. Себебі бұл жинағыш реагенттермен силикаттар флотацияланбайды. Селективті флотациялау егер бос жыныс минералдары карбонаттар түрінде болса қиындайды. Оларды басу үшін сұйық шынының көптеген басқа металдар тұздарымен тіркестері және бірсыпыра органикалық реттегіштер қолданылады.

Егер кен флюорит-баритты болса, оларды бөлу екі түрлі реагенттік режимді қолданумен жүргізіледі: а) флюорит майлы қышқылдармен флотацияланады да, барит флотациясы әртүрлі реагенттермен басылады (лигнинсульфонаттар, фторлы натрий, декстрин); б/ барит алкилсульфаттармен флотацияланып, флюорит лимон қышқылымен басылады.

Флюорит-баритты кен коллективті схемамен де флотациялануы мүмкін. Коллективті концентратты бөлуде барит таннин және екі валентті темір тұздары тіркесімен, декстрин және бихроматпен, КМЦ және күкірт қышқылды алюминий және тағы басқалары қолданылады.

Флюорит концентратында кремнезем және кальцит зиянды қосылыстарға жатады.

Фосфоритті кендерді флотациялау. Бұл кендерде фосфор апатит, фосфорит және монацит минералдары түрінде болады. Апатит минералының жалпы формуласы $Ca_5 (C\ell, F, OH) (PO)_3$. Онда P_2O_5 проценттік үлесі 41-42, % шамасында.

Апатитті флотациялау. Апатит кендерінде үнемі нефелин, сфен, эгирин және титаномагнетит кездесіп отырады. Қазіргі кезде олардан негізінде апатит және нефелин $(Na, R)_2 Al_2 Si_2 O_8 \cdot nSi_2 O_2$ концентраттары алынады.

Апатит сілтілі ортада ($pH=9,3-9,7$) карбоксильді полярлы тобы бар әр түрлі реагенттердің тіркестерімен, сол сияқты сульфо- және фосфорлы топтары бар реагенттермен флотацияланады (0,2-0,4 кг/т). Бұларды сабындау мақсатымен күйдіргі натрий (0,1-0,2 кг/т), бос жыныс минералдарын басу үшін сұйықшыны қолданылады.

Фосфорқышқылды тұздар сілтілі ортада карбонаттардың басқышы болса, әлсіз қышқылды ортада апатитті басады.

Фосфоритті флотациялау. Кеннің негізі кварцтан тұрса фосфорит одан майлы қышқылдармен оңай бөлінеді, не болмаса "теріс" флотация қолданылып, кварц катионды жинағыштармен (аминдермен) флотацияланады.

Егер кенде кальций және магний карбонаттары болса майлы қышқылдар сабындарымен не синтетикалық майлы қышқылдармен ($C_{10}-C_{16}$) алдымен солар флотацияланады. Фосфорит $pH=4,5-5$ -те фосфор қышқылымен басылады. Оны артынан активтендіру үшін пульпаға сода қосылып сілтілі орта жасалады да, фосфорит майлы қышқылдармен аполярлы жинағыштардың тіркесімен флотацияланады (Қаратау байыту фабрикасы)

Қаратаудың 22-23%-ті (P_2O_5) кенінен 29%-ті (P_2O_5) концентраты алынады. Бұл кендерді байытудың бір ерекшелігі сол ұнтақталған кеннен флотациялау алдында шламды бөлігі бөлініп алынып ақырғы қалдыққа қосылады. Шламмен фосфориттің 20%-тейі жоғалады.

Кей кезде кесекті кен алдын ала 1000^0C - да күйдіріледі. Соның нәтижесінде фосфорит апатитке ұқсас кристалдық формаға айналады да, флотоактивтілігі жоғарылайды, ал кварц және глауконит флотацияланбайды.

