# 3

# ДОБЫЧА ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

**Сергей Николаевич Кизилов**
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
научный сотрудник, кандидат технических наук

**Антон Александрович Лиске**
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
инженер

## ВВЕДЕНИЕ

Среднее содержание железа в земной коре — 5,0%, оно является одним из наиболее распространенных элементов и входит в состав большого числа минералов (более 300). Главные промышленноценные минералы железа — оксиды и гидроксиды, в меньшей степени — карбонаты; это магнетит, титаномагнетит и гематит, а также мартит (псевдоморфоза гематита по магнетиту), гётит, гидрогётит (лимонит) и сидерит (табл. 3.1).

*Таблица 3.1.* Главнейшие минералы железных руд

| Минерал | Химическая формула | Содержание железа, % |
|---|---|---|
| Магнетит | $Fe_3O_4$ | 72,4 |
| Магномагнетит | $(Mg, Fe)O \cdot Fe_2O_3$ | 65–68 |
| Титаномагнетит* | – | 55–67 |
| Гематит | $Fe_2O_3$ | 70,0 |
| Гётит | $HFeO_2$ | 62,9 |
| Гидрогётит (лимонит) | $FeO_2 \cdot H_2O$ | 52,0–62,9 |
| Сидерит | $FeCO_3$ | 48,3 |

* Магнетит с изоморфной примесью титана или гомогенный твердый раствор магнетита и ульвошпинели. К титаномагнетиту часто относят и ильменомагнетит — магнетит с ильменитовыми продуктами распада твердого раствора.

В зависимости от условий образования чрезвычайно разнообразен и минеральный состав железных руд, определяющий в значительной степени их промышленную ценность. Железные руды подразделяются на 11 основных промышленных типов (табл. 3.2).

По количеству общих и разведанных запасов железных руд Россия устойчиво занимает первое место в мире, полностью удовлетворяет свои потребности в железорудном сырье и значительные объемы товарных железных руд, концентратов, окатышей, горячебрикетированного железа ежегодно поставляет на экспорт.

Железорудные месторождения промышленного значения весьма разнообразны. Они известны в эндогенных, экзогенных и метаморфогенных комплексах пород. С учетом генезиса принято выделять следующие основные промышленные типы.

*Таблица 3.2*. Промышленные типы железных руд, их минеральный состав и элементы-примеси

| Тип руд | Главные и характерные рудные минералы | Главные и характерные элементы-примеси в рудах | Типичные месторождения |
|---|---|---|---|
| Титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые руды в ультраосновных и основных породах | Титаномагнетит, ильменит, магнетит, самородная платина и платиноиды | Ti, V, Sc, Cu, Co, Ni, S, Pt, Os и др. | Качканарское, Копанское, Первоуральское, Пудожгорское, Чинейское, Бушвельдский комплекс, Роутивара, Таберг, Аллард-Лейк (Лак-Тио) |
| Бадделеит-апатит-магнетитовые руды в ультраосновных щелочных породах | Магнетит, апатит, бадделеит | P, Zr, Nb, Ta | Ковдорское, Палабора |
| Магнетитовые руды в осадочных и вулканогенно-осадочных породах | Магнетит, гематит, мартит, пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, висмутин, молибденит, кобальтин, линнеит, самородные золото и серебро, людвигит, ашарит | S, As, Co, Mn, Cu, Se, Te, Pb, Zn, Cd, In, Bi, Mo, Ag, Au, Ge, F, B, Pt, Pd | Соколовское, Сарбайское, Качарское, Высокогорское, Гороблагодатское, Абаканское, Шерегешевское, Таштагольское, Таежное, Десовское, Маркона, Чогарт, Чадор-Малю, Гольгохар, Мааншань |
| Магномагнетитовые руды в осадочных и пирокластических породах и траппах | Магномагнетит, магнетит, гематит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит | S, Cu, Zn, V, Au, Hg, B, Na | Коршуновское, Рудногорское, Тагарское, Нерюндинское, Капаевское |
| Магнетит-гематитовые и гематит-магнетитовые руды в вулканогенно-осадочных породах | Гематит, магнетит, псиломелан сидерит, пирит, сфалерит, галенит, браунит, гаусманит | Ge, Mn, Mo, Zn, Pb, Au, S, P, B, V | Западно-Каражальское, Холзунское |
| Железистые кварциты в осадочных и вулканогенно-осадочных породах | Магнетит, гематит, сидерит, пирит, сфалерит, галенит | Ge, Au, Mn | Оленегорское, Костомукшское, Криворожский бассейн, Курская магнитная аномалия, Тарыннахское, Горкитское |
| Мартитовые, мартитгидрогематитовые, гидрогематит-мартитовые и гидрогематитовые руды, образованные по железистым кварцитам | Мартит, гидрогематит, гётит, магнетит, гематит, сидерит, пирит | U | Криворожский бассейн, Белозерское, Висловское, Яковлевское, Михайловское, Гостищевское |
| Сидеритовые и гематитсидеритовые руды в осадочных породах | Сидерит, гематит, сидероплезит | Mn | Бакальское, Березовское |
| Бурые железняки, образованные по сидеритам | Гидрогётит, гётит, сидерит | – | Бакальское, Березовское, Зигазино-Комаровская группа |
| Лептохлоритовые и гидрогётитовые оолитовые руды в осадочных породах | Гидрогётит, лептохлориты, псиломелан, пиролюзит, вивианит, вернадит, пирит | P, Mn, As, V, Bi | Лисаковское, Аятское, Керченский, Лотарингский железорудные бассейны |
| Хром-никелевые гётитгидрогётитовые руды кор выветривания ультраосновных пород | Гётит, гидрогётит, сидерит, нонтронит, пирит, хромшпинелиды, полианит, пиролюзит, псиломелан | Cr, Co, Ni, V, Mn, Sc, Ga | Серовское, месторождения Орско-Халиловского района, латеритные руды Кубы, Филиппин, Индонезии, Гвинеи, Мали |

