

На відміну від технології черпання, поршневі помпи забезпечували процес відкачування води дерев'яними трубами (здебільшого їх виготовляли із стовбурів вишневих дерев). Конструктивне рішення рудникової поршневої помпи показано на рис. 4.92, 4.93. Нижню трубу закріплювали в зумпфі, причому на її кінець одягали плетений



Рис. 4.92 - Система поршневих pomp з водним рушієм.
За Г. Агріколою



Рис. 4.93 - Оригінальні елементи середньовічних рудничних pomp.
Німецький гірничий музей у Бохумі

кошик для запобігання засмічуванню. В середині труб на дерев'яних стрижнях рухались штоки. Верхня частина стрижнів входила в зачеплення з важелями, що рухались під час обертання валу. Рушієм валу міг бути водний потік, спрямований на приводне колесо. Головними недоліками таких pomp була відносно мала продуктивність і висота піднімання води - зазвичай до 20 - 30 м, причому кожна секція піднімала воду на відстань до 4 м. Численні описи та рисунки складних і трудомістких водовідливних машин, що потрапили до середньовічних гірничих книг (серед них виділяються конструкції Швайпольта Фіоля з Кракова та угорського інженера Йоганна Турзо - співвласника промислово-банківської компанії Фуггера-Турзо), свідчать про наполегливі спроби гірників вирішити проблему водо-припливів хоча б для малих глибин розробки. Проте, вельми обмежені енергетичні можливості (сила водного потоку чи тяглових тварин) не були спроможні забезпечити ведення гірничих робіт у випадку значних водо-припливів. *"Буває й так, що воду можливо було б відкачати машинами, але їх не використовують з тієї причини, що витрати на них перебільшують прибуток від розробки відносно бідної жили"* (Г.Агрікола).

Вентиляція. Чим глибше спускалися гірничі роботи, чим більше віддалялися від стовбурів вибої виробок, тим складніше було забезпечувати процеси подачі свіжого повітря й відведення небезпечних газів, тобто підтримувати в підземному просторі копальні атмосфери, необхідну для безпечного ведення гірничих робіт. Це завдання здійснювалось головним чином шляхом природної тяги, яку створювала комбінація виробок, що мали вихід на поверхню (наприклад, стовбури, штольні) і сполучених з ними експлуатаційних виробок. Здебільшого природну тягу забезпечували шляхом спорудження по трасі магістральних підземних виробок вентиляційних стовбурів, відстань між якими зазвичай не перебільшувала 200 м.

Одним із штучних способів підвищення інтенсивності провітрювання виробок був підігрів вихідного потоку повітря, який здійснювали в донній частині відповідного вентиляційного стовбура. Для цього в стовбур опускали жаровню

з розпеченим деревним вугіллям, яке створювало додаткову тягу й підсилювало ефективність всмоктувального способу вентиляції. Після прогоряння деревини, жаровню підіймали й заповнювали знов розпаленим деревним вугіллям. У неглибоких шахтах підігрів вихідного потоку міг здійснюватися завдяки багаттю, що підтримували в донній частині стовбура.

Для штучного нагнітання повітря у виробки застосовували декілька способів. Перш за все над устями вентиляційних стовбурів на поперечних балках розміщували перехресні дерев'яні щити, які спрямовували атмосферні повітряні потоки до стовбура (рис. 4.94-а). Такі пристрої покращували вентиляційний режим лише тимчасово, під час сильних вітрів. Інший спосіб примусової вентиляції забезпечували крильчасті віяла (крильчатка), що розміщували на коловороті над устям стовбура, здебільшого в дерев'яних коробах (футлярах), що спрямовували рух повітря від обертів крильчатки до стовбура (рис. 4.94-б, 4.94-в). Рушієм крильчатки найчастіше були самі гірники, що обертали вал, іноді використовували силу вітру (за аналогією з вітряком). Крім вказаних способів загальнорудничкової вентиляції, яка забезпечувала вільний рух повітря виробками копальні, застосовувався спосіб місцевого провітрювання, коли повітря подавалося трубопроводом у віддалені вибої виробок (рис. 4.94-г, рис. 4.94-д). Основним пристроєм для нагнітання повітря в цьому випадку слугували шкіряні міхи (подібні до ковальських), а трубопровід складався з дерев'яних труб (видовбаних зсередини стовбурів дерев).

Вентиляція гірничих виробок не тільки забезпечувала рудокопів свіжим повітрям, але й суттєво впливала на безпеку рудників. Виділення в гірничі виробки отруйних і вибухонебезпечних газів загрожувало катастрофічними наслідками. Вибухи в копальнях (рис. 4.95) фіксуються в літературних джерелах з XVI ст. Недостатні енергетичні можливості рушіїв тогочасних вентиляційних пристроїв не могли забезпечити виведення шкідливих газів. Вони накопичувалися у покрівлі виробок і загрожували при певній концентрації нищівними вибухами. Для запобігання цьому лиху гірники періодично мусили випалювати метан факелами, попереджуючи тим виникнення його вибухонебезпечної концен-

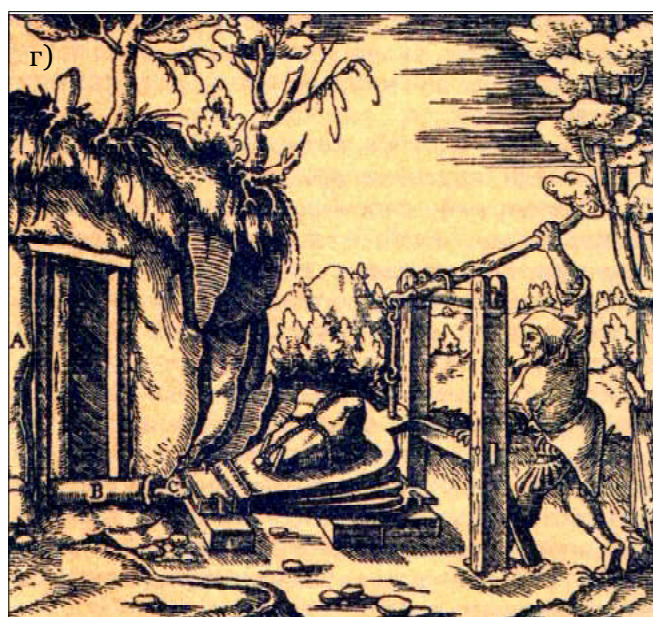
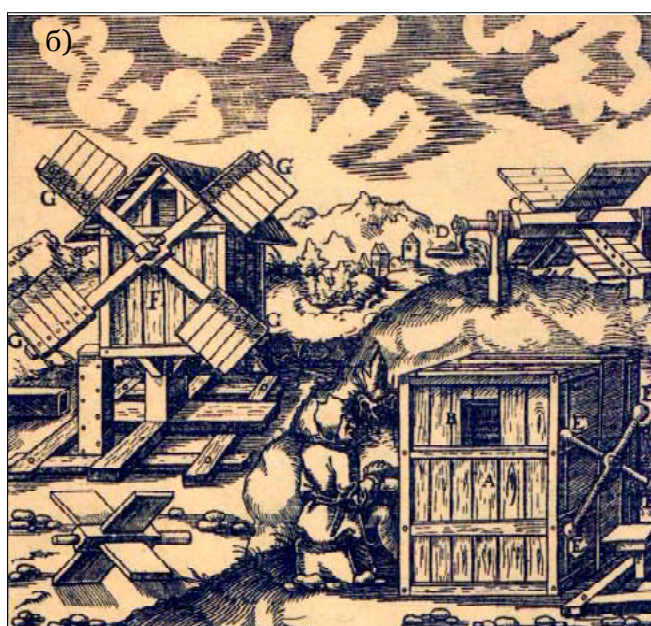
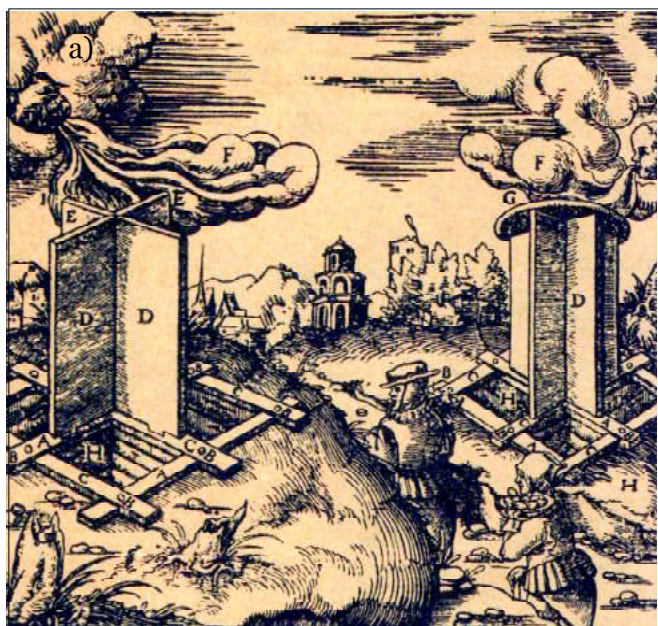


Рис. 4.94 - Середньовічні пристрої для вентиляції рудників: а - повітроспрямувальні щити; б- крильчатки над устями стовбурів; в - ручний вентилятор барабанного типу; г, д - повітродувні міхи з ручним і кінним приводом (ілюстрації - за Г. Агріколою, макети-реконструкції, Німецький гірничий музей у Бохумі)



Рис. 4.95 - Вибух метану в гірничій виробці.
Рисунок Л. Симонена



Рис. 4.97 - М. Клузек "Покутники".
Соляна скульптурна композиція в камері шахти Величка, що відображає процес випалювання метану



Рис. 4.96 - Випалювання метану в покрівлі виробки.

трації (рис. 4.96). Гірники, які спалювали газ, перед початком роботи одягали на себе вивернуті й змочені водою кожухи, рукавиці, шапки, що закривали обличчя, але уникнути опіків вдавалося не завжди. Іноді метан не вигорав, а вибухав, забираючи життя шахтарів, що стали з ним на двобій. Смертельна боротьба людини з природними небезпеками надихала багатьох митців художніми засобами відобразити героїзм гірників і зберегти його в пам'яті людства. Приміром, випалювання метану в камерах Королівської копальні солі Величка знайшло відображення в літературі, картинах, скульптурі, причому назви творів: "Покутники", "Пекельна їзда" - промовляють самі за себе (рис. 4.97, 4.98).



Рис. 4.98 - П. Стахевич "Пекельна їзда".
Випалювання метану в верхніх шарах соляної камери

Спуск-підйом гірників, транспортування корисних копалин. Для потрапляння в копальню гірники використовували пішохідні штольні, а у випадку розкриття покладів стовбурами - спускання драбинами або канатами. У вертикальних стовбурах використовували здебільшого дерев'яні ярусні сходи (рис. 4.99), для спускання в камери або природні печери (з яких вели розробку) споруджували одну велику драбину від устя до підшви виробки (рис. 4.100). Зазвичай драбини нічим не огорожувались і спуск-підйом гірників був небезпечним для здоров'я й навіть життя. Це підтверджував і Агрікола: *"Іноді рудокопи, зірвавшись з драбин, ламають собі руки, ноги, шию, або тонуть у зумпфі"*. Значне розповсюдження отримали способи спуску-підйому на канатах, які рухались від обертання коловороту. Обертали вал гірники, що працювали на підйомі, або коні (через приводні колеса). Задля зручності спуску гірників канат оснащували кошиками або петлями для сидіння (рис. 4.101).



Рис. 4.99 - Драбинні сходи шахтних стовбурів:
а - макет-реконструкція; б - оригінальне оснащення
середньовічних виробок.

Німецький гірничий музей у Бохумі

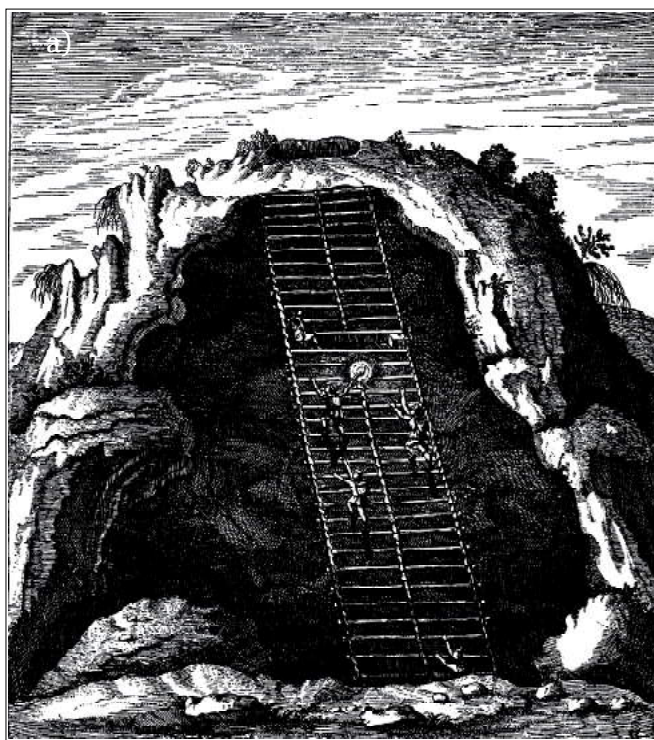


Рис. 4.100 - Дерев'яні сходи у виробках камерного типу:
а - гравюра А. Кірхера (1665 р.);
б - картина Ф. Кадзервуда



Рис. 4.101 - Спускання гірників у вертикальному стовбурі за допомогою канату: а - макет-реконструкція Словацького гірничого музею; б - гравюра Ж. Гослара (копальня солі Величка)



Рис. 4.102 - Спускання гірників вертикальним і похилим стовбурами. За Г. Агріколою

"Оскільки існує багато похилих стовбурів, рудокопи іноді сідають на шкіру, підв'язану ззаду до стегон, і з'їзжають униз (рис. 4.102), подібно хлопчикам, які взимку спускаються з гори-ковзанки. Щоб не впасти, вони тримаються однією рукою за канат, верхній кінець якого закріплений на балці в усті шахти, а нижній - на тичці, вбитій у підоснову нижнього майданчика шахтного стовбура" (Г. Агрікола).

Для транспортування видобутих руд і гірської породи здебільшого використовували ручну працю (фізичну силу) людини. Іноді гірники вантажили руду в шкіряні мішки або плетені кошики й виносили на собі горизонтальними чи

похилими виробками (рис. 4.103-а). Зрідка використовували "гвинтові" стовбури (рис. 4.103-б). Крім мішків і кошиків серед транспортних ємностей використовували корита, які видовбували з деревних стовбурів (див. рис. 4.60-б). Їх наповнювали рудою й переносили на собі, підвишуючи на ремнях. Загалом способи доставки руди "на плечах" не користувалися серед гірників популярністю: велика кількість людей швидко втом-

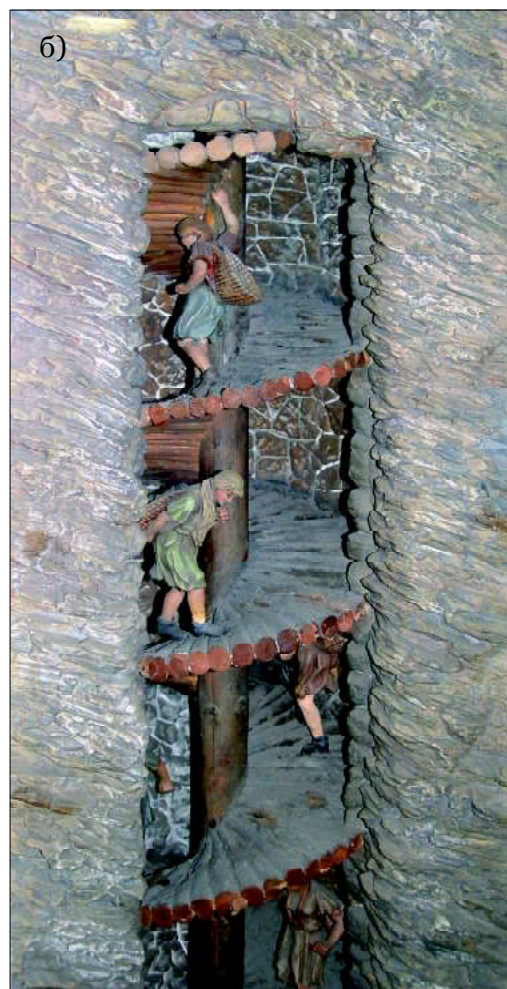
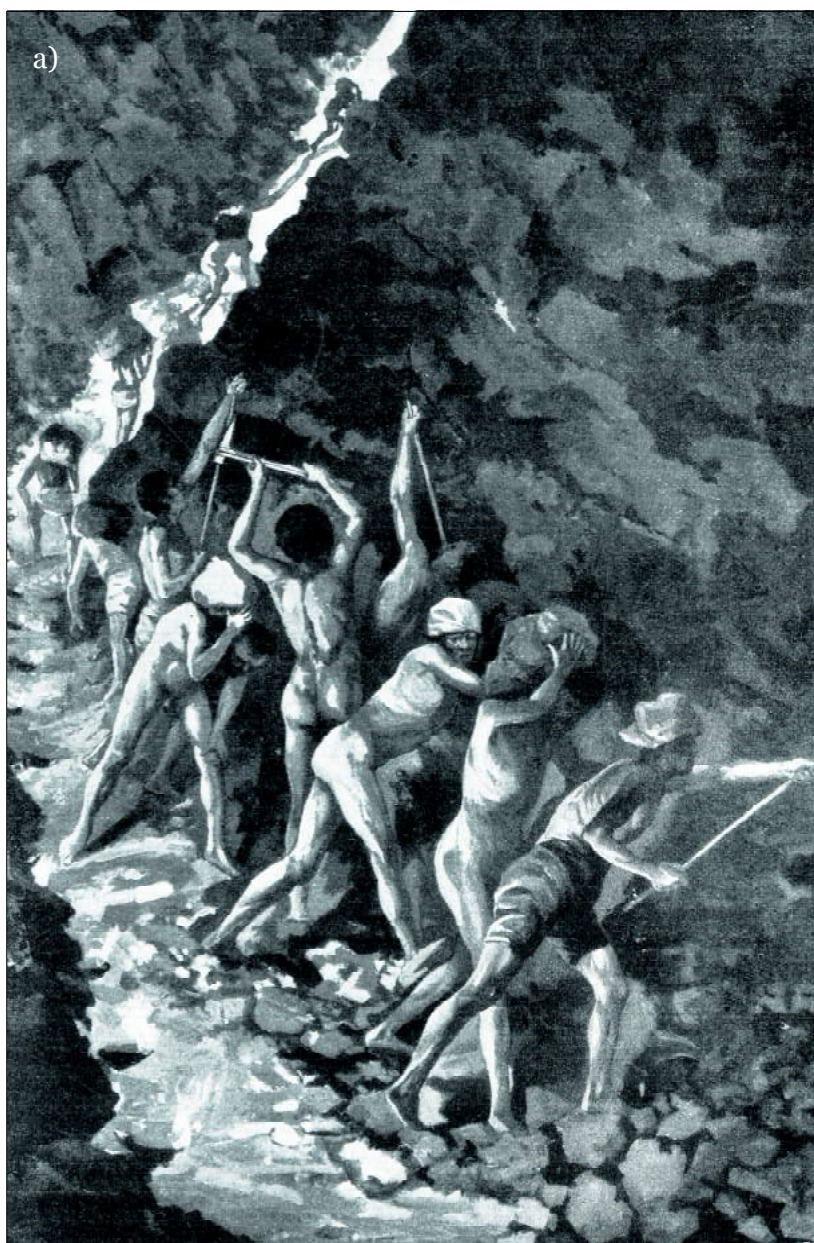


Рис. 4.103 - Транспортування руди "на плечах" гірників: а - "На сірчанних копальнях Сицилії" (за Г. Кремером); б - транспортування гвинтовим стовбуром (Німецький гірничий музей у Бохумі)

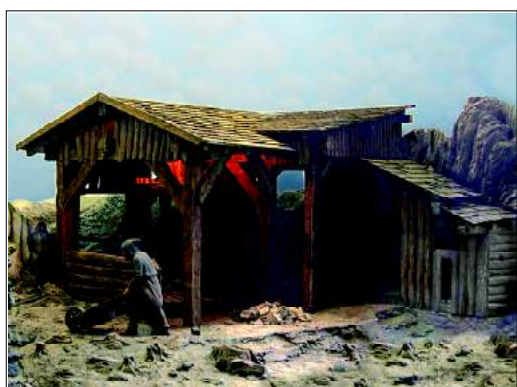


Рис. 4.104 - Промислова поверхня рудника. Модель-реконструкція Німецького гірничого музею в Бохумі

лювалась, а грошові видатки найма-ним носильникам були високі (інша справа - гірничі розробки Давнього Світу, коли, за твердженням Плінія, раби весь видобуток із рудників виносили на собі). З огляду на це, найбільше розповсюдження отримала рудникова відкатка гірських порід тачками чи візками.