VI-ТАРАУ

СИЛИКАТТАР МЕН ТОТЫҚТАРДЫ ФЛОТАЦИЯЛАУ

Бұл топқа жататын минералдардың кендерде ең жиі кездесетіні кварц. Ол азды-көпті барлық кендерде, кейде бос жыныстың негізін құрайды. Сондықтан селективті флотациялау процесінде кварцтың барлық қасиеттері, оның флотациялауға әсері еске алынуы қажет.

Силикаттар мен тотықтардың ерекшеліктері сол, егер олар металл иондарымен активтенбесе анионды жинағыштармен әрекеттеспейді және сульфидтенбейді, демек сульфгидрильді жинағыштарменде флотацияланбайды. Олардың бірсыпырасы катионды жинағыштармен флотацияланады.

Бұл тарауда тек кейбір басты минералдардың ғана флотациялық қасиеттері қысқаша қаралады.

Кварц SiO_2 . Табиғатта кездесетін минералдардың ішіндегі ең гидрофильдісі. Ол таза түрінде тек катионды жинағыштармен ғана флотацияланады. Бірақ көпшілік жағдайда ол ауыр металдар катиондарымен әрекеттесу нәтижесінде (әсіресе темір иондарымен) оксидрильді анионды жинағыштармен оңай флотацияланады.

Кварцты активтендіруде ең маңызды иондарға мыс және темір катиондары жатады. Құрамында осы екі металл бар кендерді байытуда олар минералдар құрамынан азды-көпті мөлшерде үнемі суға шығып отырады. Онымен қатар ұнтақтау процесінде шарлар, біліктер және футеровкалар бетінен ысқылану нәтижесінде шығатын ұнтақ темір бетінен ионға айналып бөлінетін катиондар кварцты айтарлықтай активтендіріп жібереді. Сондықтан тотықты кендерді оксигидрильді жинағыштармен флотациялауда кварцты (басқада силикаттармен бірге) үнемі басу қажеті туады. Оның бетіндегі мыс және темір катиондарын десорбциялау көбінде күкіртті натриймен өңдеу арқылы жүргізіледі. Сульфид ион ол катиондармен әрекеттесіп, минерал бетінен коллоидты қосылыстар түрінде десорбцияланады.

Кейбір тотықты кендерді байытқанда одан кварцты "теріс флотациялаумен", демек оның өзін катионды жинағыштармен бөліп алады.

Дала шпаттары калийдың, натрийдың және кальциттың алюмосиликаттары. Оларда анионды және катионды жинағыштармен флотацияланады, ал мыс, қорғасын және тағы біраз катиондармен активтіліктері жоғарылайды.

Андалузит, кианит (дистен) және силлиманит (үшеуінінде формулалары $SiO_3 \cdot Al_2O_3$) минералдары отқа төзімді, қышқылды ортада берік заттарды жасауға пайдаланылады. Андалузит және кианит анионды жинағыштармен, ал силлиманит жинағыштардың екі түріменде флотацияланады.

Датолит $CaB/SiO_4/$ ОН бор минералы. Кендерден датолит кальцит және басқа минералдармен бірге сұйық сабынмен сілтілі ортада коллективті концентратқа бөлінеді. Оны сұйық шыны және мыс купоросымен өңдеп кальцит флотацияланады. Оның қалдығы құрғатылғаннан кейін гранат магнитті әдіспен датолиттен бөлінеді.

Берилл $Al_2(SiO_3)_3 \cdot 3BeSiO_3$ бериллийдің ең басты минералы. Оның кендерінде көптеген бағалы заттар кездесіп отырады (тантал, ниобий, литий, вольфрам, молибден және т.б.)

Берилл кендерінде кездесетін бос жыныс минералдарының (кварц, полевои шпат және басқалары) қасиеттері бериллге жақын. Сондықтан оны бөлу үшін күрделі реагенттік режим қолданылуы қажет. Қазіргі кездегі белгілі технологиялар қышқылды және сілтілі болып бөлінеді. Қышқылды схема бойынша операциялар төмендегі кезекпен жүргізіледі:

- 1) коллективті сульфидті флотация;
- 2) силикаттар сұйық шынымен басылып, оксигидрильді жинағышпен флюорит флотацияланады;

3) күкірт қышқылды (2-4 кг/т, pH=3-4) ортада катионды жинағышпен (0,2-0,3 кг/т) слюдалар флотацияланады.