Магматические месторождения:

а) титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые, представляющие собой зоны концентрированной вкрапленности (с шлировыми и жило-линзообразными обособлениями) ванадий- и титансодержащих магнетитов в интрузивах габбро-пироксенитдунитовой, габбровой, габбро-диабазовой и габбро-анортозитовой формаций (Качканарское, Копанское, Первоуральское на Урале, Пудожгорское в Карелии, Чинейское в Читинской области, месторождения Бушвельдского комплекса в ЮАР, Роутивара, Таберг в Швеции, Аллард-Лейк (Лак-Тио) в Канаде и др.);

б) бадделеит-апатит-магнетитовые, образующие серии линзо- и жилообразных тел в ультраосновных щелочных интрузивах с карбонатитами (Ковдорское на Кольском полуострове, Палабора в Южной Африке).

На долю титаномагнетитовых и бадделеит-апатит-магнетитовых руд приходится 6,6% мировых разведанных запасов и 5,6% производства товарных руд. В России они составляют 12,9% в запасах и 18,2% в производстве товарных руд.

Метасоматические месторождения (месторождения скарново-магнетитовых руд) представлены в разной степени оруденелыми скарнами и скарноидами, образующими сложные пласто- и линзообразные залежи магнетитовых руд в осадочных, вулканогенно-осадочных и метаморфических породах (Соколовское, Сарбайское, Качарское в Казахстане; Высокогорское, Гороблагодатское и другие на Урале; Абаканское, Тейское в Красноярском крае; Шерегешевское, Таштагольское и другие в Горной Шории; Таежное, Десовское в Якутии; Маркона в Перу, месторождения Чилийского железорудного пояса; Чогарт, Чадор-Малю в Иране; Мааншань в Китае). На долю скарново-магнетитовых руд приходится 9,5% мировых разведанных запасов и 8,3% производства товарных руд. Руды данного типа в России составляют соответственно 12,2 и 12,9%.

Гидротермальные месторождения:

а) генетически связанные с траппами и представленные жило-столбообразными и различной сложной формы залежами магномагнетитовых руд в осадочных, пирокластических породах и траппах (Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское, Капаевское, Тагарское в Восточной Сибири);

б) гидротермально-осадочные сидеритовые, гематит-сидеритовые, представленные пласто-, жило- и линзообразными согласными и секущими залежами сидеритовых, гематит-сидеритовых (в верхних горизонтах окисленных) руд в осадочных породах (Бакальское рудное поле на Урале, Березовское в Читинской области, Уэнза, Бу-Кадра, Заккар-Бени-Саф в Алжире, Бильбао в Испании).