Середньовічна тачка майже не змінилася з часом і мала в давнину "цілком сучасний" вигляд: короб з одним колесом та двома ручками за які брався гірник, перевозячи руду



Рис. 4.105 - "Угорська собака" - найпоширеніший гірничий візок середньовіччя. Скульптурна композиція Е. Хойхлера

штольнею або поверхнею рудника (рис. 4.104). Крім того, для відкатки використовували візки (прообрази майбутніх вагонеток) - це були дерев'яні ящики, оббиті залізними штабами й кутниками, що мали чотири дерев'яних диска-колеса. Відкатник тримав руками тильну частину візка й штовхав її перед собою. Цікаво, що *"так як під час руху він (возик) видає звук, що нагадує деяким чином собачий гавкіт, його називають "собакою" (Г. Агрікола)*. Найбільше розповсюдження в європейським гірництві мала так звана *"угорська собака"* (рис. 4.105), відмінною рисою якої були пари коліс різного діаметра. Її застосовували для відкочування руди вузькими, звивистими виробками, що йшли за простяганням рудної жили. Колеса візка котилися дерев'яними дошками, настеленими на підшві виробки. При цьому гірник підштовхував "собаку" з боку малих коліс, що надавало візку легку керованість і рухливість під час слідування хвилястою трасою виробки.

У прямолінійних протяжних штольнях застосовували лежневі дороги (рис. 4.106). Конструктивно - це колія з



Рис. 4.106 - Гірничі роботи в руднику (за Г. Агріколою). Зліва - відкатка руди лежневою дорогою



Рис. 4.107 - Транспортування візка з рудою лежневою колією (малюнок XVI ст.)

виступаючих або уритих врівень з ґрунтом дерев'яних поздовжніх брусів (лежнів). По них гірники вручну перекочували візки з рудою, причому сходу вагонеток з лежневої колії запобігав направляючий стрижень, що входив в проміжок між лежнями, або додатковий проміжний брус (рис. 4.107). Згодом лежні набули округлої форми, а на колесах візків з'явилися жолоби (рис. 4.108). Слід зазначити, що лежні не тільки служили напрямними, а й сприймали основні навантаження, причому перекочування візка рейками потребувало в кілька разів менших зусиль, ніж підшоною виробки.

Для підйому руд вертикальними стовбурами використовували бадді (цебра) двох типів - малі (близько 40 л), які піднімали коловоротом вручну та великі (близько 240 л), що транспортували за допомогою кінного приводу (див. рис. 4.44). Застосовували також кошики приблизно тієї ж ємності. Оскільки вони були значно легші за бадді, то дозволяли підняти більшу кількість руди. Іноді для піднімання відбитої гірничої маси застосовували мішки з бичачої шкіри.



Рис. 4.108 - Оригінальний візок для відкатки руди дерев'яними рейками. Німецький гірничий музей у Бохумі

Підймальні машини, які використовувалися на давніх шахтах - предмет особливої зацікавленості і уваги істориків гірництва (само слово "машини" спершу означало "підйомник"). Г. Агрікола пише, що "вони були винайдені для відкачування води з глибин землі, куди не досягають штольні, а також для підйому матеріалів шахтними стовбурами". При цьому він виділяє 5 типів машин "для підйому сухих речовин з шахтних стовбурів".

Перша схожа з сучасним колодязним механізмом і приводиться в рух двома чоловіками, які обертають вал, на якому навитий підйомний канат з серединою прикріпленою до валу (рис. 4.109-а). На обох кінцях каната були підвішені залізні гаки, на які чіпляли дужки підйомних цебер. Коли за допомогою рукояток вал обертали, повна баддя піднімалася, а пуста - опускалася. Підняту руду вивантажували з цебер у тачки чи вагонетки, які відкочували або у відвал (терикон) при проходці, або на склад (штабель) з якого брали руду для дроблення й промивки.

Другий різновид підймальних машин мав

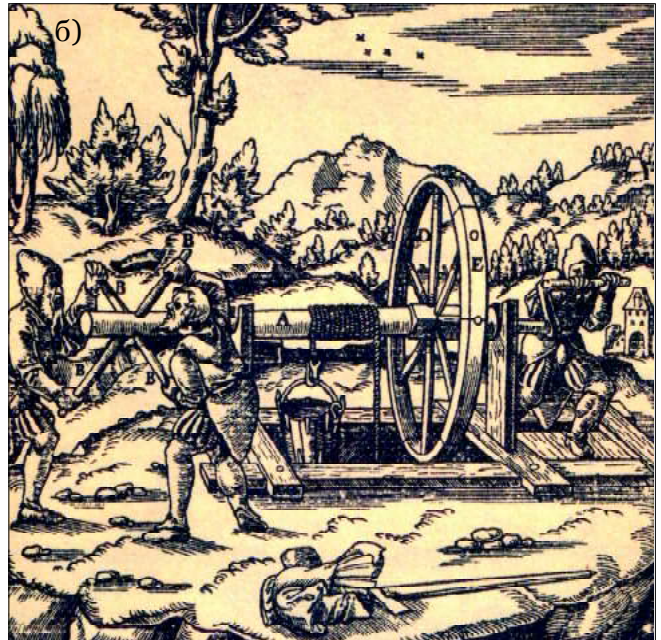
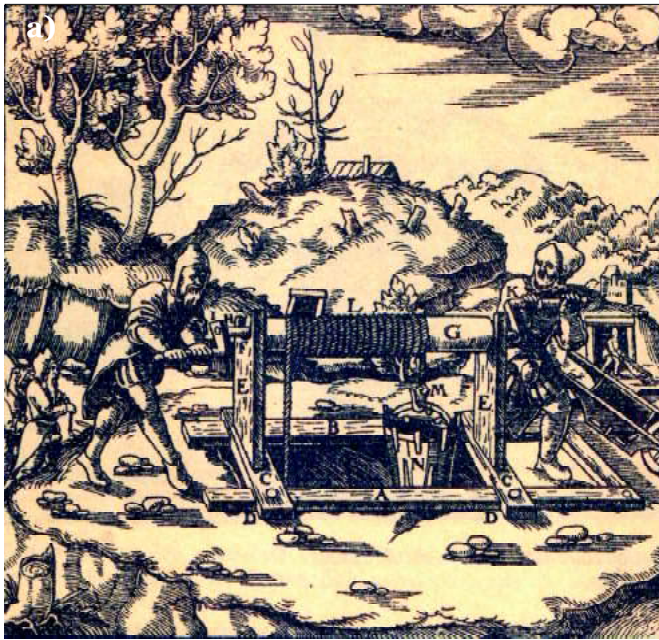


Рис. 4.109 - Підймальні машини, рух яких забезпечували гірники (за Г. Агріколою): а - звичайний коловорот; б - коловорот з маховим колесом; в - вертикальний привод із ступінчастим колесом

крім рукояток махове колесо і застосовувався на більш глибоких шахтних стволах (рис. 4.109-б). При підйомі з малої глибини на рукоятці працював один робітник, а другого замінювало махове колесо, при великій глибині - на руко-

ятках працювало троє робітників, а четвертого замінювало колесо. Після пуску вала рух його підтримується інерцією махового колеса (іноді обважененого свинцем) і обертати його стає набагато легше.

Третя машина мала вертикальний привод, який передавав рух на горизонтальний вал з навитим канатом (рис. 4.109-в). Привод приводився в рух ногами робітників, які обертали ступінчасте колесо, відштовхуючись від його перетинок. Вантажопідйомність таких механізмів була більшою, але наявна зубчаста передача сповільнювала хід машини. Вантажі піднімалися з глибини до 180 футів.

Четверта машина піднімала вантажі в шість разів більші, ніж дві перші, і мала кінний привод (рис. 4.110). Поперемінно з шахтного ствола піднімалося наповнене цебро і опускалося порожнє. Якщо шахтний ствол був глибокий, запрягали чотирьох коней.

П'ята машина конструктивно поєднувала третю і четверту. Нею обладнували шахтні стовбури глибиною до 240 футів. Крім того, її використовували для підйому вантажів з нижніх горизонтів на верхні (рис. 4.111). Практика підйому з горизонту на горизонт була поширена на глибоких рудниках, оскільки існуючі машини й обладнання не могли забезпечити разовий підйом з глибини більше 80 - 100 м.

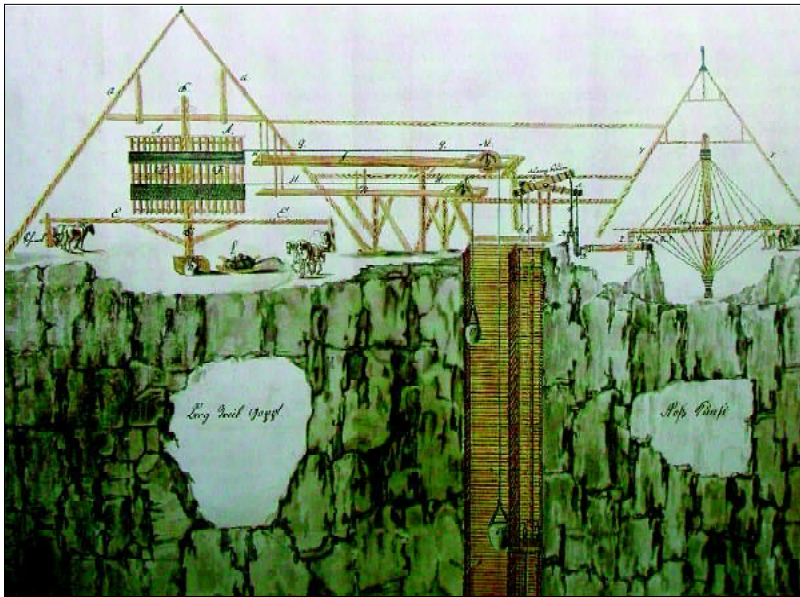


Рис. 4.110 - Підймальна машина з кінним рушієм на руднику Банська Штявниця

Треба зауважити, що за допомогою згаданих машин піднімали не тільки сухі вантажі (руду, породу), але й воду, а також опускали в шахту лісоматеріали (колоди, дошки), підвішуючи вантаж до підймального канату. Пристрої мали гальмівну колодку, змочуючи поверхню якої змінювали силу зчеплення.

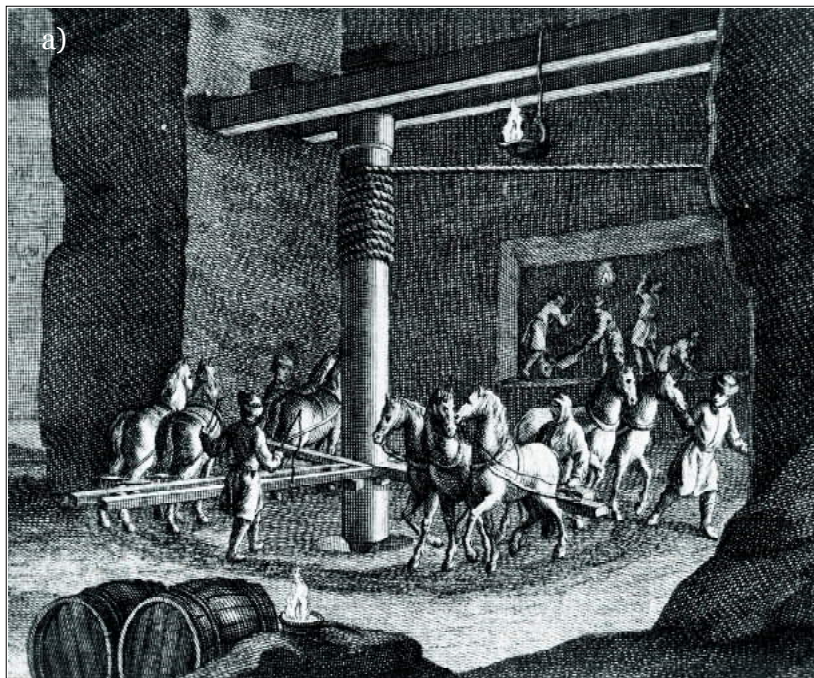


Рис. 4.111 - Конструкції кінних підйомників на копальні солі Величка:
а - гравюра Я. Борляха, 1719 р.; б - оригінальна підймальна машина в соляній камері

Збагачення руд. Вперше систематизував знання про збагачення корисних копалин Г. Агрікола у восьмій книзі праці "De Re Metallica". Він виділяє такі основні операції, застосовувані у збагаченні: селективне виймання, сортування, дроблення, подрібнення, грохочення, гравітаційні методи збагачення, промивання, амальгування, а також підготовчі термічні методи (зокрема випалення), а також використання для збагачення корисних копалин рельєфу та природних потоків. Розглянемо стан розробленості цих технологічних процесів і операцій збагачення у середні віки.

Чи не вперше у гірництві Г. Агрікола описує селективне виймання рудокопами рудного матеріалу при розробці рудних жил: *"цінну руду вони відкладають у рудопромивні корита, а малоцінну кидають [окремо] в бадді"*. Якщо ж цього рудокоп не зробив на етапі виймання, то треба це зробити пізніше: *"викопану руду треба уважно оглянути і відокремити частину, багату металом, від частини, яка не має металу"* (зараз цю операцію попереднього збагачення називають "рудовибірка" або "сортування"). Г. Агрікола так описує конструкцію рудорозбірного столу: *"Найчастіше рудорозбірні столи виготовлені з*

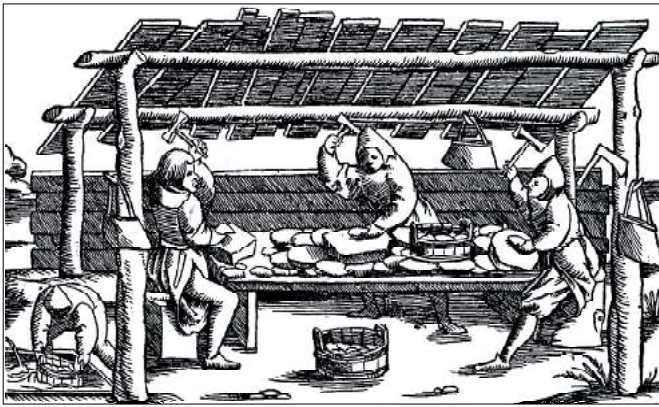


Рис. 4.112 - Обробка руд на рудорозбірному столі.
Ілюстрація з книги С. Мюнстера "Космографія"
(1544 р.)



Рис. 4.113 - Рудорозбірний стіл на копальні "Стара Єлизавета" у Фрайберзі: а - сучасна експозиція шахти-музею; б - світлина 1900 р., яка стверджує сталість використання дитячої праці на розбиранні руд з часів середньовіччя до ХХ ст.

щільно підігнаних дощок довжиною 4 фути, така ж і ширина столу; до трьох сторін столу припасовані борти висотою 1 фут, передній же край, де знаходиться розбірник руди, відкритий". Для дроблення великих шматків "рудорозбірники кладуть на кожний рудорозбірний стіл твердий і широкий камінь" (рис. 4.112). Для рудовибірки на копальнях часто залучали не тільки чоловіків, але жінок і дітей, які "проводять цілі дні за рудорозбірним столом" (рис. 4.113).

Великі шматки руди розколювали молотами, дробили і товкли, після чого вибирали багаті металом грудки, а пусту породу відкидали. Самородне срібло рудорозбірники сплющували, розрізали залізними зубилами або ножицями на шматки і направляли на плавлення. Для захисту від пошкоджень професійні рудорозбірники ХVІст. використовували захисні рукавиці та "наніжники", виготовлені з деревної кори.

Інколи перед рудорозбіркою руду піддавали термообробці (випалювали), що, поперше, зменшувало її міцність, покращувало дробимість і, по-друге, дозволяло видалити (випалити) ряд шкідливих домішок - сірку, бітум, аурипігмент, реальгар тощо (рис. 4.114). При цьому вже у середньовіччі були вироблені різноманітні способи випалення конусоподібних куп руди на відкритому майданчику і у спеціальних печах; з добавками купоросу, колчедану, з попереднім змочуванням водою; у одну (дві, три) стадії. Інколи до випалювання видобутої руди її витримували в купах на відкритому повітрі - сонце, вітер, дощі, температурні коливання дещо розпушували рудний матеріал.

Подрібненню основної маси руд передував процес грохочення. Для виконання цієї операції використовували "короткий ящик" з мідною сіткою замість дна, який підв'язували до гака на стовпі або гілки дерева. Робітник багаторазово притягував ящик заповнений рудою до себе і відпускав його, вдаряючи об стовп чи дерево. При такому струшуванні матеріал просіювався. Підрешітний продукт першого ящика (грохота) направляли у подібний "короткий ящик" але з меншими отворами сита, після чого ті ж операції повторювали (інколи змінюючи сита кілька разів). Для виділення найменших ("пилеподібних")

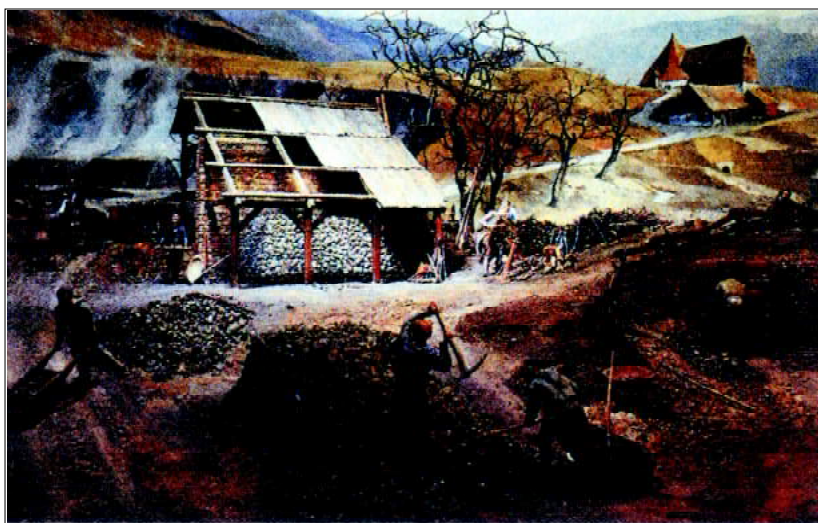


Рис. 4.114 - Обпалювання й зберігання руди в XVI ст. Макет-реконструкція Німецького технологічного музею в Мюнхені

класів крупності застосовували мокре просіювання - шляхом промивання в діжці з водою.

Поверхнями просіювання в таких грохотах були дротяні мідні та залізні сита, які підтримувалися прутами. Барабан сита - дерев'яний, виконаний у формі циліндра, скріпленій залізними ободами (рис. 4.115). Чеські гірники для просіювання дрібнодисперсного матеріалу використовували також плетені кошики, які розгойдували і трясали у бадді чи діжці.

Дробленню піддавали окремі валуни й крупні класи руди (діаметром з горіх і більше), виділені при сортуванні, або шляхом просіювання (грохочення). Основні ручні знаряддя для подрібнення руд - залізні кувадла й бияки на довгих держаках. Про них Г.Агрікола зазначає: *"Широким боком цього залізного знаряддя робочі товчуть руду так само, як молотять зерно на току гладенькими дерев'яними ціпами, навішеними на ціповища"* (рис. 4.116).

Для механізації дробильного процесу надрешітний продукт піддавали дробленню ударним способом у дробарці, яку іноді називали *"товчильний ящик"* (рис. 4.117). По суті вся його конструкція була підпорядкована одній меті - механізації процесу товчіння крупного матеріалу на міцній підлозці (дубовій колоді, камені або залізній плиті) спеціальними товкачами із залізними наконечниками. Пристрій, зазвичай мав до десятка товкачів із залізними наконечниками і прямокутну робочу зону дроблення (з дубових колод, каменя або залізної плити). У Східних Альпах і Карпатах дробарки мали до 20 товкачів уряд і видовжену робочу зону дроблення. Товкачам надавали зворотно-поступального руху у вертикальній площині за допомогою коловорота (рис. 4.118). Приводом,



Рис. 4.115 - Сухе просіювання руди в рухомих ящиках (за Г. Агріколою)



Рис. 4.116 - Подрібнення руди бияками (за Г. Агріколою)

як правило, слугував водяний потік, але іноді використовували й працю людини. Зрозуміло, що вся схема працювала у періодичному режимі разом з грохотом: спершу дробарку завантажували крупними грудками руди, потім приводили до руху товкачі, після певного часу їх зупиняли, вивантажували подрібнену руду, просіювали її на ситі, завантажували нову порцію крупного класу руди разом з надрешітним матеріалом.

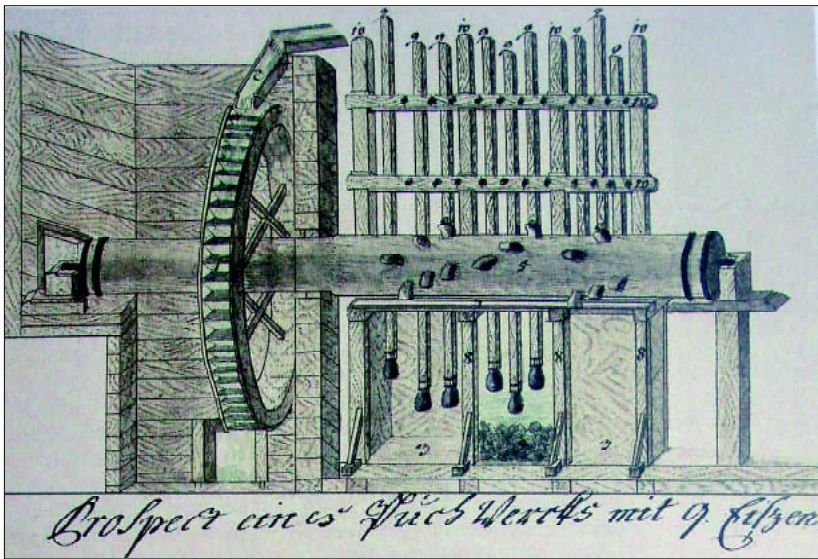


Рис. 4.117 - Товчильна машина з рудника Банська Штявниця (рисунок XVIII ст.)