4) слюдалар флотациясы қалдығын фторлы қышқылмен (1,5-2кг/т) және күкірт қышқылымен (0,5 кг/т) өңдегеннен кейін активтенген берилл және далашпаттары бөлінеді.

Сілтілі схема бойынша берилл флотациясы кенді сілтілі ортада өңдегеннен кейін жүргізіледі. Ол үшін шламдар бөлініп, сілтіден шайылған соң pH=8-8,5 да (содалы ортада) берилл майлы қышқылдармен флотацияланады. Жинағыш пульпаға 80-85⁰С-да эмульсия түрінде беріледі.

Сподумен $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ литийдің басты минералы. Ол анионды және катионды жинағыштармен де флотацияланады. Бос жыныс минералдары реттегіш реагенттермен басылулары қажет. Зерттеулер нәтижесінде бірсыпыра реагенттік режимдер белгіленген. Кейбір кендерді байытуда бірнеше әдістерді (гравитация, флотация, магнитті және электростатикалық) бірге қолдану ұсынылған.

Крахмал, декстрин, күкіртті натрий және сұйық шыны сподуменнің күшті басқыштары.

Сподуменді флотациялау үш түрлі схемамен жүргізілуі мүмкін:

1) кен алдын ала pH=6,5-8,5 мөлшерінде күйдіргі натриймен 065-1 сағат өңделіп, шлам бөлінгеннен кейін шайылған соң одан сподумен майлы қышқылдармен (не сабындармен) флотацияланады. Тазалау флотациясы сұйық шыны және квебраха қосумен жүргізіледі;

2) кеннен катионды жинағышпен сілтілі ортада (pH=10-11) кварц, дала шпаты және слюдалар флотацияланады, сподуменмен темір минералдары ақ кіріш және декстринмен басылады. Камералық өнім жуылып шайылғаннан кейін фторлы қышқылмен (0,1-0,2 кг/т) өңделеді де, темір минералдары флотацияланады. Сподумен концентраты камералық өнім түрінде алынады;

3/ сподумен және слюдалар майлы қышқылдар мен катионды жинағыштар тіркесімен әлсіз сілтілі ортада коллективті концентратқа шығарылады. Одан слюдалар күкіртқышқылды ортада флотацияланады да, сподумен камералық өнімде қалады. Коллективті флотация қалдығынан катионды жинағышпен далашпаты концентраты флотацияланады, кварц фторқышқылымен басылады.

VII-ТАРАУ

МЕТАЛДАР ТОТЫҚТАРЫН ФЛОТАЦИЯЛАУ

Бұл топқа темір, марганец, хром, қалайы және тағы басқа көптеген металдар тотықтары жатады. Олардың суланулары жоғары болғандықтан күрделі реагенттік режимдер және технологиялық схемалар қолданылады. Олар тұрақтанып бір жүйеге келтірілмеген. Әр кен құрамына, соған байланысты қасиетіне қарай, тек өзіне тән режимде флотацияланады. Бұл тарауда басты тотықтары флотациялау режимдері қысқаша қаралады.

Темір кендерін флотациялау. Олардың негізгі массасы магниттік және гравитациялық әдістермен байытылады. Флотациялау әдісімен ұсақ сепкілді түрлері ғана байытылады. Кейде басқа әдістермен алынған кедей концентраттар ұнтақталып барып, флотациялаумен сапалары жоғарылатылады. Темірдің өндірістік маңызы бар минералдарына жататындар: магнетит Fe_3O_4 , гематит (мартит) Fe_2O_3 , сидерит FeCO_3 және қоңыр қошқыл темір минералдары ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Олардың барлығы оксигидрильді жинағыштар мен флотацияланады. Көбінде олардың ең арзандары қолданылады. Гидроксилді ион, жерсілтілі металдар катиондары және сұйық шыны олардың флотациялануын басады, ал сода активтендіреді. Сол сияқты органикалық қосылыстарда (крахмал, КМЦ және басқалары) олардың басқыштары бола алады.