Доля руд данного типа в разведанных запасах и производстве товарных руд в мире незначительна и не превышает 1%, в России в запасах она составляет — 5,4%, в производстве товарных руд — 2,9%.

Вулканогенно-осадочные месторождения — согласные пласты и линзы гематитовых, магнетит-гематитовых и гематит-магнетитовых руд в вулканогенно-осадочных породах (Западно-Каражальское в Казахстане, Холзунское на Алтае). Доля руд данного типа в разведанных запасах и производстве товарных руд в мире незначительна. В России такие месторождения не разрабатываются.

Осадочные морские месторождения, образовавшиеся в морских бассейнах и представленные слабо дислоцированными пластовыми залежами лептохлоритовых и гидрогётитовых оолитовых руд в морских терригенно-карбонатных мезокайнозойских отложениях (Керченский железорудный бассейн на Украине, Аятское в Казахстане, месторождения бурых железняков Лотарингского железорудного бассейна (на территории Франции, Бельгии, Люксембурга), Великобритании, Германии, провинции Ньюфаундленд Канады и Бирмингемского района в США). Доля руд данного типа в разведанных запасах в мире составляет

10,6%, в производстве товарных руд — 8,9%. В России такие месторождения не разведаны и не отрабатываются.

Осадочные континентальные месторождения, образовавшиеся в речных или озерных бассейнах и представленные пластовыми и линзообразными залежами лепто-хлоритовых и гидрогётитовых оолитовых руд в ископаемых речных отложениях (Лисаковское в Казахстане). Доля руд данного типа в разведанных запасах и производстве товарных руд в мире незначительна. В России такие месторождения не разведаны и не отрабатываются.

Метаморфизованные железистые кварциты широко распространены на древних щитах, платформах и на некоторых срединных массивах фанерозойских складчатых областей. Большинство их имеет раннепротерозойский и архейский возраст; значительно меньше распространены позднепротерозойские и раннепалеозойские месторождения.

Железистые кварциты образуют огромных размеров железорудные бассейны. Рудные залежи кварцитов в пределах месторождений обычно имеют крупные размеры: километры по простиранию, первые сотни или десятки метров по мощности. Характерна пластообразная форма рудных тел, тонкополосчатые текстуры и сходный минеральный состав руд на различных месторождениях (Криворожский бассейн на Украине, в России — месторождения Курской магнитной аномалии, Оленегорское на Кольском полуострове, Костомукшское в Карелии, Тарыннахское и Горкитское в Якутии, в Австралии — бассейн Хамерсли, в Бразилии — район Каражас и «Железного четырехугольника», в США — район оз. Верхнего, в Канаде — Лабрадорский прогиб, в Китае — бассейн Аньшань-Бенси и др.). Крупные и уникальные по запасам месторождения, легкая обогатимость руд, возможность разработки открытым способом большими карьерами с применением мощной горнодобывающей и транспортной техники позволяют считать их благоприятными объектами добычи железных руд во всех бассейнах мира. Доля руд данного типа в разведанных запасах и производстве товарных руд в мире превышает 60%, в России в запасах она составляет — 55,9%, в производстве товарных руд — 64,5%.

Месторождения кор выветривания, представленные богатыми гидрогематит- и сидерит-магнетитовыми, мартит-магнетитовыми рудами, формируются при преобразовании железистых кварцитов в результате гипергенных процессов. В соответствии с этим в своем распространении они связаны с районами и площадями развития железистых кварцитов, приурочены к развивающимся по ним площадным и линейным корам выветривания (Михайловское, Яковлевское, Гостищевское, Висловское, Разуменское в России, месторождения богатых руд Кривого Рога на Украине, железорудные районы Австралии, Бразилии, Индии, США). На долю месторождений данного типа приходится 12,5% разведанных запасов России и 1,3% производства товарных руд. В сумме доля месторождений двух последних типов — железистых кварцитов и развивающихся по ним полигенных богатых железных руд — составляет в мире 70,9% разведанных запасов и 74,4% производства товарных руд, т. е. это наиболее важные промышленные типы месторождений. Доля руд двух последних типов месторождений в России составляет в запасах 68,4%, в производстве товарных руд — 65,8%.