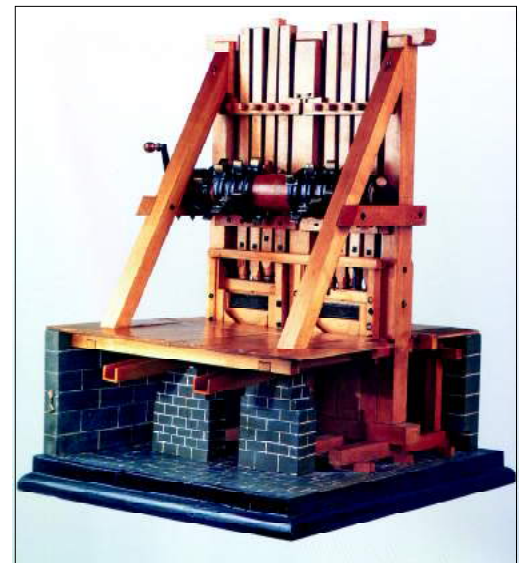


Рис. 4.118 - Модель рудотовчильної машини (1870 р.). Гірничий музей Санкт-Петербурзького державного гірничого інституту

Проривне рішення в технології подрібнення порід застосував Йоганн фон Мальтіц (єпископ Мейссенський), який 1512 р. на саксонських руднях у Німеччині замість сухого застосував дроблення попередньо змоченого матеріалу (мокре дроблення), яке було більш ефективним. По суті емпірично (без розуміння фізичної природи явища) чи не вперше під час збагачення корисних копалин було використано розклинюючий ефект, який чинить вода у порах і мікротріщинах, зменшуючи у такий спосіб міцність суцільного рудного матеріалу, що полегшує його руйнування. Сьогодні це явище відоме під назвою "ефект Ребіндера" і застосовується при подрібненні різних корисних копалин, зокрема під час приготування водовугільного висококонцентрованого палива.

Крім описаних вище товчильних дробарок для руд благородних металів застосовували також жорна водних млинів, які розтирали рудний матеріал у порошокоподібну масу. Інколи технологію подрібнення поєднували з операцією промивки, після чого метал з руди вилучали методом амальгамування. Його виконували в послідовно встановлених переливних ємностях (бочках), куди поміщали ртуть. Пульпа золоторудної муки послідовно надходила у кожен бочку (з верхньої до нижньої), де перемішувалася з ртуттю. Частинки золота при контакті з ртуттю створювали золото-ртутну амальгаму (сплав ртуті з металом), пуста порода виокремлювалась. У подальшому ртуть випарювали зі сплаву й отримували золото.

Найбільшого ефекту збагачення досягали водною

промивкою руд (гравітаційний метод). Г. Агрікола описує шість способів промивки металовмісних руд: "у простому жолобі, у жолобі, який розгороджений дощечками, у великому баці, у короткому герді або планен-герді, похилому герді - шлемграбені, або на густому ситі" (рис. 4.119). При цьому він називає ці способи "старими". У той же час застосовували і більш сучасні - модернізовані промивні машини, наприклад двоповерхові промивні жолоби, нижнє і верхнє відділення яких розділяло залізне сито (поєднання грохота і жолоба).

Гравітаційне збагачення виконували у жолобах (шлюзах) різних конструкцій, сучасним аналогом яких є вашгерд. Техніка гравітаційного збагачення корисних копалин, зокрема золота, олова і інших металів розсіпних родовищ з високою питомою вагою, а також гранатів у водних потоках, що течуть по похилій поверхні досягла в часи пізнього середньовіччя доволі високого рівня. Показником цього є залучення до



Рис. 4.119 - Водне збагачення руд у дерев'яному жолобі й баці. Фрагмент олтаря з церкви Св. Анни в Аннаберзі

збагачення найтонших класів - для їх уловлювання застосовували покриття дна промивних жолобів шкірами волів чи коней, сукном тощо (сьогоднішні аналоги - ворсисті шлюзи). Для підвищення ефективності збагачення у шлюзах мийник (зазвичай хлопець) мав весь час перемішувати руду спеціальними гребками або струшувати жолоб. При цьому важкі часточки золота чи олова опускалися на дно і застрягали у ворсинах підстилки, а легші породні фракції вимивалися потоком води. Після накопичення значної кількості важкої фракції у ворсяній підстилці процес припиняли і споліскували її в окремій посудині, вилучаючи цінний метал.

Процес промивки водою, який використовується і сьогодні, забезпечував відмивання від щільного матеріалу пухких глинистих та тонких піщаних фракцій, які вловлювались у фільтрах, а найтонші - у мулонакопичувачах. Цікаво, що нинішні шламвідстійники та мулонакопичувачі мали своїх аналогів-попередників у середньовіччі. Так, у Саксонській Швейцарії, на притоках Ельби у XVI ст. було влаштовано ряд ставків-відстійників для тонкодисперсної оловоносною руди і ці відстійники були частиною технологічного циклу промивочних рудень.

Г. Агрікола описує оригінальні способи гравітаційного збагачення (промивки) з використанням природних перепадів висот на шляхах водних потоків і невеликих річок (зокрема в горах). Суть технологічних рішень давніх гірників полягала у використанні снігових (льодовикових) або дощових вод для промивки корисних копалин. При цьому в ущелинах гір, на їх схилах влаштовувалися спеціальні штучні русла, канали, по яких спрямовувалися водні потоки. Після попереднього збагачення рудного матеріалу в таких природних умовах і сходження вод осад

штучних русел (канал) видобувався і додатково збагачувався у промивних жолобах. Агрікола вказує тут на досвід португальців, які ймовірно використовували окремі технології ще давньоримських аругій.

Підсумовуючи основні риси гірничих технологій середньовіччя зазначимо домінування ручної праці на всіх напрямках гірничих робіт і одночасний пошук можливостей застосування машин і пристроїв, що використовують кінний, водний і вітряний рушії (поширення вони знаходять здебільшого з XVI ст.). Технологічним переворотом для процесів руйнування гірських порід було застосування підривних робіт у гірничих виробках (1613 р.), що заклало підвалини високоефективних прохідницьких і експлуатаційних технологій, що використовуються й сьогодні. Для європейського гірництва пізнього середньовіччя характерні: спорудження виробок постійних перерізів, наявність схем їх раціонального розміщення у підземному просторі, функціональна спеціалізація виробок (експлуатаційні, транспортні, вентиляційні, водовідливні). Важливою організаційною подією розвитку гірничої техніки була офіційна підтримка винахідництва, чому сприяв авторитетний "Закон про патенти", прийнятий в Англії 1623 р. (основні його положення збереглися в сучасному патентному законодавстві). Виплата підприємцями чималих премій винахідникам стала помітним стимулом вдосконалення гірничих машин і технологій.

4.2 Виробничі метали

"Правитель князівства У Хо-Люй наказав Гань Цзяну витопити сталь для меча. Проте метал не піддавався вогню. Тоді Мо-Се, дружина Гань Цзяна, запитала, що треба зробити, щоб розплавити метал? Гань Цзян відповів: метал не плавиться, бо дух горна вимагає в жертву жінку. Мо-Се кинулась у плавильну піч, і метал розплавився. Два мечі, викувані з цієї сталі, були названі ім'ям Мо-Се".

Мао Цзо-Бень.

Артилерія як рушій гірничо-металургійних технологій (шлях від Сходу до Заходу)

Європейське виробництво міді та заліза в епоху раннього середньовіччя зазнало суттєвого спаду, характерного для загального зменшення товарної продукції порівняно з періодом пізньої античності. Пожвавлення гірничодобувної діяльності спостерігається лише з часів політичного об'єднання германських племен у Франкській Імперії Карла Великого (з 800 р.), а пізніше - у Священній Римській імперії німецької нації (з 962 р.). Широко знані гірничі укази Оттона I, якого завдяки відкритим на німецьких землях рудним родовищам прозвали Багатим. Залізо залишалося основною сировиною для холодної зброї та сільськогосподарських знарядь, мідь - продуктом для відливання численних церковних дзвонів (деякі з них мали величезні розміри, рис. 4.120), а також скульптур, прикрас, побутового начиння.

Істотні зміни в структурі споживання виробничих металів, які позначилися на помітному збільшенні видобутку руд і розвитку нових металургійних технологій, були пов'язані з винаходом і розвитком вогнепальної зброї, зокрема артилерії¹, яка з часом стає головним споживачем бронзи та заліза (рис. 4.121). Порох, вогнепальна зброя та безпосередньо гармати



Рис. 4.120 - Московський "Цар-дзвін", відлитий з бронзи 1735 р. (вага близько 200 т).

Був пошкоджений ще в ливарній ямі й ніколи не дзвонив. Світлина "Шерер, Набольці Ко", кінець XIX ст.

¹ Латинське "arcus" - лук і "tellum" - стріла об'єдналися в італійському "artilla" - мистецтво стрільби, з якого, не виключено, й виникло французьке "artillerie" у розумінні металевих зброї (за іншим значенням, "artillier" - "постачання військового знаряддя, машин").

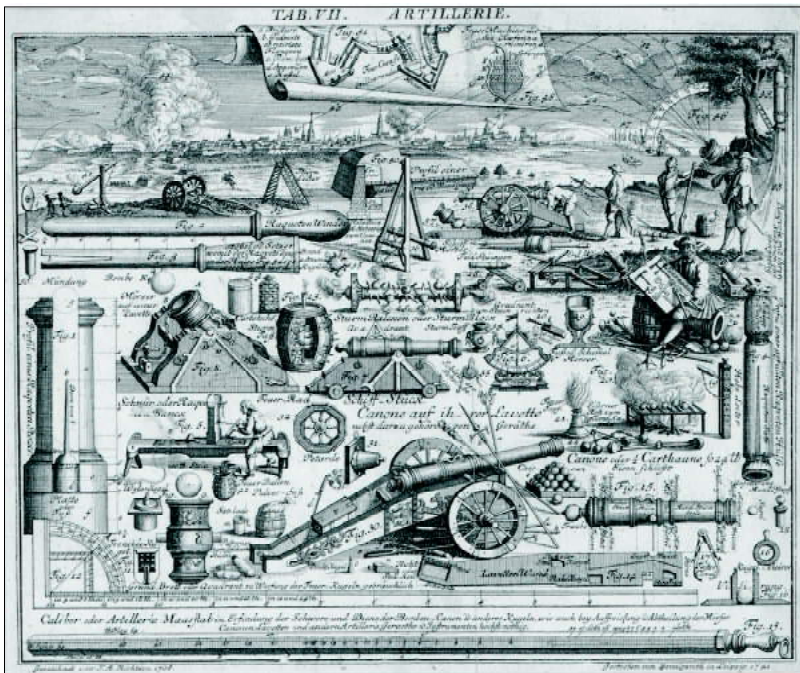


Рис. 4.121 - Артилерійські знаряддя XVIII ст.

прийшли в Європу зі Сходу, де їх було створено зусиллями китайських і арабських винахідників.

Певних даних щодо часу отримання пороху немає. Відома версія про винахід пороху в середині I тис. до Р.Х. у **Китаї**, проте, навіть у разі її достовірності, таємниця виготовлення пороху була швидко втрачена. Першим, хто описав процес виробництва пороху, вважається Вей Боян - китайський алхімік II ст., автор тритомного трактату з алхімії "Цаньтунці" (142 р.). Трактати китайських алхіміків раннього середньовіччя свідчать про наближення до відкриття вибухової суміші на основі сірки, селітри та деревного вугілля.

Найбільш повний опис вибухової речовини міститься у "Безцінних рецептах" алхіміка Сунь Симяо (682 р.). Писемні свідчення застосування пороху у військових діях походять з китайських джерел на межі I та II тисячоліть нашої ери. 1044 р. вийшов трактат Цинь Кунлі "Основи військової справи", що містив рекомендації до застосування пороху.

У XI ст. в столиці сунського Китаю місті Кайфін було збудовано перший великий арсенал, що виробляв порох, вибухові пакети, запалювальні стріли, а трохи пізніше - чавунні гранати (два спарені чавунні циліндри, начинені порохом і оснащені запалювальним гнітом), які катапультами закидалися в осаджене місто. Поворотним пунктом у розвитку вогнепальної зброї став винахід збройового

ствола, що задавав напрямок руху кулі. Писемні джерела свідчать, що цей винахід було зроблено Чень Гуем 1132 р. і успішно використано під час захисту міста Деань (нинішній Аньлу в провінції Хубей). Прототип пищалі ("хоцянь") мав бамбуковий ствол, заряджався порохом і діяв як вогнетет, пізніше в заряд почали додавати дрібну картеч ("тухоцянь"). Згадка про перші гармати ("грім, що здригає небеса") належить до 1232 р. (оборона Кайфиня від військ монгольського хана Хубілая). У другій половині XIII ст. стволи вогнепальної зброї відливали в Китаї з міді та заліза, тобто була створена артилерійська зброя в сучасному розумінні.



Рис. 4.122 - Черпання й промивання озерних руд бурого залізняку в середньовічному Китаї. Ілюстрація з енциклопедії "Тянь гун кай у", 1637 р.

Успішне виробництво й розповсюдження гармат у Китаї ґрунтувалось на сталих успіхах металургії та гірництва, особливо у сфері технологій заліза. Розробляли як родовища бурих залізняків (круглясті зерна або плоскі диски діаметром 5 - 10 мм, які черпали з дна озер та боліт, рис. 4.122), так і корінні поклади залістистих кварцитів у гірських масивах. Поряд із кричним металом китайці ще в середині I тис. до Р.Х. (майже на два тисячоліття раніше за європейців) оволоділи методами отримання й лиття чавуну. Перша згадка про чавун є в літописі "Цзочжуань" у записі, що належить до 513 р. до Р.Х. Там зокрема повідомляється, що чиновник царства Цзинь (сучасна провінція Шаньсі) на ім'я Чжао Ян за допомогою міхів виплавив чавун і відлив з нього триножник, на якому відобразив приписи карного кодексу. Ще одним технологічним проривом китайських металургів було відкриття в II ст. до Р.Х. технології виробництва сталі з чавуну. Цей працемісткий спосіб дістав назву "сто очищувань". Він полягав у багаторазовому інтенсивному обдуванні повітрям розплавленого чавуну під час його перемішування (рис. 4.123). Це забезпечувало сполуку вуглецю чавуну й кисню повітря, що приводило до зменшення частки вуглецю в металі й наближення його до властивостей сталі. Про цей винахід згадується в трактаті "Хайнань-цзи" (122 р. до Р.Х.)¹. Важливий для продукування чавуну винахід повітродуву, що приводився у дію енергією води, був зроблений інженером Ду Ші в 31 р. нашої ери. Опис подібного пристрою (рис. 4.124) зберігся в енциклопедії Ван Чженя "Нун шу" (1313 р.). З рисунка видно, що нижнє колесо, яке оберталось



Рис. 4.123 - Процес пудлінгування в середньовічному Китаї. Ілюстрація з енциклопедії "Тянь гун кай у", 1637 р.

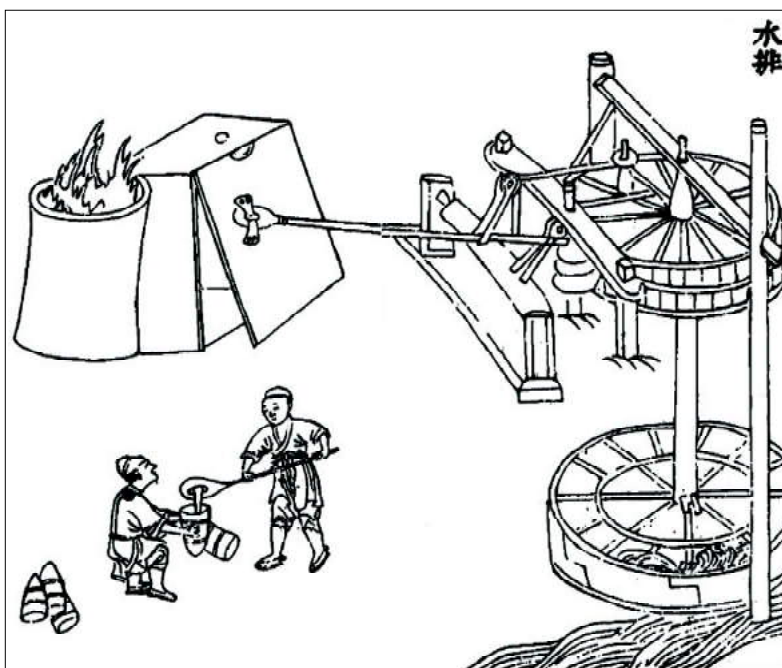


рис. 4.124 - Забезпечення дуття повітря в плавильний горн за допомогою водного колеса. Ілюстрація з енциклопедії Ван Чженя "Нун шу" (Китай, 1313 р.)

¹ Подібний спосіб пудлінгування був освоєний у Європі лише в другій половині XVIII ст. (патенти братів Томаса і Джорджа Кранеджі та Генрі Корта).



ис. 4.125 - "Цар-Лев" - найбільша суцільнолита скульптура з чавуну (вага - 40 т), споруджена в X ст. у м. Гуаньчжоу, Китай

течією води, передавало зусилля на верхнє привідне колесо, що кріпилося на одній осі з першим; ексцентрикова передача приводила в рух систему проміжних важелів, поєднаних з міхами, які подавали дуття в горн.

Використання для дуття гідроенергії суттєво сприяло прогресу металургійного виробництва, оскільки забезпечило можливість збільшення габаритів плавильних печей (зокрема їх висоти) і підвищення температури плавки. Це, своєю чергою, змінило хід металургійного процесу в горні та вможливило виробництво чавуну великими кількостями. Технологія чавунного литва була дуже розвиненою в Китаї, про що свідчать унікальні монументи й пам'ятники (рис. 4.125). Важливою віхою розвитку металургійного мистецтва стало виробництво гарматних стволів із чавуну зі зменшеним вмістом вуглецю. Характерною особливістю металургійного виробництва були печі малих розмірів, що споруджувались у великих кількостях (рис. 4.126). Цікаво, що в Китаї та Японії такі печі були поширені майже до самого XX ст.

Ще одним помітним кроком на шляху вдосконалення металургійних процесів було застосування в плавильних печах кам'яного вугілля¹.

¹ Давня китайська назва вугілля "ши-тань" ("ши" - камінь, "тань" - вугілля), сучасна - "мей" походить від зміненої "мо" - туш, оскільки вугілля довгий час використовували для виробництва туші для письма.

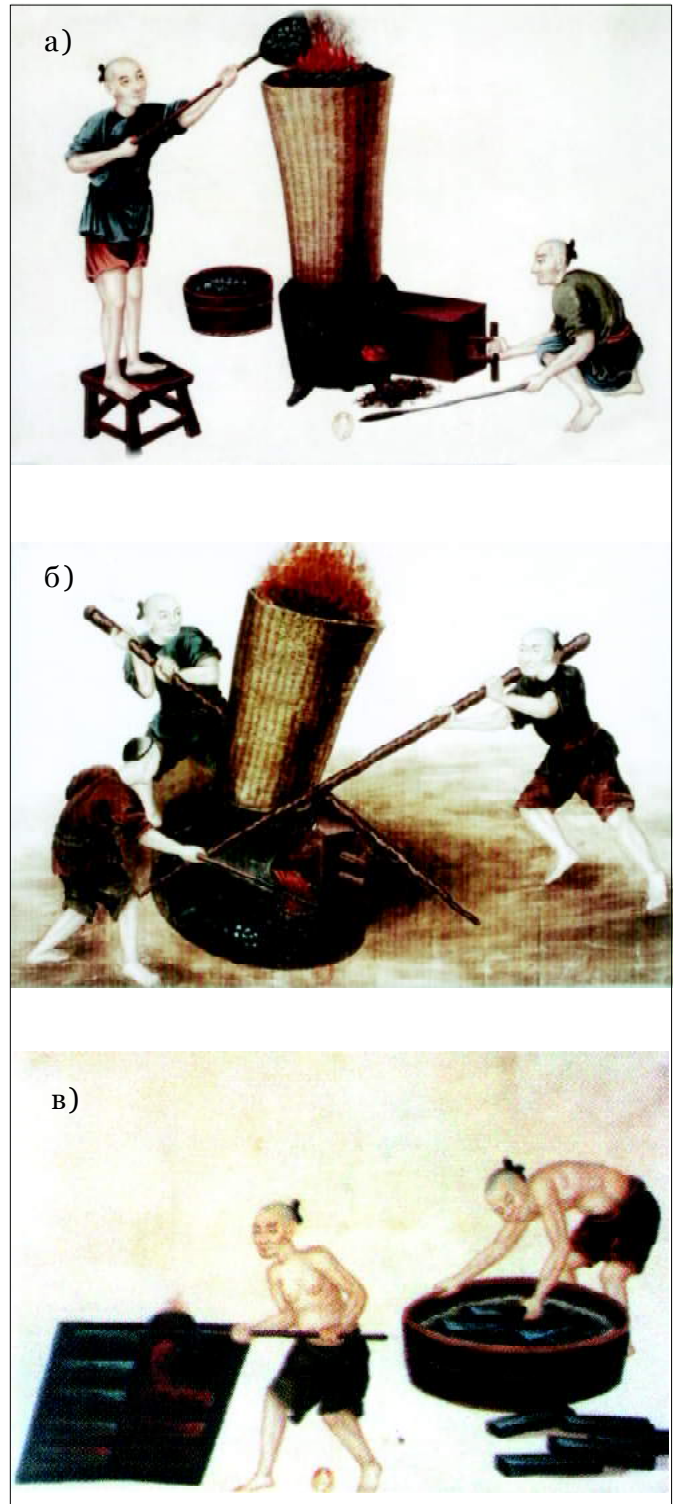


Рис. 4.126 - Виплавлення чавуну в Китаї в часи династії Мін (1368 - 1644 рр.): а - процес плавлення; б - випускання чавуну з вагранки; в - розливання в форми

Можливість його використання у вигляді палива була відкрита китайцями в епоху Хань (імовірно у II ст. до Р.Х.)¹. У "Літописі династії Хань" про кам'яне вугілля записано: "Камені, знайдені в області Юйчжанцзюнь (сучасна провінція Цзянсі - авт.), можуть слугувати паливом". Вже у II ст. нашої ери викопне вугілля стає в Центральному Китаї загальновідомим типом палива, а з III ст. застосовується для витоплення заліза. Професія вуглекопа стає знаною й шанованою (рис. 4.127).