Өндірістік тәжірибеде үш түрлі схемалар қолданылуы мүмкін.

Тура анионды флотация. Негізгі және бақылау операциялары pH=6-7 де, ал тазалау операциялары pH=5; 5-6 да, ал кейде (pH=9,5-10) содалы орта жүргізіледі. Бос жыныс минералдары сұйық шынымен басылады. Оның тиімділігін жоғарылату үшін алюминий, мыс не тағы басқа металдар тұздары қосылады.

Теріс анионды флотация. Темір минералдары күшті ақ кірішті сілтілі ортада (pH~11) гидроксил иондарымен не органикалық қосылыстармен басылып, бос жыныс минералдары флотацияланады.

Теріс катионды флотация. Темір тотықтары органикалық қосылыстармен басылып, силикатты минералдар содалы ($\text{pH}=8-9$) катионды жинағыштармен ($0,2-0,4 \text{ кг/т}$) флотацияланады.

Флотациялау схемалары қарапайымды: көбінде негізгі, бақылау және екі-үш тазалау операцияларынан тұрады. Келтірілген схемаларда технологиялық көрсеткіштердің деңгейлі бір біріне жақын.

Темір концентраттарында күкірт, фосфор, мышьяк және қорғасын зиянды кірмелерге жатады.

Хром кендерін флотациялау. Хромның өндірістік минералы хромиттің $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ флотациялық қасиеті темір минералдарының қасиеттеріне ұқсас. Оны тура анионды флотациялауда бос жыныс минералдарын басу үшін қышқылды ортада фторлы және кремнефторлы натрий, ал сілтілі ортада КМЦ, сұйық шыны және басқалары қолданылады. Теріс катионды флотацияда бос жыныс минералдары флотацияланады. Оның алдында жоғары сілтілі ортада ($\text{pH} \geq 12$) өңделіп, шламдардан шайылады.

Марганец кендерін флотациялау. Флотациялауға гравитациялық және магнитті байыту әдістерінен кейін шығатын ұнтақ шламды фракция ғана ($-0,1 \text{ мм}$) түседі. Марганецтің өндірістік минералдарына жататындар: пиролюзит MnO_2 , браунит Mn_2O_3 , магнетит $\text{MnO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, псиломелан $(\text{MnO}_2)_m \cdot (\text{MnO})_n (\text{H}_2\text{O})_p$, родохрозит MnCO_3 . Бұл минералдардың барлығы тез шламданады және флотоактивтіліктері темір минералдарына қарағанда төмен келеді. Егер қышқылды ортада өңделсе флотацияланулары жоғарылайды. Жинағыш реагенттері ретінде темір минералдарын флотациялайтын реагенттер қолданылады.

Қалайы кендерін флотациялау. Бұл кендер, негізінде, гравитациялық әдіспен байытылады. Флотацияға тек шламды фракциялар ғана түседі. Қалайының негізгі минералы касситерит SnO_2 . Кендерде бос жыныс минералдарының көптеген түрлері кездеседі.

Касситеритті флотациялап бөлудің қиыншылығы сонда, оның кварцпен қасиеттері өте жақын. Касситеритті активтендіру үшін қолдануға болатын металдар катиондары кврцтыда активтендіреді. Оның активтенуін таңдаулы түрде басу тек қышқылды ортада ғана мүмкін.

Флотациялау алдында міндетті түрде жүргізілетін операция өте ұнтақ шламды шайып бөліп тастау. Бос жыныс минералдарын дезактивтендіру үшін күкірт, щавель, лимон және басқа қышқылдар қолданылады. Олардың әрекетін күшейту үшін сұйық шыны, гексаметафосфат, кремфторлы натрий және солардың тіркестері қосылады.