Прочие гипергенные железные руды:

а) бурые железняки, связанные с корами выветривания сидеритов (Бакальская и Зигазино-Комаровская группы месторождений на Урале, Березовское в Читинской области);

б) прерывистые плащеобразные залежи хром-никелевых гётит-гидрогётитовых руд, распространенные в коре выветривания ультраосновных пород (латеритные руды Кубы, Филиппин, Индонезии, Гвинеи, Мали, на Урале — Серовское и месторождения Орско-Халиловского района). Такие руды, как правило, легированы никелем и кобальтом.

Доля прочих гипергенных железных руд в разведанных запасах в мире составляет 2,4%, в производстве товарных руд — 2,0%, в России соответственно 1,1 и 0,2%.

## ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ ПО ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Россия занимает второе место в мире по запасам железной руды, уступая только Бразилии. Запасы категорий А + В + $C_1$ + $C_2$, учтенные «Государственным балансом полезных ископаемых. Железные руды», по состоянию на 01.01.2016 достигают 110 млрд т, ресурсы наиболее достоверной категории $P_1$ оцениваются в 95,4 млрд т. При этом качество железорудного сырья в России заметно ниже, чем в других странах, обладающих значительными запасами этого сырья (например, Бразилии, Австралии и Индии).

Основу российской железорудной базы составляют железистые кварциты (более 52% запасов категорий А + В + $C_1$ от запасов железных руд Российской Федерации), руды со средним содержанием железа общего около 34% и требующие обогащения. Запасы месторождений, богатых гематит-сидерит-мартитовых руд, Курской магнитной аномалии составляют около 30 млрд т (категорий А + В + $C_1$ + $C_2$), но из-за сложных условий залегания только шестая их часть может быть вовлечена в разработку.

Руды титаномагнетитового промышленного типа занимают второе место в российской сырьевой базе железных руд (более 15% запасов категорий А + В + $C_1$ страны). Руды преимущественно бедные — среднее содержание железа общего около 17%. По масштабу запасов титаномагнетитовых руд Уральская железорудная провинция не имеет аналогов в мире.

Руды магнетитового промышленного типа составляют около 14% запасов категорий А + В + $C_1$ России (8,4 млрд т). Руды их, как правило, легкообогатимы и отличаются сравнительно высоким содержанием железа общего (среднее содержание 33,1%). Большая часть запасов месторождений магнетитовых руд скарнового типа разведана в Сибирском федеральном округе в Горной Шории, Кузнецком Алатау и Горном Алтае. На территории округа запасы категорий А + В + $C_1$ составляют 12,6% от общих запасов, добыча — 4,4% от добычи по России.

Руды остальных промышленных типов занимают значительно меньшую долю в сырьевой базе железных руд России. С учетом прироста в результате геологоразведочных работ, добычи и потерь при добыче запасы железных руд категорий А + В + $C_1$ в 2014 г. выросли относительно предыдущего года на 908 млн т, или на 1,5%; динамика запасов категории $C_2$ показала более существенный рост — на 2,5 млрд т, или на 5,3%.

Россия занимает пятое место в мире по добыче железорудного сырья. Добыча сырых железных руд в 2016 г. составила 298,1 млн т, что на 0,1% больше, чем в 2015 г.

По запасам и добыче в России основным регионом является Центральный федеральный округ, на долю которого приходится 57,7% всех запасов категорий А + В + $C_1$ и 54,9% добычи.

Четыре холдинга контролируют около 80% российского производства железорудного сырья и более 60% лицензированных запасов железных руд. ООО УК «Металлоинвест» занимает ведущие позиции в железорудной отрасли России и СНГ. Холдинги «Евраз-Груп С. А.», ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» по производственным мощностям более чем вдвое уступают лидеру отрасли.

Характеристика основных месторождений железных руд и перечень эксплуатирующих их предприятий представлены в табл. 3.3.