З епохи раннього середньовіччя дійшов канон "Про води", в якому зокрема відзначається: "У двостах лі на північ від Цюйлі (сучасний повіт Кучар у Синьцзяні - авт.) є велика гора. Над нею вогняна заграва вночі й клуби диму вдень. Люди беруть кам'яне вугілля з цієї гори та плавлять його вогнем залізну руду з цієї ж гори. І так на 36 ділянках". Видатний китайський поет Су Ши (XI ст.), який займав посаду державного сановника династії Сун, був організатором пошуків кам'яного вугілля в районі Сюйчжоу для витоплення заліза. Розвідувальна експедиція була увічнена ним у вірші "Похід за кам'яним вугіллям" (1078 р.). У енциклопедії Сун Ін-сіна "Тянь гун кай у" (1637 р.) подано ілюстрований опис середньовічного видобутку вугілля (рис. 4.128). Максимальна глибина вугільних шахт сягала 80 - 100 м.

Крім витоплення заліза, вугілля застосовували для обпалення фарфору, виварювання солі, а також для побутових потреб. Відомий венеційський мандрівник Марко Поло, який прожив у Китаї майже сімнадцять років, згадує у своїй "Книзі чудес" (1298 р.) про горючі "чорні камені", які видобувають у горах Північного Китаю. Він відзначав, що завдяки цим каменям: "Майже немає нікого, хто б не купався в теплій воді, принаймні, тричі на тиждень, а взимку навіть щоденно, якщо дозволяли статки... Дров у них багато, але палять вони каміння, тому що дешевше і дерева зберігаються".

Таким чином, розвиток вугільного промислу в Китаї, технології виробництва заліза та артилерійські досягнення на кілька століть випередили європейський досвід.

Китайські артилерійські досягнення доволі швидко стали відомі в Японії, причому основним металом гарматних стволів тут була мідь. Середньовічна Японія була одним із



Рис. 4.127 - Теракотова статуетка вуглекопа. Китай, династія Хань (206 р. до Р.Х. - 220 р. по Різду)



Рис. 4.128 - Видобуток кам'яного вугілля в середньовічному Китаї. Ілюстрація з енциклопедії "Тянь гун кай у", 1637 р.

¹ Слід зазначити, що в Давній Греції кам'яне вугілля і його властивості були відомі принаймні з IV ст. до Р.Х. (перша згадка - у "Метеорології" Аристотеля в 340 р. до Р.Х., більш детальний опис у роботі Теофраста "Про камені"), але завдяки величезним і легкодоступним лісовим масивам перевага в процесі виплавлення металу надавалася деревному вугіллю, яке до пізнього середньовіччя залишалося в Європі єдиним типом металургійного палива.

азійських лідерів видобутку міді, експорт якої здійснювався в країни Азії (в першу чергу в Китай), а з XVII ст. - також в Європу (Голландію). Старовинні японські гравюри (рис. 4.129) дають уявлення про особливості місцевої розробки й збагачення мідних руд. Основним способом руйнування порід була відбійка за допомогою долота й молотка. Кріплення виробок здійснювали лише на окремих, найбільш небезпечних ділянках. Використовували рамне кріплення, виготовлене з бамбуку. Руду виносили в мішках або кошиках похилими виробками. Світильниками правили великі черепашки (мушлі) морських тварин. Вибійник носив ззаду мату, сплетену з соломи (аналог шкіряної мати європейського гірника). Для збагачення руди широко застосовували водний метод, причому ручне промивання руд велося на решетах, вироблених з волокон бамбуку.

Перший гірничий кодекс "Тайхоре"

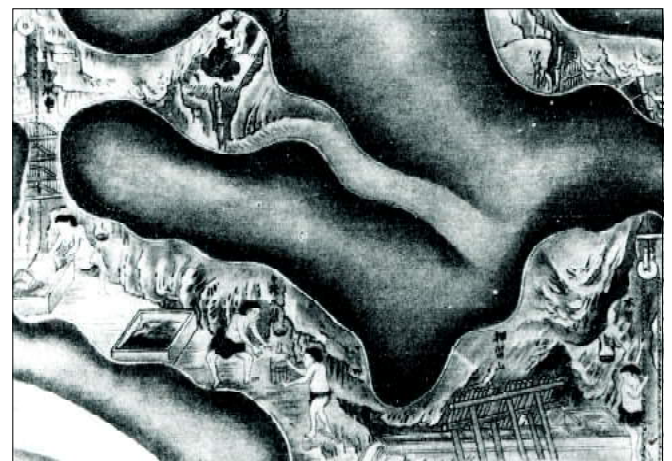


Рис. 4.129 - Гірничі роботи на мідних рудниках Японії. Ілюстрації з японських трактатів XVII ст.

з'явився в Японії 701 р., що свідчить про значний розвиток гірництва вже в ранньому середньовіччі. Згідно з цим кодексом населення дістало право на вільний пошук і розробку руд в тих місцевостях, де цим не займалася держава.

708 р. в **Тітібу** (провінція Мусасі) було

відкрите величезне родовище мідних руд. У зв'язку з цією нагодою в'язням була дарована загальна амністія, а населення звільнено на рік від сплати податків. У тому ж VIII ст. завдяки мистецтву японських ливарників була створена унікальна 400-тонна скульптура Будди, яку розмістили в храмі Тодайдзі. На початку XVII ст. перші сьогуні з дому Токугава заснували спеціальне управління гірничими промислами, що сприяло відкриттю й освоєнню потужних родовищ міді в **Асіо**, **Ані**, **Бессі** (Беші). У цей період в Японії розроблялися 34 великих мідних рудники, у яких щороку видобували близько 6 тис. т міді.

Сусідня з Китаєм **Індія**, яка славилася майстрами залізного промислу, також доволі швидко підхопила ідеї китайських зброярів. Писемні джерела від 1258 р. свідчать про вогнепальні прилади на возах, які належали володарю Делі. Вже в першій половині XIV ст. гармати стають розповсюдженою зброєю в арміях індійських державців (рис. 4.130). Коли 1498 р. в Індію прибули португальці, вони не без здивування зауважили, що місцева артилерія перебуває на тому ж рівні, що й у них (португальці не могли повірити, що майже ту саму артилерію індуси мали й тоді, коли в Португалії про гармати ще й не чули). З численних гігантських гармат Індії середини XVI ст. збереглася "Малик-і-Майдан", довжина ствола якої становила 8,5 м, зовнішній діаметр - 1,5 м, а вага - 55 т (рис. 4.131).

Серед видатних досягнень індійських майстрів металу, секрети яких повною мірою не розкриті й нині, слід відзначити неперевершену сталь для холодної зброї - "вутц" або "булат" (рис. 4.132). Навіть для виробництва славетної дамаської сталі первинне залізо надходило з Індії, причому в ньому містилося до 1% глинозему, кремнезему та вуглецю. На початку XIX ст. англійський учений Майкл Фарадей встановив склад індійських булатів, підтвердивши наявність домішок алюмінію та високий вміст вуглецю (1,3 - 1,7%), але опанувати технологію створення подібної сталі він не зміг. Ближче за інших підійшов до секретів булату видатний російський металург Павло Аносов. Його дослідження, проведені в Златоусті 1828 р., довели,



Рис. 4.130 - Індійська гармата. Малюнок XV ст.



Рис. 4.131 - Частина ствола славетної індійської гармати Малик-і-Майдан (1551 р.)

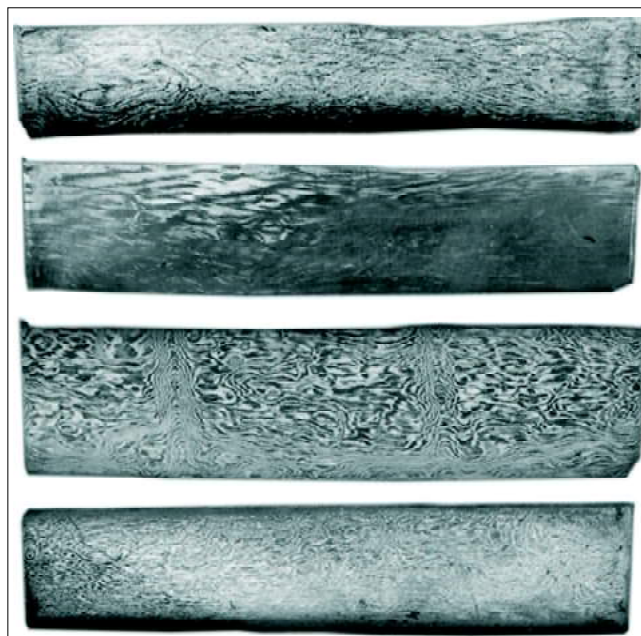


Рис. 4.132 - Індійський вутц - високоміцна візерунчаста сталь для холодної зброї

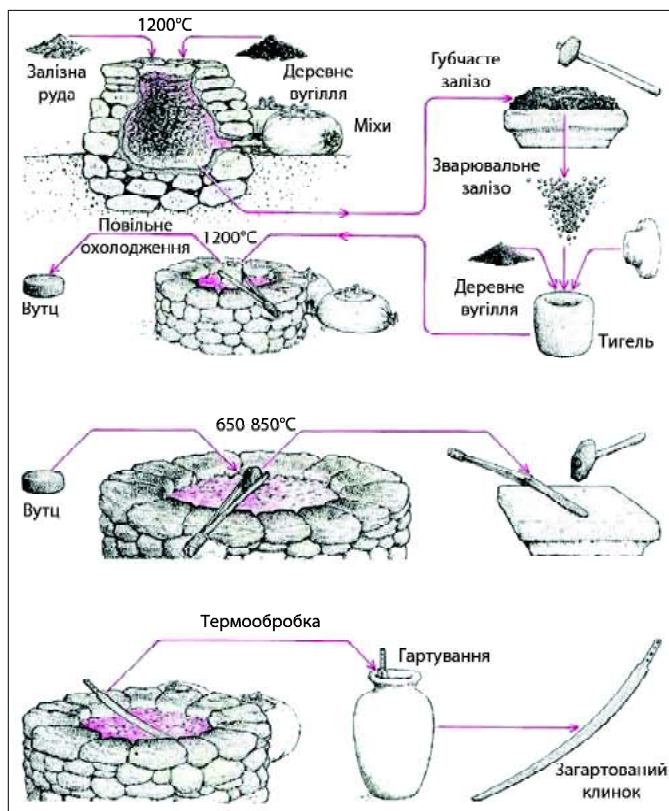


Рис. 4.133 - Технологія отримання "вутцу", віднайдена П. Аносовим



Рис. 4.134 - Давня залізна колона, встановлена поблизу мінарету мечеті Кутуб Мінар (Делі, Індія)

що властивості булату залежать від кількісного складу та способу введення вуглецю в залізо, а також від режимів охолодження, загартування та відпуску металу. Поставивши сотні дослідів, Аносов винайшов спосіб отримання булату в тиглях (рис. 4.133), зброя з якого не поступалася індійським, перським та сірійським аналогам. За праці з удосконалення гірничозаводської техніки і допомогу Луганському та Керченському металургійним заводам рада Харківського університету обрала П. Аносова почесним членом (1846 р.).

Секрет "вутцу" полягав ще й у тому, що метал був неоднорідним за складом: шари з високим вмістом вуглецю чергувалися із бідними на вуглець, більш пластичними шарами. Під час кування пластичні шари деформуються, а розриви та мікротріщини, що з'являються в зоні крихкого вуглецевого шару, відразу ж заварюються під тиском навколишнього пластичного металу. Такий шаруватий сталі властиві висока твердість (оскільки вуглецю в середньому багато), в'язкість та пружність. Через високу вартість булатної тигельної сталі, з неї виготовляли лише поодинокі вироби. Як зазначив Аносов: *"Дорожнеча робить цей спосіб непридатним для впровадження великими масштабами, але він ознайомлює зі способом давніх, і пояснює причину цінності досконалих азійських булатів"*.

Ще одним прикладом дивовижних успіхів індійських металургів можна вважати залізну колону на території мечеті Кутуб Мінар у Старому Делі (рис. 4.134). Спочатку вона була встановлена в храмі індуїстського бога Вішну в Удайагурі (Центральна Індія), а в Делі перевезена вже пізніше, в XIII ст. Оригінальний напис на металі свідчить, що колона була виготовлена в часи правління Чандрагупти II (376 - 415 рр.), імператора династії Гуптів. Висота колони - 7,25 м, діаметр у нижній частині - 41 см, а з верхнього капітелеподібного краю - 30 см, вага - більше 6 т. Винятковим явищем є те, що метал колони не підлягає корозії. Вважають, що колона була виготовлена методом ковальського зварювання. Вона складається з майже чистого заліза (99,7 %), а за вмістом вуглецю (0,08%)

приблизно відповідає складу низьковуглецевої сталі. За іншою версією - колону було викувано з метеоритного заліза.

Починаючи з VIII ст., налагоджуються плідні торговельні відносини між Китаєм, Індією та **Арабським Халіфатом**. Китайська алхімія проникає в арабські країни, вже збагачені знаннями захопленого Халіфатом Єгипту та інших давніх культур. Високий культурний та науковий (алхімічний) рівень арабських учених дозволив їм доволі швидко опанувати секрети китайської та індійської металургії й навіть розвинути їх. Високоміцна холодна зброя з литої мережчатої (плойчатої) сталі, яку виробляли араби, мала широкий попит. Її виробництво ґрунтувалось на фізичних властивостях чавуну та заліза плавитися за різних температур (температура плавлення чавуну - близько 1200°C, чистого заліза - більше 1500°C). Аль-Біруні так описував ці технології: *"Сталь буває двох сортів: перший, коли в тиглі однаковим плавленням стоплюються "нармохан" (залізо - авт.) і його "вода" (чавун - авт.). Вони обидва з'єднуються так, що не відрізняються один від одного. Така сталь підходить для терпугів і їм подібних. Другий сорт отримують, коли в тиглі вказані речовини плавляться неоднаково й між ними не виникає повного змішання. Окремі їх частинки розміщуються впереміш, але при цьому кожна з них помітна за особливим відтінком. Називається це "фаранд", і в мечях він високо цінується"*. Міцність і одночасно гнучкість мечів і шабель з "фаранду" пояснюється чергуванням фрагментів дуже твердої й крихкої надвуглецевої сталі з фрагментами в'язкого й м'якого металу.

216

Славетна дамаська сталь, яка була гордістю арабських зброярів значною мірою повторювала технологію індійського "вутцу". Її отримували ковальським зварюванням пластин різних вуглецевих сталей з чавуном і чистим кричним залізом. Такий "пакет" нагрівали в горні, посипаючи флюсом і доводячи до білого розжарення, після чого проковували, розрубували на частини, складали один на один й зварювали знов. Ці операції проводили багаторазово, утворюючи велику кількість шарів (волокон) металу з різними властивостями. Чим більше таких шарів, тим більша загальна товщина зміцненого граничного шару. Значна міцність забезпечувалась також "ефектом тросу": як розрив одного з сотень волокон не призводить до розриву тросу в цілому, так само і в дамаській сталі поява мікротріщини перерізає лише один сталевий шар і "згасає" в м'якому залізному прошарку. Тому найкраща дамаська зброя вражала своїми міцнісними якостями.

У XI - XII ст. завойована арабами частина Піренейського півострова (**Кордовський Халіфат**) стає найбільш розвинутою в культурному й технологічному відношенні частиною світу. Саме тут проходить найбільш напружене протистояння (і, одночасно, взаємодія, культурний обмін) між мусульманським та християнським світом. Реконкіста (відвоювання Іспанії), поруч з Хрестовими походами на Близький Схід і опором Візантії мусульманам стають основними напрямками зіткнення цивілізацій Заходу і Сходу. Значну роль у цьому протистоянні відіграла вогнепальна зброя. Одним з перших її прототипів можна вважати "грецький вогонь" - запальну суміш на основі нафти, яку візантійці, починаючи з 673 р., застосовували у війнах з арабами (здебільшого в морських баталіях). "Грецький вогонь" вивергали через сифон (мідну трубу) за допомогою міхів, причому далекобійність сифонів сягала 20 - 25 м (рис. 4.135).



Рис. 4.135 - "Грецький вогонь". Мініатюра мадридського списку "Хроніки" Іоанна Скилиці (XI ст.)

Перша письмова згадка про порохову вогнепальну зброю датується 1118 р., коли маври використали її під час облоги Сарагоси. Слід відзначити, що ця згадка передує першим даним про вогнепальну зброю в Китаї (1132р.). Більш того, якщо тогочасна китайська зброя ("хоцян") мала бамбуковий ствол й лише пороховий заряд (з часом доповнений картеччу), то арабська зброя ("модфа") оснащувалась залізною трубкою невеликого діаметра, закріпленою на дерев'яному держаку, й мала можливість вистрілювати свинцеву кулю. Перше надійне свідчення про використання маврами важкої вогнепальної зброї (артилерії) датується 1262 р., коли кастильський король Альфонс X взяв у облогу місто Пуебло. Хроніст писав, що, відбиваючи атаки іспанців, маври стріляли із залізних гармат "з громом, шумом, великою швидкістю й такою руйнівною силою, яка раніше не була відома". Успіхи іспанського рицарства супроводжувались захопленнями трофейної зброї та опануванням артилерійським мистецтвом. Таким чином, перші гармати з'явилися в арміях іспанських королів, причому порох для них доводилося захоплювати (або таємно купувати) у ворогів. Уже 1308р. іспанці обстрілювали з гармат стіни Гібралтару.

1314 р. іспанські гармати з'явилися в Бургундському герцогстві (зокрема, на території Бельгії), а в середині XIV ст. зразки нової зброї розповсюджуються майже всією Європою. З 1394р. гармати з'являються на кріпосних стінах Львова, а в 1468 р. тут з'явилася ливарня, яка постачала гармати на територію всього Литовсько-Руського князівства (рис. 4.136). 1475р. засновано "Пушкарський двір" у Москві, на якому 1586 р. була відлита одна з найбільших бронзових гармат свого часу, так звана

"Цар-пушка" (рис. 4.137), що ніколи не брала участі в бойових діях.

Тривалий час християнська церква стримувала пошуки й розробки вибухових сумішей, розуміючи який небачений "врожай смерті" стоїть за використанням цього винаходу. Недаром Сервантес вклав у уста Дон Кіхота знаменні слова: *"Блаженні то були часи, коли люди ще не знали тих джерелатих, огнедихатих потвор, що ригають сатанинською люттю! Той, хто вигадав гармати, непомалу, мабуть, нагороду приймає в пеклі за диявольський свій винахід, що з його допомогою якась підла й боягузна рука може вкоротити віку мужньому рицареві..."*. Під тиском наявних обставин (оснащення армії реконкісти вогнестрільною зброєю й нестримне розповсюдження гармат) церква "забуває" свою заборону пороху й



Рис. 4.136 - Артилерія Литовсько-Руської держави гетьмана Костянтина Острозького в переможній битві під Оршею (1514 р.). Фрагмент картини невідомого автора XVI ст.

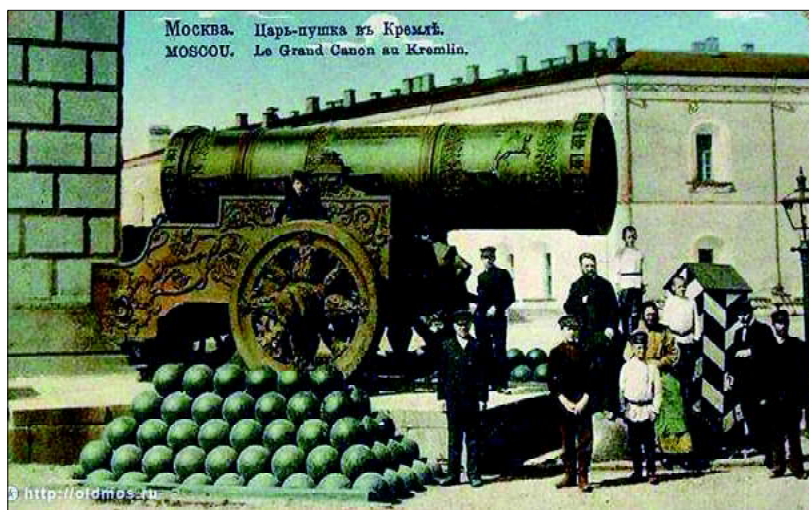


Рис. 4.137 - "Цар-пушка" в московському кремлі. Світлина другої половини XIX ст.