Кенде сульфидтер болса олар алдын ала флотацияланып кеннен бөлінеді.

Касситерит жинағышы ретінде көптеген реагенттер ұсынылған. Олардың ішінде қолдану тапқандары біразы ғана (карбон, арсон, фосфон қышқылдары және т.б.) Оны флотациялаудың негізгі бір шарты пульпа қышқылдығы 4 тен 5,5-ке дейінгі шекте болуы қажет. Сонда ғана бос жыныс минералдарының флотациялануы айтарлықтай басылады.

Қазіргі кезде дүние жүзілік тәжірибеде көптеген схемалар және реагенттік режимдер белгілі.

VIII-тарау

ЕРІГІШ ТҮЗДАРДЫ ФЛОТАЦИЯЛАУ

Көп таралған тұздарға жататындар сильвин KCE , галит NaCl , карналлит $\text{KCE} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, лангбейнит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ және тағы басқалары (сульфаттар, нитраттар).

Ерігіш тұздар олардың қаныққан ерітінділерінен флотацияланады. Жинағыш реагенттер ретінде катионды және анионды жинағыштар қолданылады. Қаныққан ерітінділер маточник деп аталады. Тұздарды флотациялаудың екінші ерекшелігі сол көбіктендіргіштердің қажеті жоқ, демек тұз иондарының өздерінің әрекетімен түзілетін көпіршіктер жеткілікті болады. Кейде тіпті жинағыштардың қажеті болмайды. Үшінші бір табылған заңдылық - егер маточникте минералдың ерігіштігі төмендесе, онда оның флотоактивтілігіде төмендейді және керісінше. Мысалы, $\text{KCl} + \text{NaCl}$ және $\text{KCl} + \text{NaNO}_3$ парларынан тек натрий тұздары ғана флотацияланады. Себебі ерітінділерде олардың ерігіштіктері калий тұздарына қарағанда жоғары. Тұздарды бөлуде осы заңдылық кеңінен қолданылады.

Жинағыш реагенттер ретінде карбонды қышқылдар, алкилсульфаттар, алкилсульфонаттар, алкилсульфонаттар, катионды жинағыштар қолданулары мүмкін.

Сильвин $KSCl$ және галит $NaCl$ әрқайсысы өз ерітіндісінен майлы қышқылдармен тек сілтілі ортада ғана флотацияланады. Ал екеуінің қосынды ерітіндісінен сілтілі ортада тек галит қана флотацияланады. Ал егер қышқылды ортадан флотациялау үшін оны қорғасынның азот қышқылымен активтендіру қажет.

Егер жинағыш ретінде алкилсульфат не катионды реагент қолданылса, онда сильвин флотацияланып, галит камералық өнімде қалады.

Қазіргі кезде ерігіш тұздардың флотациялануларының бірсыпыра заңдылықтары оларды бөлуде өндірістік тәжірибеде кеңінен қолданылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Абрамов А.А. Флотациялық байыту әдістері. М., Недра, 1984.
2. Абрамов А.А. Сульфидті кендерді селективті флотациялауды оңтайландырудың теориялық негіздері. М., Недра, 1978.
3. Абрамов А.А. Түсті металдар кендерін байыту технологиялары. М., Недра, 1983.
4. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотациялық байыту әдістері. М., Недра, 1981.
5. Глембоцкий В.А. Флотациялық процестердің физико-химиясы. М., Недра, 1972 г.
6. Классен В.И. Мокроусов В.А. Флотация теориясына кіріспе. М., Госгортехиздат, 1961.
7. Кен байыту анықтамасы. М., Недра 1982-1983.
8. Конев В.А. Сульфидтерді флотациялау. М., Недра, 1985.
9. Польшин С.И., Адамов Э.В. Түсті металдар кендерін байыту. М., Недра, 1988.
10. Кен флотациялаудың теориясы және технологиясы. О.С.Богдановтың жалпы редакциялауымен. М., Не