*Таблица 3.3*. Основные месторождения железных руд России и перечень эксплуатирующих их предприятий

| № на карте | Регион | Месторождение | Геолого-промышленный тип |
|---|---|---|---|
| 1 | Белгородская область | Стойло-Лебединское | Магнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Лебединское | |
| | | Стойленское | Гематитмагнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Коробковское | Магнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Приоскольское | |
| | | Яковлевское | Гематит-сидерит-мартитовый |
| | | Гостищевское | |
| | | Висловское | |
| 2 | Курская область | Михайловское | Гематит-магнетитовый в железистых кварцитах |
| 3 | Республика Карелия | Костомукшское | Магнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Корпангское | |
| 4 | Мурманская область | Ковдорское | Бадделеит-апатит-магнетитовый |
| 5 | Челябинская область | Суроямское | Ванадиево-титано-магнетитовый |
| 6 | Свердловская область | Гусевогорское | Ванадиево-титано-магнетитовый |
| | | Собственно-Качканарское | |
| 7 | Кемеровская область | Шерегешевское | Магнетитовый в скарнах |
| | | Таштагольское | |
| | | Казское | |
| 8 | Иркутская область | Рудногорское | Магнетитовый в скарнах |
| 9 | Забайкальский край | Чинейское | Титаномагнетитовый |
| 10 | Республика Саха (Якутия) | Десовское | Магнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Таежное | |
| | | Тарыннахское | |
| | | Горкитское | |
| 11 | Амурская область | Гаринское | Магнетитовый в скарнах |
| 12 | Еврейская АО | Кимканское | Магнетитовый в железистых кварцитах |
| | | Сутарское | |