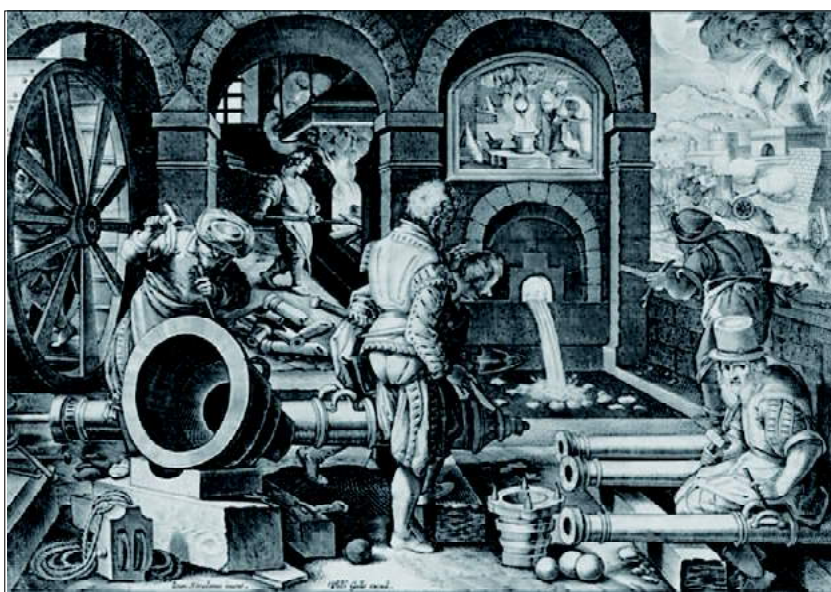


Рис. 4.138 - Відливання гарматних стволів у середньовічній майстерні

1320 р. офіційно приймає рецепт вибухової суміші ченця-францисканця Бертольда Шварца¹. Місцем відкриття пороху оголошено німецький Фрайбург. З цього часу починається "дозволене" вдосконалення вогнепальної зброї (рис. 4.138) та технологій її виготовлення.

Перші європейські гармати виготовляли з ковкого кричного заліза. Зазвичай, залізні листи згортали в трубку й зварювали гарячим куванням або свинцевим припоєм. Великокаліберні гармати викувували з сотень зварених разом залізних штаб. Хоча стволи зміцнювали кількома залізними або мідними обручами, їх часто розривало під час пострілів. Річ у тім, що під час пострілу ствол на якусь мить "роздувається", а після виходу набою знов набуває первинної форми; саме цього "роздуття" й не витримували зварні шви. На рубежі XIV - XV ст. перейшли від кування стволів до ливарних технологій. Цьому передував винахід особливого сплаву гарматної бронзи (вміст олова від 7 до 11%), яка відрізнялася міцністю, в'язкістю та пластичністю. Технологія лиття стволів була швидко освоєна металургами, оскільки ливарне мистецтво було вже поширене на більш складні форми церковних дзвонів. Литво відкрило нові можливості не тільки для підвищення якості й поточності виробництва гармат, але й для виготовлення стволів великих калібрів. Яскравим прикладом успішного

¹ Не виключено, що відкриття пороху лише приписано міфічному Бертольду Шварцу, а справжній винахід - справа рук окремих алхіміків та ченців, серед яких найбільш наблизився до розгадки пороху монах ордену францисканців Роджер Бекон, що провів численні вдалі експерименти ще 1242 р.

застосування такої зброї є 12 гігантських бомбард, відлитих з бронзи угорським майстром Урбаном, які турецький султан Мехмед Завойовник використав під час облоги Константинополя 1453 р. Довжина гарматних стволів цих бомбард сягала 12 м, діаметр - 93 см, вага - 32 т.

Майже до XVII ст. бронза залишається головним металом артилерії, а видобуток міді й олова - пріоритетним напрямком розвитку гірництва. Потреба цих металів ще більш посилюється, коли поруч з фортифікаційною й польовою артилерією вітрильні морські судна почали оснащувати численними важкими гарматами (рис. 4.139). Про масштаби застосування корабельної артилерії у XVI ст. можна судити з чисельності

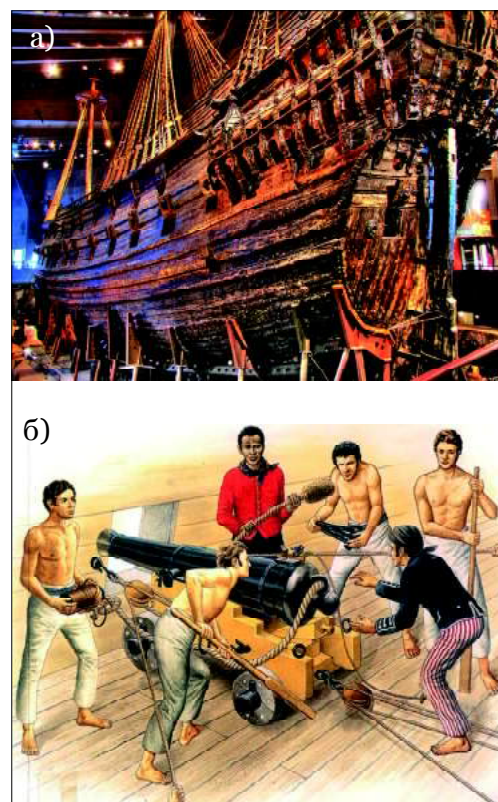


Рис. 4.139 - Іспанський галеон з артилерійським озброєнням:
а - оригінальне давнє судно;
б - розміщення гармати та її обслуги



Рис. 4.140 - Бій Іспанської армади з англійським флотом.
Картина невідомого автора англійської школи XVI ст.

Іспанської армади (рис. 4.140), яка в битві з англійським флотом у Ла-Манші нараховувала 130 важких кораблів, оснащених 2430 бронзовими гарматами, й мала запас 124 тис. чавунних ядер. Подібні флоти мали Англія, Італія, Туреччина й деякі інші країни. Вже в епоху середньовіччя "гонка озброєнь" стає основним стимулом гірничо-металургійного розвитку провідних європейських країн. Примітно, що гармаші середньовіччя не входили до складу регулярного війська й становили особливу відокремлену касту, яка пильно охороняла таємниці свого фаху.

Перші чавуноливарні технології та їх розвиток. Переділ чавуну на ковче залізо

Виготовлення гарматних ядер стало ще одним рушієм металургійних технологій. Наприкінці XIV ст. кам'яні ядра починають витіснятися залізними. Їх викувували з цільної криці на спеціальних ковадлах, після чого загладжували метал точилом. Використання залізних ядер не тільки значно підняло попит на цей метал, але й змусило металургів збільшити розміри печей для отримання криці великих розмірів (вага криці зростає з 40 - 80 кг до 120 - 200 кг). Для подавання необхідної кількості повітря почали використовувати водяні колеса, що були рушіями повітродувних міхів (рис. 4.141), підвищилась висота горна (рис. 4.142). При цьому

змінювалися умови плавильного процесу: у горішній його частині температура знизилась до 750 - 900°C, що дозволило залізній руді відновлюватися раніше, ніж утворювався шлак (завдяки чому кричне залізо сильніше науглецьовувалось, втрати металу в шлакові зменшувались), а в нижній частині печі температура під впливом підсиленого дугтя збільшувалася до 1350° С і замість кричного заліза утворювався розплав заліза з вуглецем - чавун. Його рідкий стан сам по собі підказував практичне застосування чавуну у вигляді відливок. Гарматні ядра на тривалий час (понад 400 років) стали основним споживачем чавуну.

Перший європейський чавун з'я-

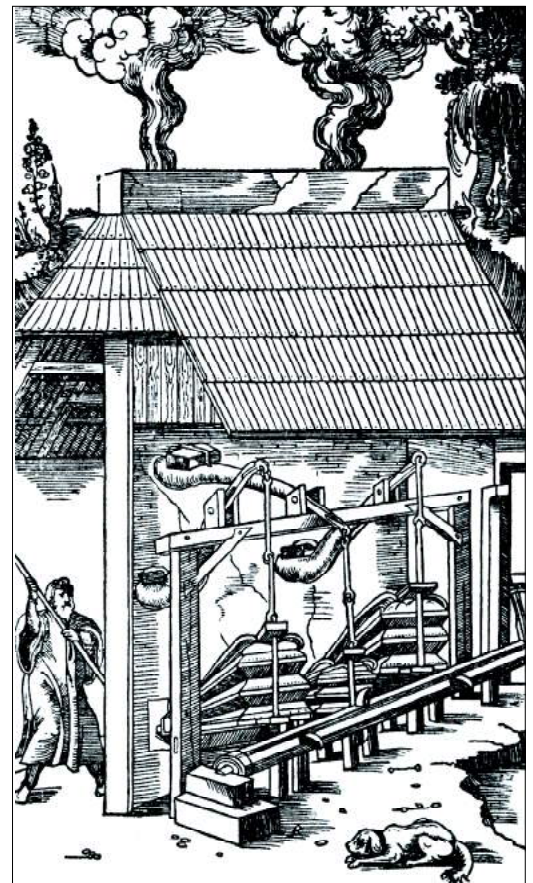


Рис. 4.141 - Повітродувні міхи з приводом від водного колеса (за Г. Агріколою)



Рис. 4.142 - Середньовічні домниці (за Г. Льохнейсом)

вився на теренах Священної Римської імперії в другій половині XIV ст., майже одночасно в австрійській Штирії та Північній Італії (перша письмова згадка з рудників Штирії датована 1370 р). Становлення промислових чавуноливарних технологій відбувалося у XV -XVI ст., причому металургійні осередки Центральної Європи конкурували з англійськими та шведськими центрами виробництва заліза, що значною мірою було зумовлено релігійним і військово-політичним протистоянням католицьких і протестантських громад.

Значним внеском у звеличення Англії, у перемоги її армії та флоту стало освоєння технології чавунної відливки гарматних стволів. Спроби створити гармати з чавуну

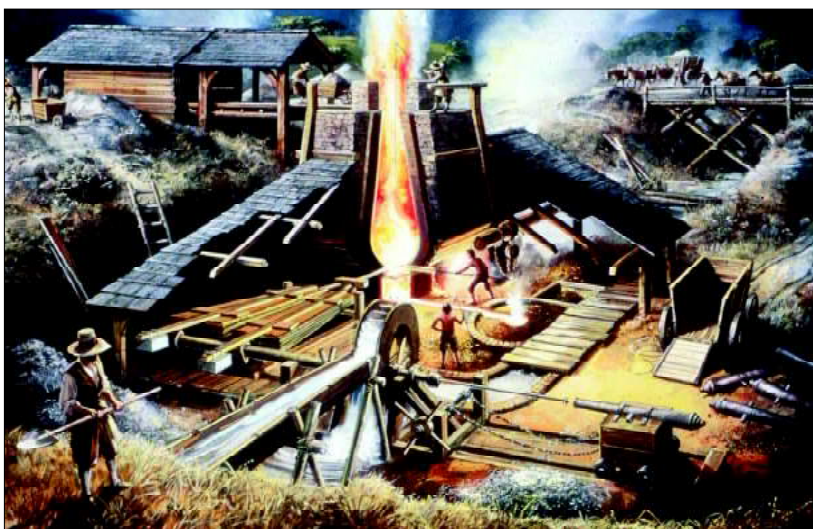


Рис. 4.143 - Англійська доменна піч пізнього середньовіччя, відливання чавунних гармат і висвердлювання гарматних стволів

розпочалися в Європі ще в XIV ст., але жоден чавунний ствол не витримав першого ж пострілу. Причинами цього були невідповідний склад залізних руд, помилковий режим витоплення чавуну й лиття ствола, дефекти відлитого металу. Перший успішний досвід отримано в німецькому Зігені 1445 р., але тільки для невеликих ручних гармат. Основна заслуга у відкритті секретів чавунної відливки належить французькому ливарнику П'єру Боду, якого англійський король Генріх VIII запросив керувати великою програмою переозброєнь, що була розпочата в Англії 1541 р.

Після двох років експериментів у м. Бакстеді (графство Суссекс) була виготовлена суцільнолита чавунна гармата, яка повністю відповідала вимогам артилерійської техніки. На відміну від бронзових гармат, ливарна форма яких передбачала стволовий отвір, стволи чавунних були суцільнолиті й їх висвердлювали за допомогою водних коліс (рис. 4.143). За короткий час Генріх VIII створив найпотужніший у Європі артилерійський арсенал, про який венеційський посланець в Англії написав: "Король Генріх володіє таким арсеналом, що може перемогти саме пекло". У другій половині XVI ст. Англія та Швеція розпочали виготовлення важкої корабельної та фортифікаційної артилерії з чавуну (легкі гармати залишалися здебільшого бронзовими), причому чавунні гармати продовжували виробляти до середини XIX ст. Більш дешеві (порівняно з бронзовими), технологічні у виготовленні та ефективні в бойових діях чавунні гармати принесли відомі перемоги англійській та шведській арміям.

Важливим технологічним досягненням пізнього середньовіччя став



Рис. 4.144 - Й. Патінір "Пейзаж з доменною піччю й кричним горном" (1520 р.)



Рис. 4.145 - Я. Брейгель "Плавлення заліза поблизу Сельви" (1600 р.)

двоступеневий спосіб витоплення металу. Оскільки чавун був крихким і кувати його не можна було (крім гармат і ядер, з чавуну майже нічого не виготовляли), то його пускали на вторинне переплавлення (іноді разом з рудою), називаючи цей процес *"оздоровленням металу"*. При цьому виявили, що переділ чавуну на ковке залізо потребував менших витрат деревного вугілля та руди, а отриманий метал мав більш високу якість. Таким чином утворились дві стадії виробництва заліза: спочатку отримували чавун (*доменний процес*), а потім, за вторинного переплавлення його в горні, одержували ковке залізо (*процес кричного переділу*). Це

дозволило суттєво збільшити обсяги виробництва заліза, особливо в зв'язку із вдосконаленням конструкцій доменних печей (рис. 4.144, 4.145). Очевидно, що секрети ковкого заліза на межі XVII й XVIII ст. поширились на більшу частину Європи, зокрема на територію України. Так Гетьман Іван Мазепа 1701р. вимагає від Неданчицької рудні: *"...щороку з тої рудні до скарбу військового давати дванадцять візків заліза доброго гнучкого..."*.

Основні європейські осередки видобутку міді та заліза

Видобуток міді в епоху середньовіччя зосереджувався в Європі, переважно на землях Священної Римської імперії, а також в Іспанії (поліметалічне родовище Ріо Тінто) та Швеції (рудник Коппарберг). Найбільш продуктивні копальні розташовувались у Центральній Європі (див. рис. 4.22), зокрема в Нижньому Гарці (позиція А: Гослар, Раммельсберг); у Мансфельді (позиція С: Мансфельд, Айслебен); в Тюрингії (позиція D: Купферберг, Камсдорф, Ільменау); у Фогтланді (позиція F: Ольснітц, Доцкельберг); у Тіролі й Зальцкамергуті (позиція G: Кітцбюхель, Міттельберг); у чеських Рудних Горах (позиція H: Мідінець, Красліце, Шпаня Долина); у Верхній Словаччині (позиція R: Гельниця, Смольник, рис. 4.146); у Нижній Сілезії (позиція U: Медзянка, Злоторія); у Свентокшиському воєводстві Польщі (позиція W: Медзяна Гура). Стисло зупинимось на історії найбільш показових німецьких та шведських рудників.

Одним із найбільш потужних мідних родовищ Європи були **Мансфельдські поклади** мідистих сланців та пісковиків, які розташовувались у південно-східній частині гірського масиву Гарца між Гет-



Рис. 4.146 - Словацький мідний рудник XVII ст.

тштедтом і Айслебеном (Східна Німеччина). Основні руди представлені мідним колчеданом та строкатою мідною рудою. Видобуток міді було розпочато тут "білими ченцями" (цистерціанцями) у XII ст., що зафіксовано у монастирських хроніках 1199 р. 1215 р. ці землі й монополне право на розробку місцевих руд отримав від імператора Карла IV шляхетський рід Мансфельдів, резиденцією яких став центр гірничого промислу місто Мансфельд (рис. 4.147). У XIV ст. вельможні графи залучили до видобутку мідних руд численні артілі гірників, що привело до виникнення десятків невеликих рудників (рис. 4.148).

Завдяки пологому заляганню й високому ступеню оруднення покладів, які були близько до поверхні, видобуток міді в початковий період швидко зростав і досяг наприкінці XV ст. близько 2 тис. т на рік (в подальшому -



Рис. 4.148 - Середньовічні розробки міді.
Ілюстрація з "Книги монет і мінералів" А. Руффа (1594 р.)



Рис. 4.147 - Мансфельд - місто рудокопів, металургів і "вельможних графів"

дещо знизився). Кооперація гірників, заготівельників деревного вугілля та металургів, а також спільна боротьба з водопритокама та налагодження вентиляції рудень привели до об'єднання дрібних виробництв (рис. 4.149), аж до утворення в середині XIX ст. єдиної мідної компанії.

Пологий мідистий пласт Мансфельдського родовища відрізнявся значною чистотою міді, яка була добре відома й вельми цінувалася на ринках Європи, проте умови розробки були досить складні. Продуктивна товщина пласта становила лише від 7 до 17 см, хоча його простягання сягало кількох десятків кілометрів. Уся мідь, що вміщувалася в пласті, могла бути представлена у вигляді тонкого мідного пропластка товщиною приблизно 1 мм. Щорічно від цього пропластка гірничими роботами відділялась площа від 1 до 1,5 км². Чисельність гірників при цьому доходила до 10 - 13 тис. осіб. Розробку пласта вели системою суцільного виймання. Через малу товщину пласта доводилось підробляти частину покрівлі, щоб надати експлуатаційній виробці мінімально допустимого висоту, за якої гірники могли б у ній працювати.

Виконуючи відбійні роботи шахтар працював зазвичай лежачи на лівому боці (рис. 4.150-а), причому,



Рис. 4.149 - Х. де Блес "Мідний рудник" (XVI ст.)

коли подошва пласта була заводнена, під ногу й руку робітника підкладали й прив'язували дерев'яні дошки. Породи руйнували кайлом, формуючи спершу врубову порожнину, а потім обрушуючи пачку порід над нею (рис. 4.150-б). Простір виробки позаду вибою закладали пустою породою. Розробка рухалась горизонтальними смугами від стовбура вглибину рудного поля. Відкотні штреки мали діагональний напрямок і підтримувалися кам'яним кріпленням із блоків породи укладених насухо. Руду

а)

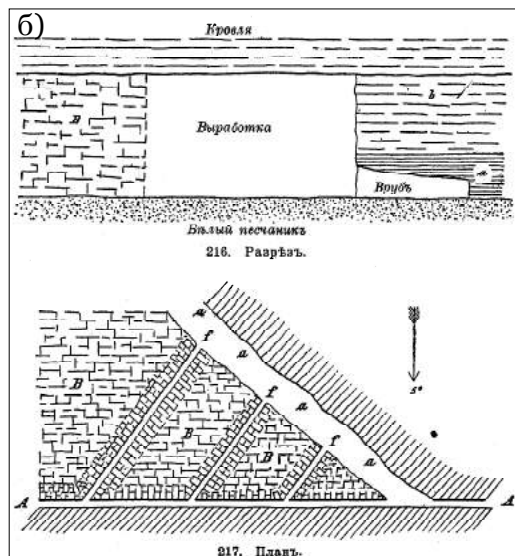


Рис. 4.150 - Гірничі роботи на мансфельдських рудниках;
а - формування врубової порожнини;
б - схема суцільного діагонального виймання міденосного пласта

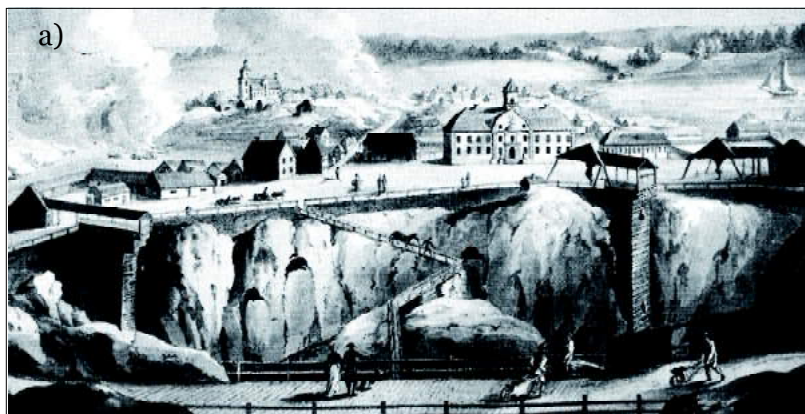
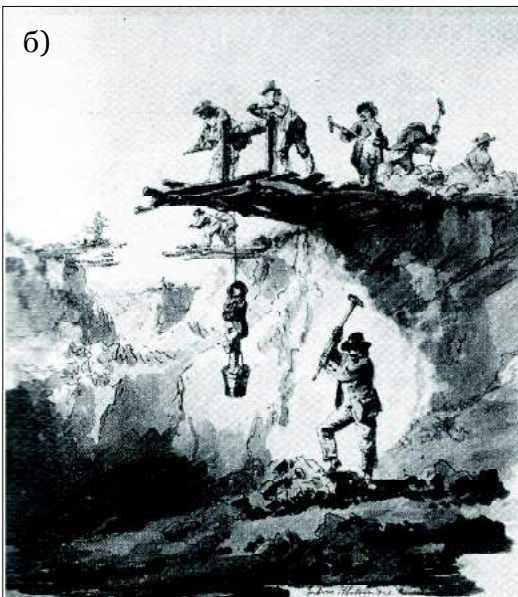


Рис. 4.151 - Мідний рудник Стура-Коппарберг у XIX ст.:
а - картина Й. Мартіна; б - малюнок П. Хіллестрьома



транспортували волокушами до головного відкотного штреку, а далі - кінною відкаткою. Водовідлив забезпечували штольнями, розташованими нижче робочих горизонтів (протяжність штولень сягала в окремих випадках 13 км). Розробка родовища тривала з XII до XX ст. і була призупинена лише у XVII ст. на період Тридцятирічної війни, за наслідками якої Мансфельдські рудники відійшли Пруссії.