Флотомашиналардың техникалық сипаттамалары

Типт ері	Камер а размер лері (ұзын дығы, көлде неңі, тереңд ігі)	Көле мі м ³	Импе ллер диаме трі	Каме радағ ы импе ллер саны	Шеңб ерлі жылд амды к, м/с	Үлест і энерг ия қажет тілігі кВт/м ³	Элект роқоз - ғалтқ ыш қуатт ылығ ы, кВт	Ауа шығы ны м ³ /ми н
ФМ0 2	0,5x0,5 x0,55	0,14	0,2	1	7,3	7,9	2,2	0,15
ФМ0 4	0,7x0,7 x0,7	0,38	0,3	1	7,2	5,8	2,2	0,4
ФМ1 ,2	1,1x1,1 x1,0	1,35	0,5	1	7,8	4,1	5,5	-
ФМ3 ,2	1,6x1,7 5 x1,1	3,2	0,6	1	8,8/10 ,1/	3,1	10/13 /	3,0
ФМ6 ,3	2,2x2,2 x1,2	6,3	0,75	1	94/10, 8/	3,5/4, 75/	22/30 /	5,0
ФМ6 ,3КС	2,2x2,2 x1,2	6,3	0,75	1	9,4	4,75	30	4,0
ФП М1,6	1,5x1,8 75x0,7 6	1,6	0,68	1	6,5	3,4	5,5	-
ФП М3,2	1,6x1,7 5x1,2	3,2	0,6/0, 75/	1	6,3;7, 5	2,3;3, 4	7,5/11 0/	3,5
ФП М6,3 М	2,2x2,2 x1,2	6,3	0,75	1	9,4	3,5	22	6,0
ФП М6,3	2,2x2,2 x1,2	6,0	0,75;0 ,9	1	9,4	3,7	22	5,0
ФП М12, 5	2,6x2,6 x1,8	12,5	0,9	1	8,8	3,3	40;25	10,0
ФМ У12	3,0x3,7 x3,9	12,0	-	2	-	3,0	37	-
ФМ У6,3	2,2x2,2 x1,2	6,3	0,4	1	12,5	2,4	30	-

МАЗМҰНЫ

Алғысөз.....	3
---------------------	----------

БІРІНШІ БӨЛІМ

<i>ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....</i>	<i>5</i>
---	----------

I тарау. Флотациялық байыту әдістері туралы жалпы ұғындар.....	5
---	----------

§1. Флотациялық процесс.....	
§2. Флотациялық процестің даму кезеңдеріне қысқаша шолу.....	7

II тарау. Флотациялық фазалардың құрылысы мен қасиеттері.

- §1. Атомаралық және молекулалық күштер.
- §2. Минералдың құрылымы және қасиеттері.
- §3. Минералдың генетикалық ерекшеліктері және флотациялаудағы маңызы.
- §4. Судың қасиеттері.
- §5. Ауа қасиеттері.

III тарау. Флотациялық фазалардың шекаралық қасиеттері.

- §1. Бет энергиясы.
- §2. Минерал беттерінің энергетикалық сипаттамасы және сумен әрекеттеуі.
- §3. Минералдардың бетінде қос электрлі қабаттың пайда болу.
- §4. Минералдар бетіндегі су қабатының ерекшеліктері

ЕКІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯЛЫҚ РЕАГЕНТТЕР

I тарау. Флотациялық реагенттердің түрлері және фазалар шекаралықтарында адсорбциялануы.

- §1. Флотациялық реагенттердің қажеттілігі және түрлері.
- §2. Реагенттердің минералдар бетінде химиялық және физикалық адсорбциялануы.
- §3. Реагенттердің минерал бетіндегі қос электрлі қабатта адсорбциялануы.
- §4. Реагенттердің минералдарға бет қосылыстарын түзіп адсорбциялануы.
- §5. Реагенттердің минерал бетінде қабыршақ жасай адсорбциялануы.
- §6. Реагенттердің су және ауа көпіршіктері шекаралығында адсорбциялануы.