Видатною пам'яткою середньовічного гірництва Швеції є мідний рудник **Стура-Коппарберг** ("Велика мідна гора"), який розташований поблизу міста Фалун (провінція Бергслаген). Це багате родовище почали розробляти наприкінці епохи вікінгів і експлуатували до другої половини XX ст. (рис. рис. 4.151). Перші письмові згадки про гірничі роботи в Фалуні належать до XIII ст. Зберігся акт від 1288 р. (рис. 4.152), у якому під-



Рис. 4.152 - Правовий акт XIII ст. на володіння частиною мідної гори Коппарберг



Рис. 4.153 - Сучасна світлина так званої "Великої ями в Фалуні"

тверджується право єпископа П. Вастераса володіння однією восьмою частиною Мідної гори (документ містить печатки короля й восьми єпископів). 1347 р. король Еріксон Великий (Магнус Еріксон) видав гірничий закон, у якому докладно було розглянуто права й обов'язки гірників і власників Мідної гори. Значною мірою завдяки Коппарбергу Швеція в середині XVII ст. стала основним постачальником міді, даючи 2/3 обсягу європейського видобутку. У цей час на руднику працювало більше тисячі

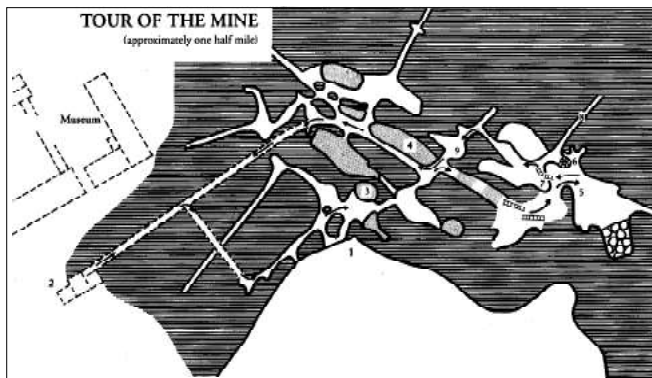


Рис. 4.154 - Схема підземної частини фалунського рудника (виробки, що збереглися й доступні відвідувачам копальні-музею)

осіб, приблизно стільки ж було на допоміжних роботах і на витопленні міді, причому численні металургійні печі розташовувались по периметру Мідної гори. Поселенням, зосередженим поряд з рудником, 1641 р. було надано статус гірничого міста, число мешканців якого становило 6 тис. осіб (значною мірою це були німецькі гірники, що переселилися в Фалун під час релігійних війн).

До XVII ст. розробка велась відкритим способом, причому настільки інтенсивно, що на місці гірського масиву утворився величезний кар'єр (рис. 4.153). Пізніше в боках цього котловану почали споруджувати підземні виробки, значна частина яких представлена величезними камерами, що повторювали форму рудних тіл (рис. 4.154, 4.155). Сьогодні у Фалуні створено відомий музей гірництва, причому давні виробки підтримуються в автентичному стані й утворюють підземну туристичну трасу старого рудника. Дотепер користуються популярністю романтичні оповідання німецьких класиків І. Хебеля "Гірник з Фалуна" та Е. Гофмана "Фалунські копальні", які пов'язані з Великою мідною горою.

Осередки видобутку заліза в середньовічній Європі були більш поширені, ніж розробки міді, завдяки численным луговим та озерним (болотним) покладам бурих залізняків, які видобували відкритим способом, або черпанням донного озерного мулу із зернами руди. Видобуток бурого залізняку був розповсюджений на широкій смузі **Північної Європи**, зокрема в Скандинавії та Британії. З давніх часів озерні та болотні руди використовувало населення східної та північної

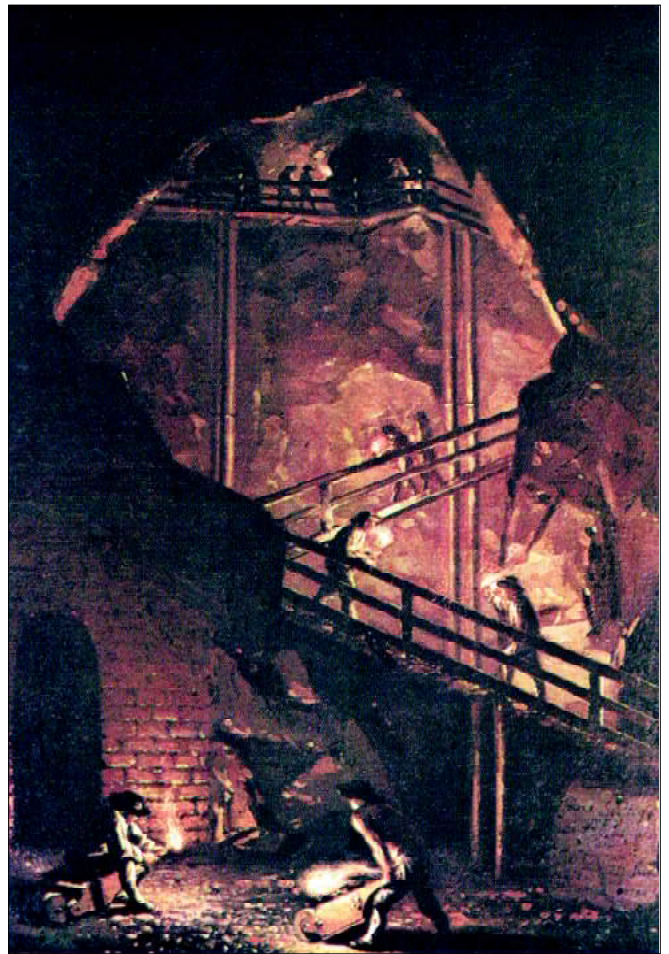


Рис. 4.155 - Гірничі роботи у виробках камерного типу (рудник Коппарберг). Картина П. Хілlestрьома

Фінляндії, причому способи черпання руд не мінялися протягом багатьох сторіч (рис. 4.156). Про виробництво заліза кількаразово згадується в давніх карело-фінських рунах, які увійшли до славетного епосу "Калевала". Видобуток руди здійснював легендарний коваль Ілмарінен (рис. 4.157):

*"З чорних вод, із драговини
Витяг він руду заліза
І на кузню враз доставив
Прямо в горн наш Ілмарінен".*

З часів раннього середньовіччя виробляли залізо з болотних і озерних відкладів на теренах **Швеції**. Основний осередок гірничо-металургійного промислу сформувався в південній провінції Смоланд. Саме цьому залізу завдячують славнозвісні військові успіхи вікінгів.

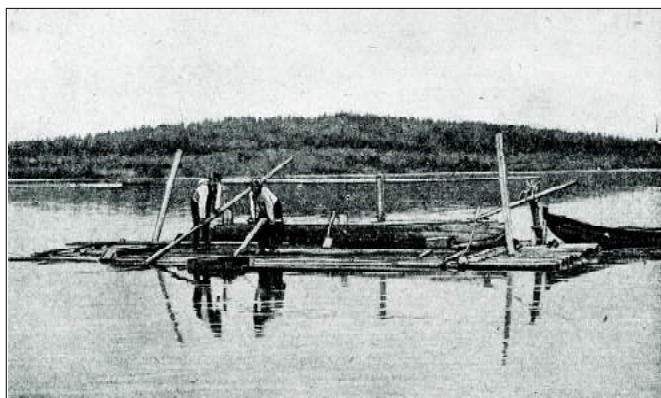


Рис. 4.156 - Видобуток озерних залізних руд у Фінляндії, технологія якого майже не змінилася протягом двох тисячоліть (світлина кінця XIX ст.)



Рис. 4.157 - А. Гален-Каллела "Ілмарінен біля плавильного горну" (за мотивами "Калевали")

Трохи пізніше (у XII ст.) виникло місто Кальмар, яке стало важливим пунктом торгівлі та експорту заліза. Центром металургійного виробництва був Таберг, де в XV - XVII ст. були освоєні нові методи плавлення й обробки заліза, запозичені в Німеччині та Англії. Ще два потужні центри підземної розробки заліза сформувалися в XII - XIII ст. на острові **Готланд** та в районі **Бергслеген** (Центральна Швеція). Тут шахтним способом видобували високоякісні магнетитові руди та залізисті кварцити. Відкрита розробка гірських масивів здійснювалась на родовищах Гелліфаар і Гренгесберг. Якість шведського заліза високо цінували на ринках Європи. Наприкінці XIV ст. експорт заліза із Стокгольма в Любек становив близько 900 т на рік, а наприкінці XV ст. - 1300 т.

Видобуток залізородних покладів осадового типу (здебільшого лугових руд бурого залізняку) мав поширення і у **Великобританії**. Найдавніші розробки заліза зафіксовані в **Форест-оф-Діні** (Південний Уельс). Після норманського завоювання країни (1066 р.) основні центри видобутку заліза зосередилися в Північному Уельсі (Флінтшир), в Північній та в Центральній Англії (Камберленд та ін.). Розробку вели відкритим способом, створюючи невеликі за розмірами кар'єри (рис. 4.158). Примітно, що в цих самих регіонах були багаті вугільні поклади, які залягали близько від поверхні землі. Видобуток кам'яного вугілля (невеликими кількостями) розпочали в Англії у XII ст. Розробку вели виробками у вигляді дзвоноподібних котлованів глибиною до 12 м. Вугілля видавали в кошиках, воду відводили підземною дренажною каналом. Кам'яне вугілля застосовували в кузнях і для побутових потреб (для витолення металів як і раніше використовували деревне вугілля). У XVI ст. до Англії були запрошені гірничі майстри й рудознавці з німецьких земель, які значною мірою покращили технології гірничих робіт, сприяли переходу до ефективних способів підземного видобутку руд і вугілля.

На лугових та болотних рудах бурого залізняку був заснований і широко розвинутий залізний промисел ранніх слов'ян півдня Східної Європи та **Київської Русі**. Багата спадщина скіфського світу, у тому числі його ремісничих

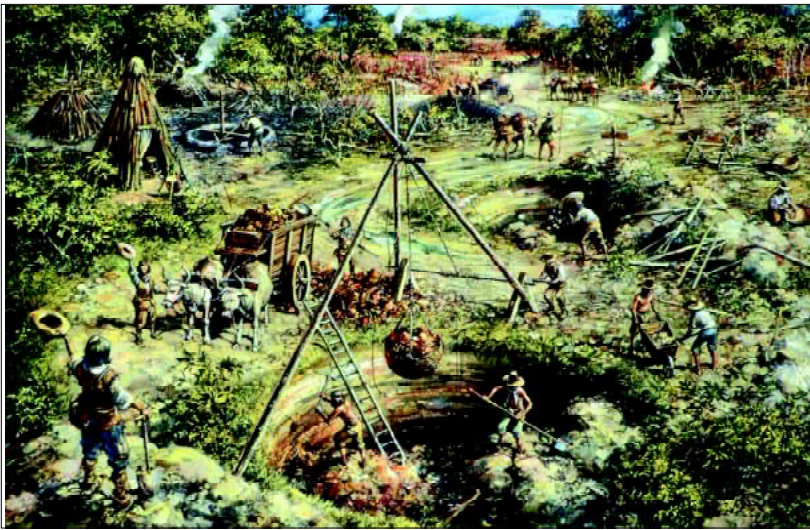


Рис. 4.158 - Кар'єрний видобуток залізної руди й заготовляння деревного вугілля в Англії XVII ст.

традицій, не могла не впливати на культуру племен, які наступної доби мешкали на цій території. Грунтовні археологічні дослідження пам'яток залізодобування, металургії та ковальського промислу на території України дозволяють стверджувати, що розвиток ранньослов'янської та киеворуської чорної металургії та металообробки мав під собою досить міцну технічну й технологічну базу, закладену ще в давньому світі. Слов'янські майстри опанували сиродутний спосіб виробництва заліза, вдосконалили різні типи металургійних печей (у тому числі - продуктивних горнів із шлаковипуском), оволоділи численними прийомами ковальської справи. Цьому

сприяла широка розповсюдженість лугових та болотних залізних руд українського лісостепу (Житомирщина, Чернігівщина, Київщина, Волинь, Подніпров'я, Овруцький кряж та ін.). Існували потужні залізодобувні центри, які були виявлені археологами на Райковецькому (Бердичів) та Ленковецькому (Чернівці) городищах, в Городеську, Плиснеську та ін. Масштаби цих розробок у пізньому середньовіччі свідчать про товарний характер залізодобувного виробництва.

Крім окремих потужних центрів видобутку руд, південно-східні слов'яни розвивали численні невеликі розробки поблизу своїх поселень, що задовольняли потреби мешканців одного селища або групи сіл. Здебільшого місцеві металурги самі займалися добуванням руди, її збагаченням, випалюванням деревного вугілля та обробкою виплавленого металу. Сталий розвиток металургії заліза Київської Русі з наявними періодами бурхливого розвитку дрібно-товарного виробництва залізних знарядь перервався за часів монгольського нашествия й почав відроджу-



Рис. 4.159 - Підземний видобуток залізної руди, виробництво деревного вугілля та заліза середньовічними германцями (за Г. Аґріколою)



Рис. 4.160 - Гірничо-металургійні роботи в Зігерланді, Вестфалія. Панно на металі, 1700 р.

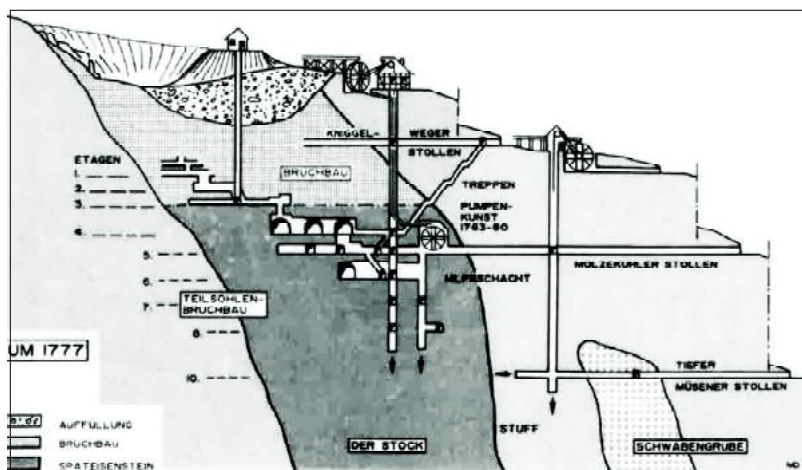


Рис. 4.162 - Схема розкриття родовища сидериту в Штальберзі (XVIII ст.)



Рис. 4.161 - Залишки давніх гірничих робіт у Зігерланді: а - сліди розробки залізних руд; б - відвали металургійних шлаків

ватись лише в XIV - XV ст., коли одним із найбільших осередків видобутку лугових та болотних залізних руд стає Житомирське Полісся.

Крім відкритих розробок легкодоступних руд бурого залізняку, значне поширення в Центральній Європі отримали підземні розробки магнетитових, гематитових, сидеритових руд. Високим залізоробним мистецтвом славилися гірники Священної Римської імперії, яку називали "країною заліза та сталі". Видобуток залізних руд підземним способом (рис. 4.159) здійснювали на землях Саксонії, Сілезії, Штирії, Гессена, Вюртемберга, Гарца, Зігерланду. Найбільш потужні центри видобутку заліза формувалися на базі розробки руд гірських масивів (видобуток магнетиту, сидериту, гематиту та інших мінералів).

Одним із найбільших залізодобувних центрів Німеччини став **Зігерланд**, Вестфалія (рис. 4.160). Це родовище розроблялось ще давніми германцями і було знов "відкрите" в XI ст. Об'єми середньовічних виробок і шлакових відвалів (рис. 4.161) свідчать про сотні тисяч металургійних витопів, здійснених гірниками цього району. Великої слави зажив рудник **Штальберг** ("Сталева Гора"), який розташовувався поблизу міста Мюзена. Перші письмові згадки про місцевий видобуток руд датовані 1313 р. Тут розробляли винятково багате родовище сидериту з домішками марганцю (рис. 4.162). Товщина крутоспадного покладу становила близько 30 м. Її розробляли шахтним способом зверху вниз на десяти ярусах загальною висотою 100 м. Споруджені в горі штольні (рис. 4.163) поєднували з вертикальними стовбурами (рис. 4.164). Від штолень через кожні 10 м в рудне тіло входили добувні штреки.

Особливе значення в історії чорної металургії мала **Штирія** (Південно-Східна Австрія). Кельти розробляли тут



Рис. 4.163 - Штольні Штальберга:
а - пізніє середньовіччя; б - ХVІІІ ст.



Рис. 4.164 - Відновлення
середньовічного стовбуру
на руднику Штальберг

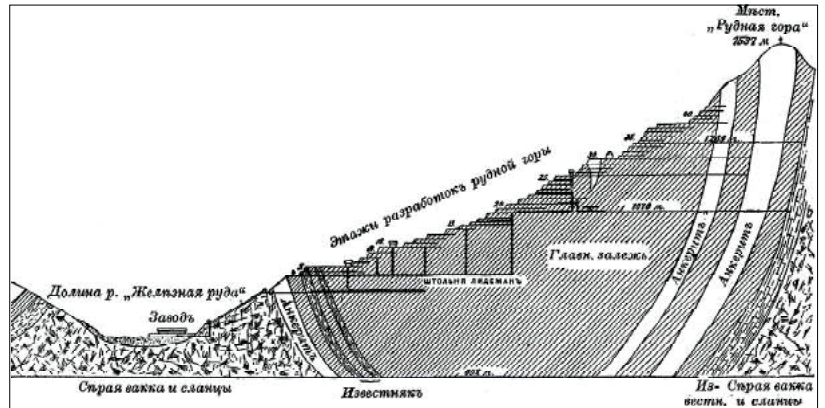


Рис. 4.165 - Переріз гори Ерцберг у Штирії (за В. Борхерсом)



Рис. 4.166 - Сучасні світліни багатівкової відкритої розробки
залізорудного родовища Ерцберг

залізо за кілька сторіч до Р.Х. Писемні джерела середньовіччя свідчать про відродження тут гірничого промислу на початку VIII ст., коли на території Штирії існувало слов'янське князівство Карантанія (державна словенців в басейні річки Мура і верхів'ях річки Драва в VII-XI ст.), яке пізніше увійшло до складу Баварії. Осередком видобутку стало велетенське родовище сидериту - гора **Ерцберг** ("Рудна Гора"), з боків якої розмістилися гірничі поселення Айзенерц ("Залізна Руда") та Дордернберг ("Передгір'я"). Поклади сидериту розташовувалися тут серед товщі силурійських сланців, що створювали широку й глибоку мульду між вершиною рудної гори (висотою 1537 м) і долиною ріки Айзенерц (рис. 4.165). По всьому схилу гори руда виходила на поверхню й розроблялася відкритим способом. Висота уступів становила 9 - 13 м, а їх кількість сягала 40 (рис. 4.166).

Одним із перших способів транспортування було доставляння руди в мішках, які укладали на полози, що були оснащені спереду однією парою коліс. Такий візок спускали крутими стежками, прокладеними схилами гори (рис. 4.167). У подальшому для транспортування руди до містечка Айзенерц в горі була споруджена спеціальна шахта. Видобута відкритим способом руда доставлялася до шахтних стовбурів, спускалася на нижні горизонти й



Рис. 4.167 - Транспортування залізної руди в мішках

спеціальними похилими виробками транспортувалася до залізобудівних заводів, що розташовувалися біля підніжжя гори Ерцберг.

Про те, що видобуток залізної руди був у середньовіччі головною справою місцевих мешканців, свідчать прапори міст, які імператор Фрідріх III 1453 р. подарував гірникам (рис. 4.168). На щиті одного із прапорів зображені основні знаряддя руйнуван-

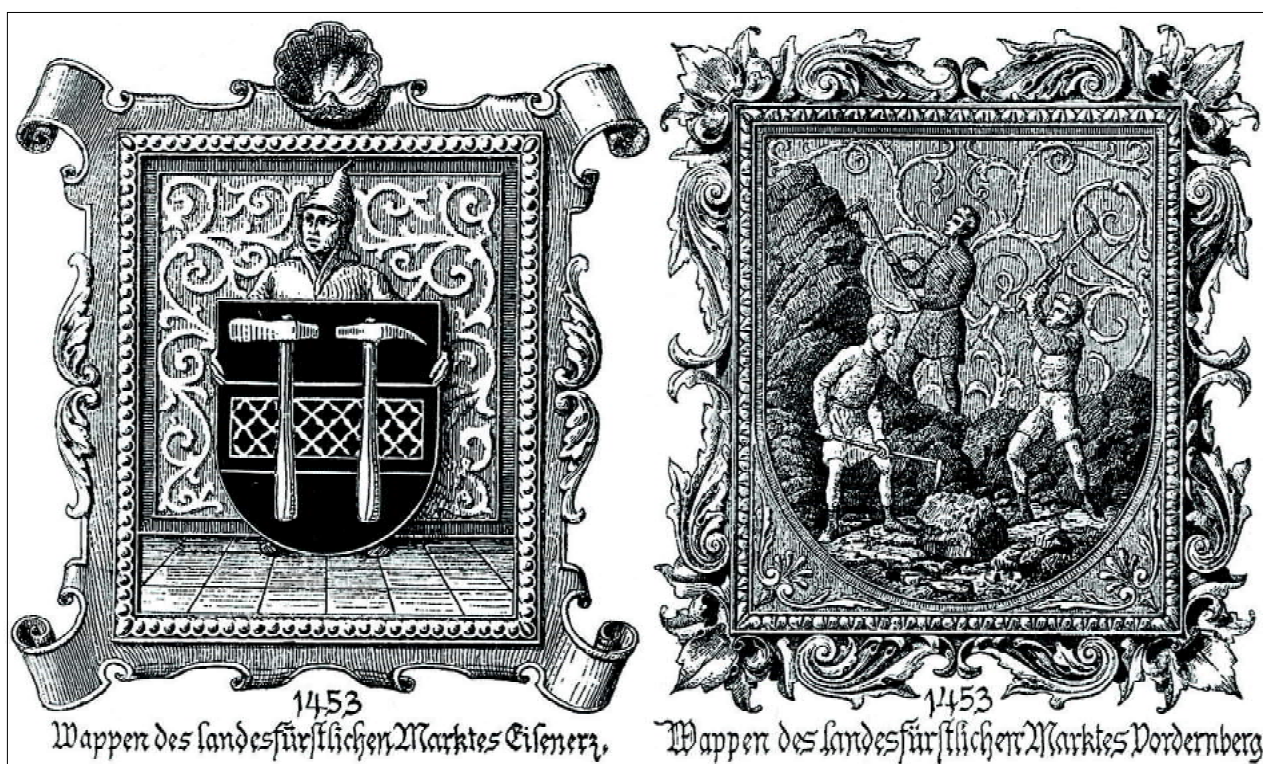


Рис. 4.168 - Прапори шахтарських міст "Залізна Руда" й "Передгір'я", розташованих поблизу підшви гори Ерцберг

ня гірських порід - гірничі молотки, а сам щит підтримує гірник у характерному робочому одязі. На іншому прапорі зображені трударі, які за допомогою кирки ведуть видобуток руд. Велику славу Ерцберга засвідчує поштова марка кінця 30-х років XX ст., що дістала поширення в Третньому Райху (рис. 4.169).

Залізо з Ерцберга доставлялось в **Леобен** (рис. 4.170), старовинний центр торгівлі металом, що розташовувався на торговому шляху венеціанців у Центральну Європу (сьогодні це австрійське місто відоме своїм гірничим університетом). З Леобену залізо розвозили до численних кузень (рис. 4.171), що розміщувалися на річках Мур і Мюрц, для виготовлення зброї та різноманітних знарядь праці. Залізні вироби Штирії довгий час мали великий попит і були добре відомі по всій Європі.

Таким чином, у середні віки видобуток виробничих металів, передовсім міді й заліза, стимулювався потребами та новими винаходами у військовій справі, зокрема винайденням і розвитком артилерії. Слід підкреслити непересічну роль у цій царині азійських країн, зокрема Китаю, Японії, Індії, Арабського Халіфату. У Європі видобуток міді



Рис. 4.169 - Поширена поштова марка Німецького Райху, що зображує ушлавлений рудник Ерцберг



Рис. 4.170 - Скульптура середньовічного гірника в Леобені - данина ролі гірництва в поступі міста

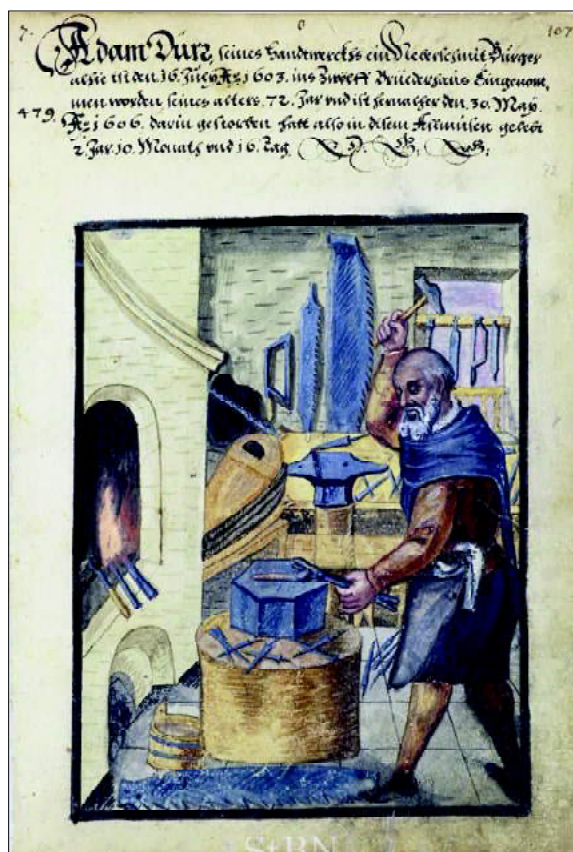


Рис. 4.171 - Середньовічна кузня. Ілюстрація з книги І. Менделя, 1606 р.

в епоху середньовіччя зосереджувався здебільшого на землях Священної Римської імперії, Швеції та Іспанії, тоді як залізорудний промисел на основі болотних та озерних руд територіально був більш поширеним. Суттєвим технологічним кроком технічного поступу стали перші чавуноливарні технології й переділ

чавуну в ковче залізо. Загалом, ті країни, які мали в достатній кількості свою мідь і залізо, як правило, розвивалися більш прискорено, мали значну військову потугу, багаті експортні можливості й вагомий політичний вплив, що сприяло особливому ставленню можновладців до розвитку гірництва й металургії, надавало правові привілеї спільнотам гірників.

4.3 Солевидобуток

Видобування і використання розсолу

Важко переоцінити корисні властивості солі (хлористого натрію) для здоров'я людини. Її використання почалося за часів мезоліту і було пов'язане з переходом до осілого способу життя (з VII тис. до Р.Х.), що суттєво змінило сольовий баланс організму рільників і призвело до необхідності додавання природної солі в традиційну їжу. Крім того, засолені харчі (м'ясо, риба, овочі) завдяки пригнічуванню хлористим натрієм гнилісних бактерій змогли довго зберігатись, що дозволяло розподіляти продукти на певний час. Консервувальні властивості солі були особливо важливі в умовах військових походів та мореплавства.

Найбільш імовірно, що перше знайомство людини з сіллю відбулося на узбережжі теплих морів, де на мілководді морська вода інтенсивно випаровувалась під дією високих атмосферних температур і вітру, а в осаді накопичувалась сіль. Спосіб природного солеутворення на мілководних "соляних полях" широко використовували протягом тисячоліть, аж до нашого часу. Для прискорення процесу готували спеціальні прибережні басейни (відстійники) з можливістю відведення поверхневих вод і випарювання води з тонкого шару розсолу під дією сонячного тепла (рис. 4.172, 4.173).

Іноді, шукаючи підземні води люди натрапляли на соляні джерела (розсоли), з яких навчилися вилучати сіль. Природа солоності подібних джерел і, навіть озер пояснюється контактами артезіанських вод з покладами кам'яної солі або наявністю підземного поховання вод давніх

"Сіль була народжена найшляхетнішими батьками: сонцем і морем".

Піфагор.

морських басейнів (словами Плутарха: *"нібито тут скупчились рештки давнього моря"*). Визнаними майстрами розвідок соляних джерел і промислового солеваріння були кельти, яких римляни називали галлами, підкреслюючи цим їхню масову належність до соляного промислу (сіль¹ мовою кельтів - "hall"). Значна кількість географічних топонімів на карті Європи, де розміщувалися колишні кельтські розробки солі та промисли солеваріння, також зберегли цей корінь (зокрема, Галичина).



Рис. 4.172 - "Соляні поля" в Іспанії (Олмеда) на початку XX ст. Подібні технології використовували протягом тисячоліть

¹ Українське слово "сіль" походить від латинської назви солі "sal". Прикметно, що латинське слово "salarium" - соляна норма, яку видавали в Давньому Римі, перейшла у "salar" - заробітна плата, що свідчить про використання солі як товарного еквівалента.

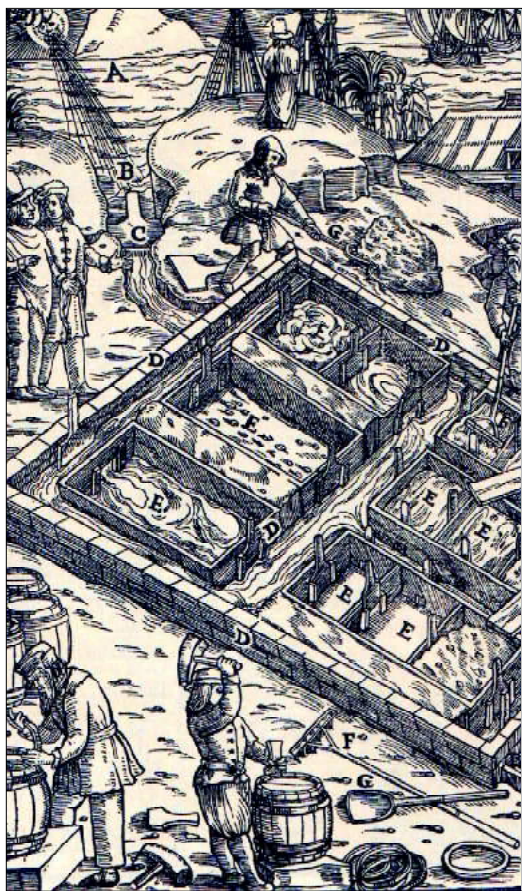


Рис. 4.173 - Штучний солончак: А - море, В - лагуна, С - шлюз, D - відвідні канали, Е - відстійники, F - граблі, G - лопата (за Г. Агріколою)



Рис. 4.174 - Випарювання соляного розчину: А - котли, В - триножник, С - черпак (за Г. Агріколою)

Археологічні розкопки поселень кельтів, що розташовувались поблизу соляних джерел, свідчать що вони будували цегляні солеварні оснащені риштуванням, на якому розміщували кам'яні плити. Під плитами підтримували вогонь, а їх поверхню поливали розсолем. Після кристалізації достатньої кількості солі її зішкрібали й повторювали процес випарювання. Непридатні для подальшого використання плити (які часто розтріскувались від термічних впливів) складали поблизу солеварень. Про великі масштаби солеваріння кельтів свідчать "гори плит", які збереглися в різних місцевостях (наприклад, в Лотарингії в долині ріки Сей вони сягають об'ємів у сотні тисяч кубічних метрів). Коли вартість використання металевих котлів для випарювання солі (рис. 4.174) наблизилась до виробничих витрат з використанням кам'яних плит, то саме котли стали головним помічником солеварів, причому їхня форма поступово переходила до більш мілкої, а з часом трансформувалась у сковороди (що забезпечувало мінімальні витрати палива). Легко уявити, якими темпами знищувались навколишні ліси для забезпечення солеварень деревиною, оскільки вже в пізньому середньовіччі цей промисел призвів до зміни природного ландшафту усїєї Центральної Європи¹.

Одним із найбагатших центрів солеваріння в Європі був район баварсько-австрійського прикордоння. Перша письмова згадка про випарювання солі в котлах належить до 700 р. і свідчить, що баварський герцог Теодор II подарував єпископу Руперту селище **Хое-Зальцбург** і передав право користуватися двадцятьма котлами для випарювання солі в Райхенгаллі. Тривалий час солеваріння провадили ченці кількох приальпійських монастирів, до яких приєднувались робітничі артілі солеварів. Центром промислу стало місто **Райхенгалль** ("багата сіль"), опоясане кам'яною кріпосною стіною, у межах якої розташовувались соляні джерела. Місто кілька разів було зруйновано (феодална боротьба за соляні багатства часто загострювалась), але швидко відновлювалось знов. Соляний видобуток також вели у ближньому Галлайні та Зальцбурзі, який став важливим містом торгівлі сіллю та металами. Ще одним містом, яке стояло на соляному шляху й розбагатіло на збиранні соляного мита, став Мюнхен, куди щорічно привозили до 500 возів із сіллю.

¹ Масове винищення віковичних лісів Європи було зумовлене як використанням деревини для солеваріння, так і постійною заготівлею деревного вугілля для виплавки металів. Спроби відновлення лісових масивів не встигали за їх вирубуванням на паливо. Нестача й висока вартість деревини були вирішальною підставою для початку промислової розробки кам'яного вугілля.

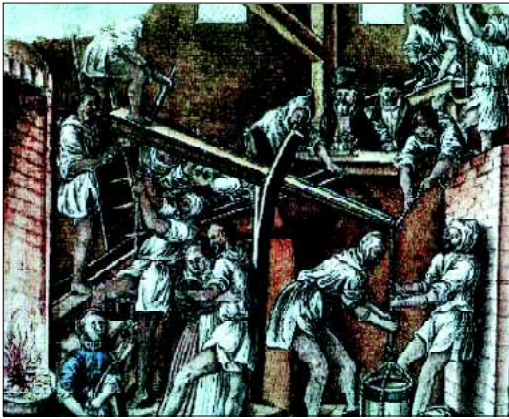


Рис. 4.175 - Середньовічний соляний колодязь і солеварня



Рис. 4.176 - Видобуток і випарювання розсолу в Давньому Китаї. Фрагмент розпису гробниці часів династії Хань (I ст. до Р.Х.)

Соляні джерела німецько-австрійського прикордоння експлуатувались сотні років і являли собою рідкісний зразок майже невичерпних соляних розчинів.

Проте подібні випадки багатих джерел траплялися зрідка. Зазвичай, коли соляне джерело вичерпувалось, солеварі поглиблювали западину, споруджували в її околицях колодязі, які іноді розкривали підземний горизонт солоних вод (рис. 4.175). Технологія колодязного видобутку розсолу збереглася на багатьох художніх витворах різного часу і різних країн. Найдавніша - на цеглинах гробниць правите-

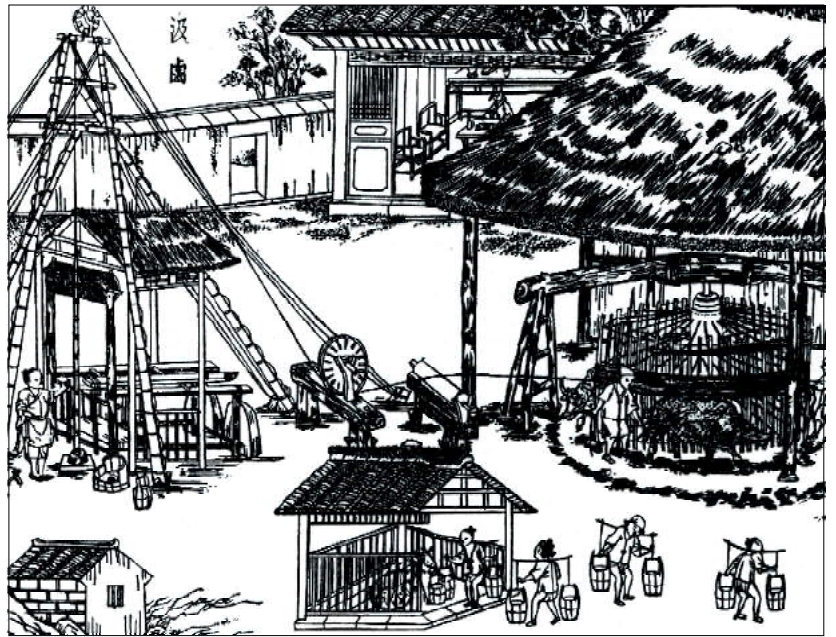


Рис. 4.177 - Канатне буріння в Китаї (підйом штанги із свердловини). Гравюра з енциклопедії "Тянь гун кай у", 1637 р.

лів "Піднебесної" (провінція Сичуань), де показано як четверо робітників за допомогою відер, мотузки й блоку, закріпленого на верхній поперечині вежі (копра), піднімають розсіл із колодязя (рис. 4.176). Довжина зображеної мотузки дозволяє припустити значну глибину колодязя. Інші робітники доставляють розсіл до варниці для випарювання води. Просторова конструкція вежі має значну висоту, включає два робочі полки, накрита зверху двоскатним дахом, який запобігає потраплянню осадів у внутрішній простір і колодязь. Подібна технологія видобутку широко використовувалась як в давньому світі, так і в середньовіччі в усіх соледобувних регіонах.

Необхідність добування підземних розсолів привела до винаходу принципово нового типу гірничих виробок - свердловин, які споруджували за допомогою буріння¹. Доцільність використання вузьких, глибоких "отворів" у масиві гірських порід ґрунтувалась на властивості розсолів підніматися по свердловинах під дією гідростатичного тиску та вилитися на поверхню. Освоєння свердловинної технології розпочалося в Китаї та Японії ще в середині I тис. до Р.Х. і вже тоді свердловини сягали глибини сотень метрів (рис. 4.177). Китайський мислитель Конфуцій описав видобувні райони в області Чун-Кинг (поблизу кордону з Тибетом), у яких були численні свердловини глибиною від

¹ Не виключено, що перші свердловини могли використовувати для видобутку артезіанської питної води, але майже всі давні писемні свідчення пов'язують свердловини саме з розсолами.

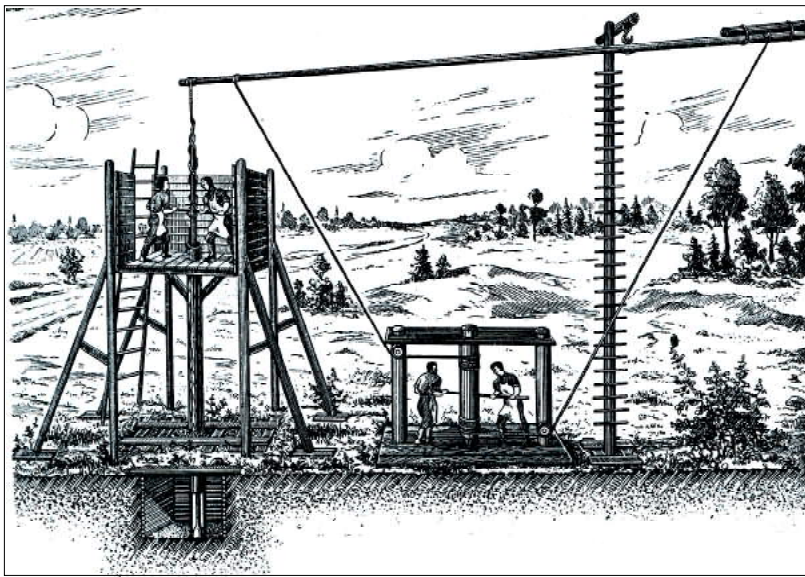


Рис. 4.178 - Буріння свердловин на пермських соляних промислах (Росія, XVIII ст.)

40 до 500 м. Один із центрів видобутку солі в Південно-Західній провінції Китаю мав назву Цу-Ліу-Чинг, що в перекладі означало "свердловини, що фонтанують самі по собі". На відміну від повсюдного колодезяного способу свердловинна технологія довгий час використовувалась лише на Сході, в Європі вона з'являється лише в XII ст., причому широкого розповсюдження зазнає значно пізніше (рис. 4.178).

Підземна розробка кам'яної солі

Спорудження перших соляних шахт було пов'язане з вичерпанням соляних розсолів у джерелах та колодезях. Поглиблення колодезів часом приводило до натрапляння на поклади кам'яної солі, що започатковувало її розробку підземним способом. Іншим, доволі розповсюдженим способом випадкового відкриття соляних родовищ були гірничі роботи в рудниках та пошуки рудних тіл. Саме тому найдавніші підземні розробки солі часто співпадають з районами традиційних гірничих промислів. Найбільш давні матеріальні свідчення розробки кам'яної солі, що були виявлені на Південному Кавказі (Нахичевань) та в австрійських Альпах (Гальштат), походять з III тис. до Р.Х.

Загалом, поклади солі доволі широко розповсюджені на теренах багатьох країн світу, але історичне значення мали найбільш потужні родовища, які суттєво вплинули на розвиток середньовічного гірництва. В Європі до таких належать соляні райони в Західній Австрії (Зальцкамергут, Гальштат, Зальцбергверк, Галлейн), Центральній і Північній Німеччині (Ганновер, Гарц, Тюрінгія, Галле-на-

Залле, Унструт-Залле, Райхенгалль), Південно-Східній Польщі (Бохня, Величка), Румунії (Мармарош, Прахова, Альба Юлія, Вацау). Значні соляні багатства були зосереджені на землях України (Передкарпаття - Стара Сіль, Дрогобич, Колпка, Модричі, Котов, Ясениця Зворицька тощо; Закарпаття - Солотвино; Східний регіон - Бахмутські та Торські промисли; Південний регіон - Кримські солончаки тощо).

Характерні технології та організаційні заходи середньовічного підземного видобутку кам'яної солі розглянемо на прикладі славнозвісної **Королівської копальні солі у Величці** (поблизу Кракова), яка перетворена сьогодні на всесвітньо відомий гірничий музей (серед дванадцяти найбільш значущих матеріальних пам'яток людства увійшла у перший перелік об'єктів Світової культурної спадщини ЮНЕСКО). Це одна з небагатьох шахт (рис. 4.179), яка безперервно працювала протягом семи століть, починаючи з 1280 р. Варті уваги записані в 1647 р. слова французького мандрівника Ле Лабур'єра: "Соляні копальні величські не менш знамениті, ніж піраміди єгипетські, але більш корисні. Вони є похвальною пам'яткою працелюбності поляків".