II тарау. Жинағыш реагенттер

- §1. Жинағыш реагенттердің молекулаларының құрылымы және олардың түрлері.
- §2. Жинағыштар мен әрекеттесу нәтижесінде минерал бетінің сусыздануы.
- §3. Сульфгидрильді жинағыштар.
- §4. Оксигидрильді жинағыштар.
- §5. Катионды жинағыштар.
- §6. Аполярлы (ионданбайтын) жинағыштар.

III тарау. Көбіктендіргіш реагенттер.

- §1. Көбіктендіргіштердің құрамы және құрылымы.
- §2. Көбіктендіргіштердің әрекет механизмі.

§3. Өндірістік тәжірибеде қолданылатын көбіктендіргіштер.

IV тарау. Активтендіргіштер және олардың әрекет механизмі.

§1. Активтендіргіштер туралы жалпы түсініктер.

§2. Минерал бетін тазалау арқылы активтендіру.

§3. Минерал бетін иондардың хемосорбциялануы нәтижесінде активтендіру.

§4. Активтендіргіштердің минерал бетімен гетерогенді химиялық реакцияға түсуі.

V тарау. Басқыштар және олардың әрекет механизмі.

§1. Басқыштар туралы жалпы түсініктер.

§2. Сілтілі реагенттердің басу механизмі.

§3. Сілтілі металдар сульфидтерінің басу механизмі.

§4. Цианидтердің басу әрекеті.

§5. Мырыш купорасының және басқа реагенттермен оның тіркестерінің басу әрекеті.

§6. Сульфоксидті қосылыстар және олардың басқалармен тіркестерінің басу әрекеті.

§7. Сұйық шынының басу әрекеті.

§8. Хром тұздарының (K_2CrO_4 , $K_2Cr_2O_7$) басу әрекеті

§9. Органикалық басқыштар

§10. Басқыштардың кейбір басқа түрлері

VI тарау. Органы реттегіштердің флотациялау процесіндегі рольдері

§1. Органың сілтілігі мен қышқылдығын реттеудің қажеті.

§2. Пульпаның ионды құрамын реттеу.

§3. Гидроксил және сутек иондарының әрекеті

§4. Реагенттердің коагуляциялау және пептизациялау әрекеттері

ҮШІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯЛАУДА АУА КӨПІРШІКТЕРІНІҢ МИНЕРАЛДАНУЫ

I тарау. Минералдардың көпіршіктерге жабысуы.

§1. Минералдар түйіршіктерінің ауа көпіршіктеріне жабысу мүмкіншілігін термодинамикалық талдау.

§2. Минерал түйіршігі мен көпіршік соқтығысында екі аралық су қабатының бұзылу кинетикасы.

§3. Көпіршік бетінде минерал түйіршігінің бекуі.

II тарау. Әр түрлі ірілікті минерал түйіршіктерінің флотациялануы.

§1. Флотациялық процесте минерал түйіршіктерінің ірілігінің маңызы туралы түсініктер.

§2. Минерал түйіршіктерінің флотациялануына олардың іріліктерінің әсері.

§3. Флотациялау процесіне өте ұнақталған түйіршіктердің (шламдар) әсері.

§4. Шламды түйіршіктердің флотация процесіне зиянды әсерлерін төмендету жолдары.

§5. Шламды түйіршіктердің таңдамалы флотациялануларын арттыру.

§6. Флотациялауда түйіршіктердің ірілігін жоғарылатудың маңызы және жолдары.

§7. Минералдардың флотациялану жылдамдығы және таңдамалылығы.

III тарау. Флотациялық көбік сипаттамалары.

§1. Көбікке қойылатын талаптар.

§2. Көбіктің құрылысы.

§3. Көбіктің тұрақтылығы, оның реагенттік режиммен байланысы.

§4. Көбікті өнімнің сапасын реттеу.

§5. Қалқып алынған көбікті басу.

ТӨРТІНШІ БӨЛІМ.

ФЛОТАЦИЯЛАУ МАШИНАЛАРЫ ЖӘНЕ КӨМЕКШІ ЖАБДЫҚТАР

I тарау. Флотациялау машиналары.

§1. Флотациялау машиналарының классификациясы және оларға қойылатын талаптар.

§2. Флотациялық пульпаның ауалану сипаттамалары

§3. Механикалық флотомашиналар.

§4. Механикалық флотациялау машиналарында процеске әсер ететін факторлар

§5. Пневмомеханикалық флотациялау машиналары.

§6. Пневматикалық флотациялау машиналары.

§7. Өзгерімді қысымды флотациялау машиналары.

§8. флотациялау машиналарын есептеу.

§9. Флотомашиналарды ерекшеліктері? Оларды таңдау және жетілдіру.

II тарау. Көмекші флотациялық жабдықтар.

§1. Араластырғыш чандар.

§2. Реагент түсіргіштер

БЕСІНШІ БӨЛІМ

ФЛОТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

I тарау. Пайдалы қазындылардың қасиеттерінің флотацияға әсері.

§1. Бағалы компоненттердің кендегі проценттік үлестері.

§2. Кеннің минералды құрамы.

§3. Кеннің жаратылу жағдайы (генезис).

§4. Кеннің сепкілдік сипаттамалары және қауышпаларды ажырату.

II тарау. Пульпа тығыздығы және температура әсері.

III тарау. Пульпаның су құрамы және реагенттік режим.

IV тарау. Флотациялау схемалары (сызба нұсқалары).

§1. Флотациялау операцияларының түрлері.

§2. Флотациялық сатылы байыту схемалары.

§3. Құмды және шламды фракцияларды жеке флотациялау

§4. Коллективті (бірікті) және селективті (таңдамалы) флотациялау схемалары.

§5. Қиыстырылған схемалар.

§6. Флотомашиналарда операцияларды жүргізу реті.

V тарау. Флотация бөлімінің жұмысын ұйымдастыру.

§1. Флотациялау бөлімін жұмысқа қосу және тоқтату.

§2. Флотациялық фабрикаларда еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасын сақтау.

VI тарау. Флотациялық фабрикалардың негізгі техника-экономикалық көрсеткіштері туралы.

АЛТЫНШЫ БӨЛІМ

ПАЙДАЛЫ ҚАЗЫНДЫЛАРДЫ ФЛОТАЦИЯЛАП БАЙЫТУ ТӘЖІРИБЕЛЕРІ

I тарау. Табиғи аз суланатын минералдар кендерін флотациялау.

II тарау. Асыл металдар кендерін флотациялау.

III тарау. Сульфидті кендерді флотациялау.

IV тарау. Түсті металдардың тотықты және аралас кендерін флотациялау.

V тарау. Полярлі тотықты минералдар кендерін флотациялау.

VI тарау. Силикаттар мен тотықтарды флотациялау.

VII тарау. Металдар тотықтарын флотациялау.

VIII тарау. Ерігіш тұздарды флотациялау.

Әдебиеттер тізімі

Оқулық басылым

Көшербаев Қауан

Флотациялық байыту әдістері

Оқулық

РББ меңгерушісі

З.А.Губайдулина

Редакторы

Т.Бекмағанбетова

Техникалық редакторы

С.П.Полтавец

Компьютерде басып терген

Басуға қол қойылды “ ____ ” _____ 2000 ж.

Таралымы дана. Пішіні 60 x 84 1/6.

Баспаханалық қағаз N1. Көлемі Оқу-баспа табақ.

Тапсырыс N

Бағасы келісім бойынша

Қаныш Сәтбаев атындағы

Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы, ҚазҰТУ-дің баспа-көбейту бөлімі, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22.