Гірничі виробки Велички розташовані на 9 горизонтах і залягають на глибинах від 64 до 327 м. Загальна кількість виробок складає більше 3 тис., їх сумарна протяжність перевищує 300 км, а об'єм виробленого простору сягає фантастичної величини - понад 7,5 млн. м³ (це пояснюється наявністю численних великорозмірних камер, утворених під час розробки гігантських соляних брил).

Протягом тривалого часу у Величці розміщувався потужний центр солеваріння, який називався Велика Сіль (Magnum Sal), що й утворило назву поселення Величка. Перший

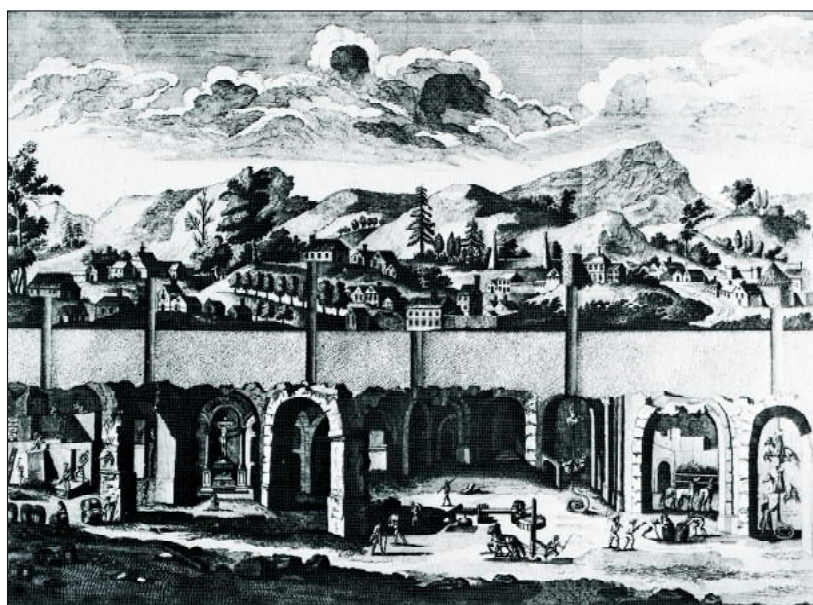


Рис. 4.179 - Королівська копальня солі Величка.
Ілюстрація з "Енциклопедії наук, мистецтв і ремесел"
під редакцією Дідро та Д'Аламбера, 1768 р.

"Соляний привілей" для солеварів був затверджений польським князем Казимиром I 1044 р., а "Гірничий устав" шахти Величка - королем Казимиром Великим 1386 р. Початок підземного (механічного) видобутку кам'яної солі був пов'язаний з традиціями велицького солеваріння, причому в умовах копальні з'явилася можливість мати постійний штучний розчин і не залежати від мінливих природних соляних джерел. Воду подавали в копальню, розчиняли сіль і відкачували розсіл стовбуром Водяна Гора, додатково збагачували розсіл дрібною сіллю й виварювали в спеціальних посудинах. Як паливо

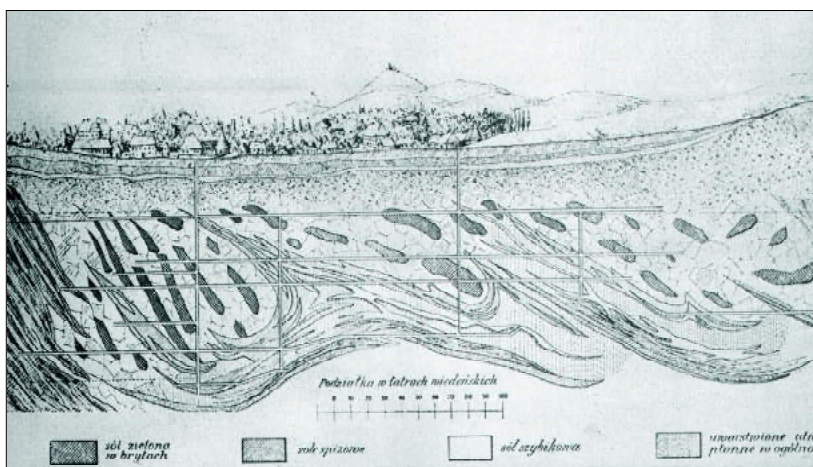


Рис. 4.180 - Геологічна структура соляних покладів у Величці
(за Й. Грдиною, 1842 р.)

використовували деревину, яка поступово зникла з прилеглих до промислу районів. З урахуванням потреб великої кількості палива та проблем з його постачанням і високою ціною, перевагу дістала механічна ("суха") розробка соляних покладів, яка дозволила відразу отримувати високоякісну сіль, без процесу випарювання води.

Технологія розробки була тісно пов'язана з геологічними особливостями родовища. Велицьке родовище є частиною підкарпатської солонної зони, яка виникла близько 20 млн. років тому в міоцені. Родовище утворилося в результаті випару міоценського моря в умовах особливо сухого й жаркого клімату. Внаслідок пізніших тектонічних зсувів, пов'язаних з формуванням Карпат, первинні відклади переміщалися, що створило складну й неповторну будову соляного родовища. Характерною його особливістю є наявність двох різних частин: верхня - у вигляді величезних брил і блоків кам'яної солі, розміщених у зелених мулах (рис. 4.180). У цій частині, яка й розроблялася у середньовіччі, на невеликих глибинах (50 - 140 м) розміщувалися гігантські соляні брили, які здебільшого сягали об'єму понад 20 тис. м³ (окремі - до 100 тис. м³). Через зеленкуватий колір кристалів крупнозернистої будови цю сіль звали зеленою. Нижня частина родовища, яка експлуатувалася в нові часи (майже до кінця XX ст.), представлена пластовими покладами, які зберегли первинне чергування шарів. Вмісні породи - мулисті і мулисто-гіпсові відклади - ізолювали родовище від водоносних шарів.

Спосіб розкриття передбачав проведення стовбура, який мав улучити в соляну брилу. Її експлуатація велася зверху вниз і могла тривати десятки років. За допомогою дере-

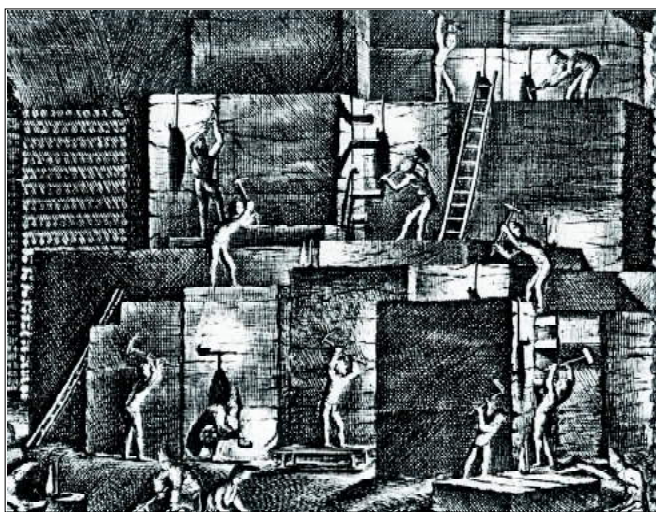


Рис. 4.181 - Розробка соляних блоків
(за В. Хондіусом, 1645 р.)

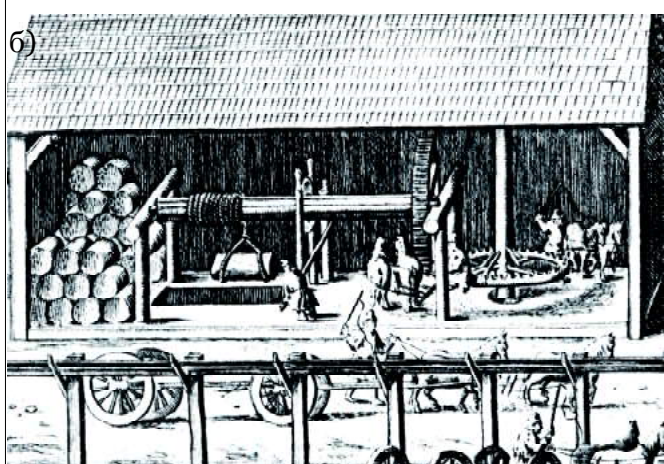


Рис. 4.182 - Транспортування соляних циліндрів:
а - роботи в копальні (за Я. Борляхом, 1719 р.);
б - піднімання солі на поверхню (за В. Хондіусом, 1645 р.)

в'яних або залізних клинів відділяли соляні блоки правильної форми (рис. 4.181), які потім поділяли на частини й обтісували в циліндри. Незважаючи на їхню значну вагу (від 300 до 2000 кг), соляні циліндри перекочували й піднімали на поверхню (рис. 4.182). Спочатку для піднімання використовували коловорот, який рухався м'язовою силою рук або топчійні колеса, а з XV ст. застосовували кінний рушій, який розміщували як на поверхні, так і в шахті. Використання коней у шахті значно полегшило процеси транспортування та підйому, сприяло зростанню солевидобутку. Руйнування соляного масиву виключно ручними знаряддями тривало до середини XVIII ст., а з 1743 р. у Величці почали застосовувати підривні (порохові) роботи.

Для забезпечення стійкості унікальних великорозмірних камер їх контурам залишали охоронний шар солі, який був своєрідною тримальною оболонкою, що перешкоджала зміщенню й обвалу гірських порід. В окремих випадках облаштовували додаткові опорні конструкції у вигляді дерев'яних кострів, соляних стовпів, органного кріплення. Добре відомі неповторні просторові конструкції дерев'яного кріплення, які підпирають покрівлю в камері "Міхаловіце"

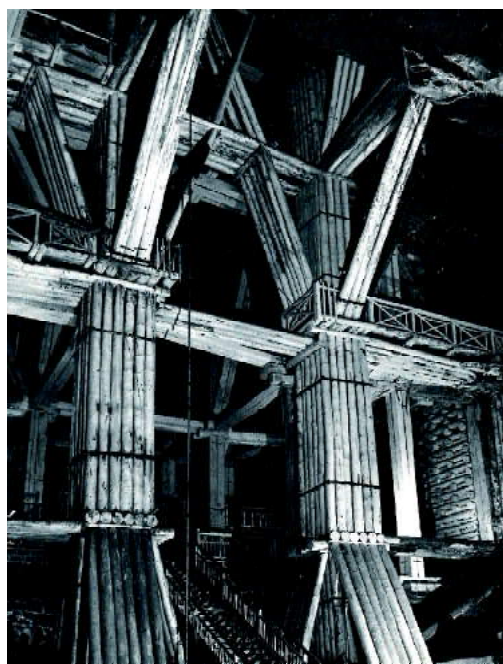


Рис. 4.183 - Дерев'яне кріплення камери "Міхаловіце", Копальня Велика

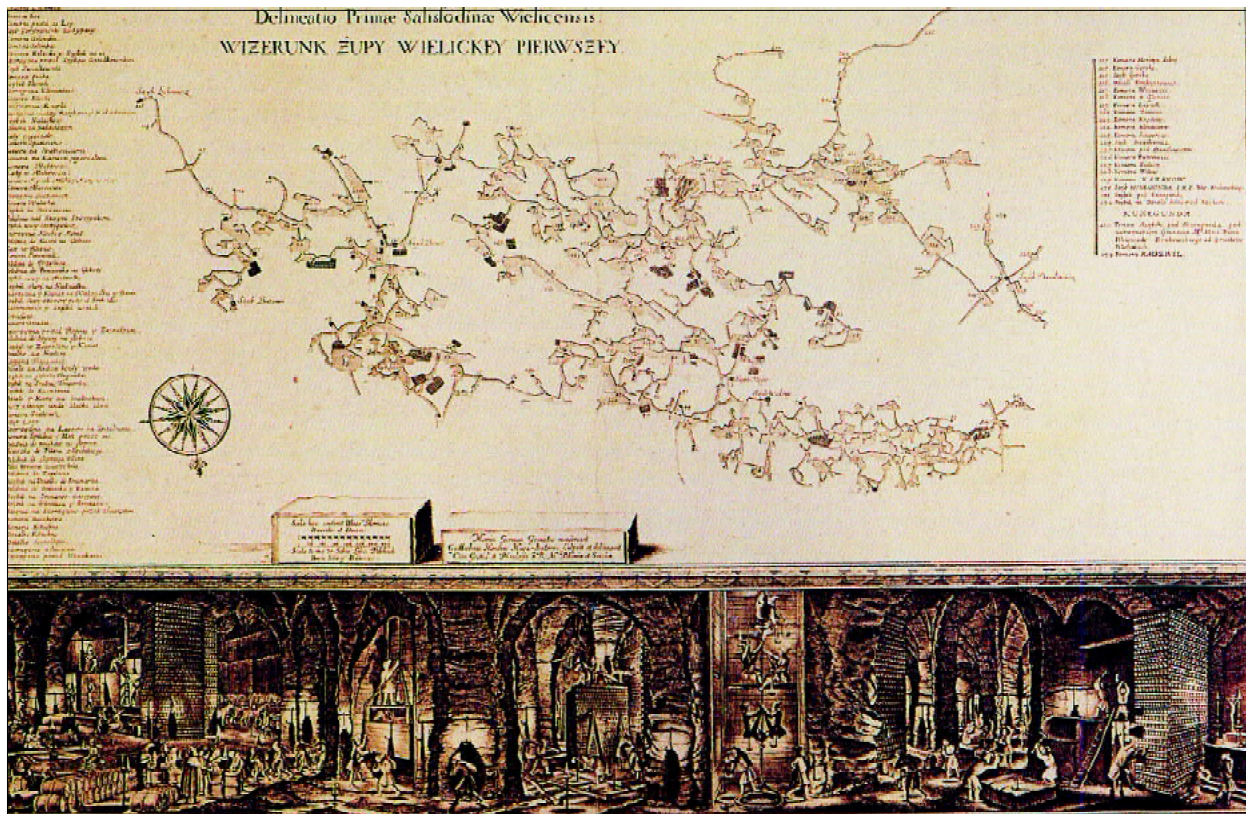


Рис. 4.184 - План гірничих робіт копальні Величка, створений М. Германсом (гравюра В. Хондіуса, 1645 р.)



Рис. 4.185 - Я. Борлях "Ідеальний переріз копальні Величка", 1719 р.

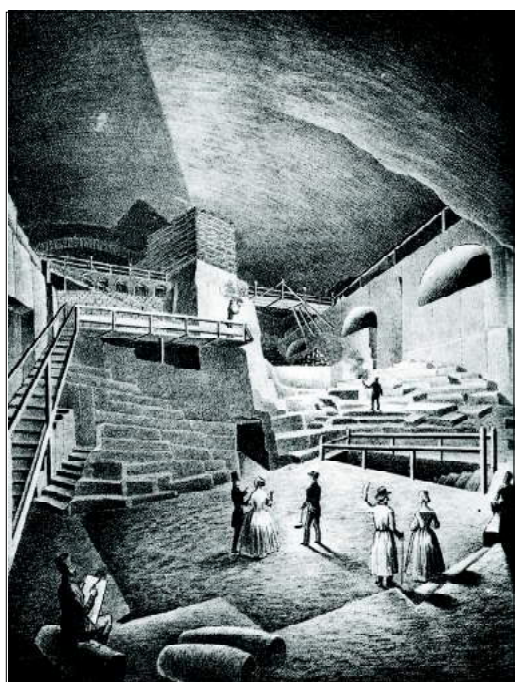


Рис. 4.186 - Туристична траса у Величці (камера імператора Франца). Літографія Й. Грдини, 1842 р.



Рис. 4.187 - Каплиця Св. Антонія, покровителя гірників Велички (створена в XVII ст.)

(відпрацьована у 1717 - 1761 рр.). Ця камера - одна з найбільших (об'єм біля 20 тис. м³), її висота становить 36 м (рис. 4.183).

На початку кожна велика брила розроблялася окремою шахтою. Починаючи з XV ст., стовбури й камери почали поєднувати між собою штреками, проте до XVIII ст. проведення виробок було здебільшого безсис-

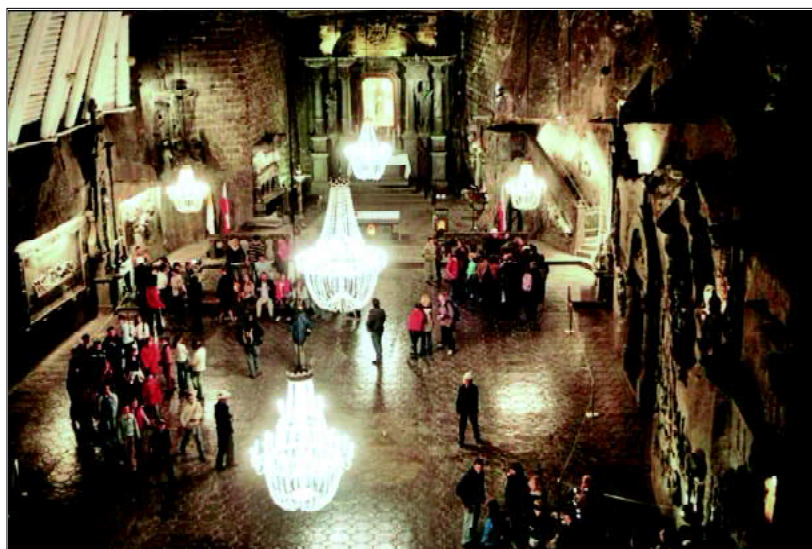


Рис. 4.188 - Каплиця Благословенної Кінги

темним. Це пояснюється частими замінами орендарів і підрядників, відсутністю координації гірничих робіт між численними власниками й гірничими артілями. Свідченням хаотичного характеру гірничих виробок є перша карта (план) велицьких розробок, створений М. Германсом у 1645 р. Він дістав красномовну назву "Нитка Аріадни в лабіринті" (рис. 4.184). Незважаючи на хаотичне нагромадження численних виробок і нерозвинений стан маркшейдерського мистецтва, у Величці була зроблена одна з перших масштабних гірничо-геометричних зйомок підземного простору величезної копальні.

Значний внесок в об'єднання та упорядкування системи гірничих виробок зробив талановитий гірничий інженер Я. Борлях, який 1718 р. очолив технічний нагляд велицької шахти. Він розробив ефективні плани гірничих робіт, поглибив стовбури до нового рівня, удосконалив гірничий статут. Крім того, Борлях створив мальовничий "ідеальний переріз" шахти (рис. 4.185), в якому відобразив основні технологічні операції видобутку солі, а також сприяв художньому оформленню камер (соляні барельєфи, скульптури) та утворенню в них підземних каплиць та церков.

Дивосвіт підземелля, краса "геологічного декору" і соляної скульптури, велич підземних камер, а також складність інженерних завдань і гірничих машин здавна притягували до Велички монархів, аристократів, священиків, учених. Небагато є у світі місць, що "бачили" таке гроно видатних особистостей. На рубежі XVIII - XIX ст. тут почала діяти підземна туристична траса (рис. 4.186), яка відкрила доступ для огляду шахти широкому колу шанувальників гірництва. У цей час уявлення про гірничу справу



Рис. 4.189 - Княгиня Кінга, засновниця соляних шахт у Бохні та Величці.
Картина П. Москаля



Рис. 4.190 - Символ і святиня гірників Велички - інкрустований сріблом ріг, подарований Северином Бонером Братству велицьких солекопів.
Майстерня А. Дюрера, 1543 р.
(копія, Німецький гірничий музей у Бохумі)

були невід'ємним елементом культурних знань кожної освіченої людини, що сприяло припливу численних відвідувачів з усієї Європи.

Особливе зацікавлення викликали підземні церкви та каплиці, збудовані у виробках Велички. Християнська традиція, така розвинена в середовищі гірників, знайшла відображення в каплиці Святого Хреста, де відбувалися молебні шахтарів перед початком робіт, Святого Антонія, покровителя велицьких солекопів (рис. 4.187), Благословенної Кінги (рис. 4.188), що стала окрасою шахти-музею та ін. Образ княгині Кінги (рис. 4.189), легендарної засновниці велицької шахти, гірники розміщували зазвичай поблизу шахтного підйому, де молилися після закінчення робочої зміни. Давнє гірниче вітання "Бог поміч" можна почути сьогодні у Величці багатьма мовами світу. Старовинний символ велицької шахти - срібний ріг солекопів (рис. 4.189) готовий (як і кілька сторіч тому), подати сигнал до початку гірничих робіт.

Підсумовуючи етапи розвитку солевидобутку, відзначимо, що він відбувався у двох напрямках - колодязним і свердловинним добуванням розсолу (з наступним його випарюванням) та підземною розробкою родовищ кам'яної солі. Видобуток кам'яної солі шахтним способом був освоєний кельтами вже в давньому світі й довго співіснував із технологією видобутку розсолу. Широке використання деревини як палива для випарювання солі в часи пізнього середньовіччя спричинило масове винищення лісів і стимулювало пошук альтернативного палива, яким згодом стає вугілля. Освоєння значних родовищ кам'яної солі підземним способом сприяло появі потужних шахт, особливістю яких стають виробки (камери) величезних розмірів, що суттєво вплинуло на розвиток гірничих технологій. Видобуток солі, як і видобуток руд металів, стає засадничою складовою середньовічного гірництва.