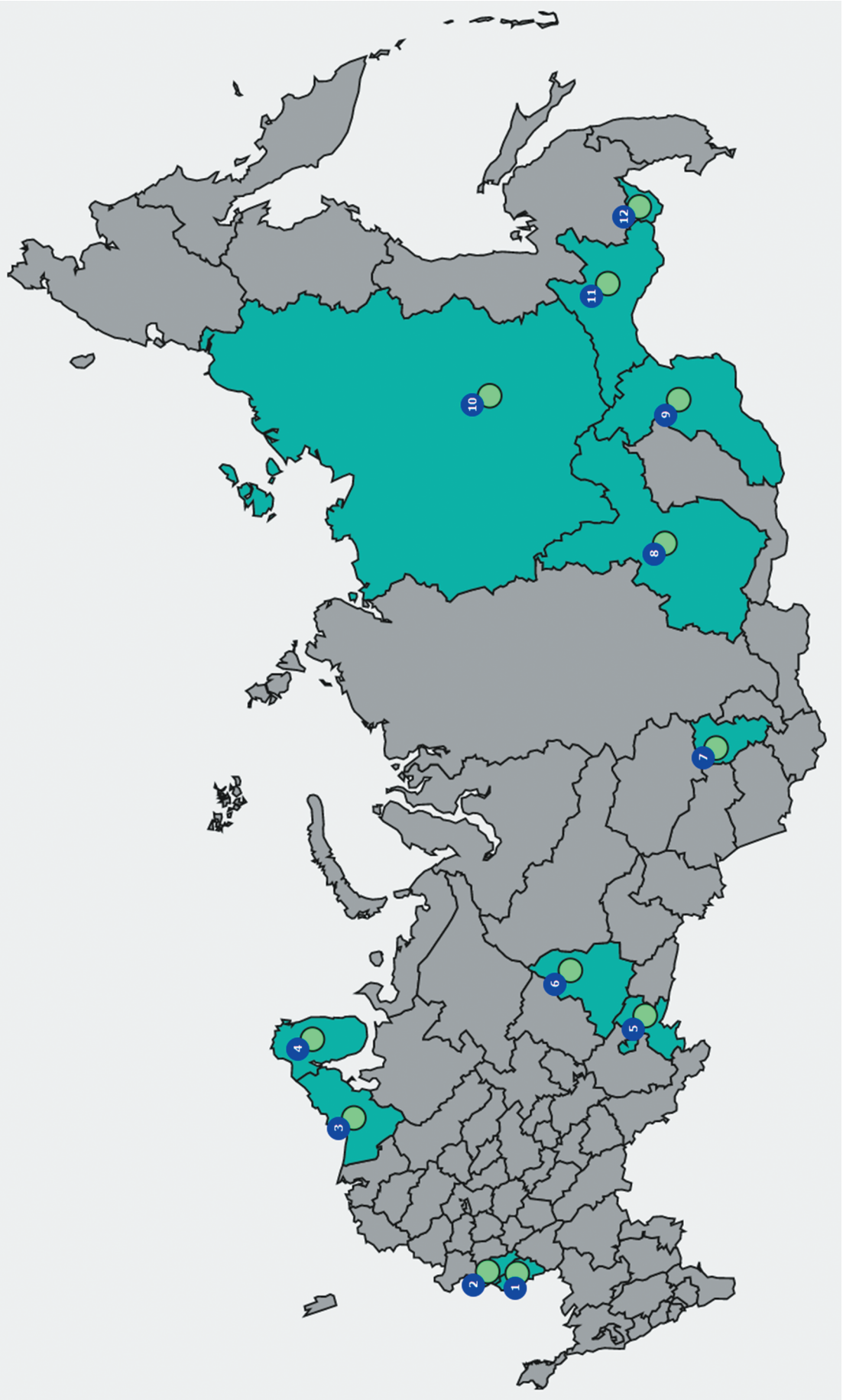



*Рис. 3.1.* Карта-схема расположения месторождений железных руд Российской Федерации

## ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ОТРАСЛИ

### Зарождение железорудной отрасли в мире

В первобытные времена горное дело ограничивалось примитивной добычей кремния. Месторождения металлических руд в Сирии и Греции (возле мыса Тенар) разрабатывались еще финикийцами. Интенсивная добыча полезных ископаемых велась ими на Кипре. В Испании и Британии они выступали преимущественно как торговцы металлами. Первые горные разработки в Испании начали проводиться карфагенянами. В Малой Азии в горном деле преобладали древние местные традиции: главным полезным ископаемым являлась железная руда. В целях упорядочения и дальнейшего развития горного дела греки первыми разработали соответствующие правовые нормы, объявив, в частности, горные рудники государственной собственностью, которая могла сдаваться в аренду, как правило, мелкими участками (в Афинах — сроком на 3 года, при закладке новых шахт — сроком на 10 лет). В остальных случаях рудник принадлежал землевладельцу, на земле которого он находился, и его эксплуатация регламентировалась земельным правом. Основным горнорудным центром Древней Греции являлся район Лавриона. Достигнутые здесь ок. 490 г. до н. э. успехи в добыче полезных ископаемых способствовали превращению Афин в морскую державу и усилению их оборонной мощи в войне против Персии. Увеличение добычи достигалось за счет использования труда больших масс рабов. Во время спартанского наступления в 413 г. до н. э. многим из них удалось бежать. Восстановление Лаврионского месторождения в IV в. до н. э. было длительным и трудным.

Развитие горного дела в Македонии, начавшееся ок. 350 г. до н. э. в рудниках возле Филипп, повлекло за собой в III в. до н. э. резкий упадок горнорудного дела в Греции, усугублявшийся тем фактом, что маломощные пласты руд возле Коринфа и на Эвбее давно были исчерпаны. Основным и наиболее распространенным античным способом добычи полезных ископаемых являлась прокладка большого количества узких штолен (1,5 × 2 м) с короткими подземными штреками. Главное же техническое достижение древних греков в горном деле заключалось в их искусстве обогащения добытых руд. К основным орудиям труда, применявшимся в шахтах глубиной 120 м, относились кайло, горный молоток и кирка. Для вентиляции пробивались специальные узкие штольни размером примерно 50 × 50 см. Выемка горных пород производилась исключительно ручным способом, поэтому здесь использовался преимущественно труд рабов. Кроме них, в забоях работало (подтверждается дошедшими до нас надписями) некоторое количество квалифицированных и хорошо оплачиваемых рудокопов. Горное дело в Афинах играло значительную роль в жизни общества. Существовали специальные суды для разбирательства спорных вопросов, связанных с горным делом (но не с гражданскими делами самих рудокопов); приобретение прав на эксплуатацию того или иного рудника подлежало обнародованию; сами афинские граждане могли вносить предложения по улучшению горнорудного производства. Дошедшие до нас изображения труда рудокопов, сохранившиеся на глиняных сосудах, найденных возле Коринфа и относящихся примерно к 520 г. до н. э., показывают лишь раннюю стадию античного горного дела. Первыми древними правителями, которые начали приговаривать своих политических противников в качестве наказания к работе в рудниках, расположенных в Нубийской пустыне, были Птолемеи. Этруски вели открытую разработку богатых железорудных месторождений на берегах Эльбы. Их рудники (глубина штолен достигала 120 м) располагались возле Волатерры. Этрусков отличал высокий уровень обработки металлов.

Римское горное дело основывалось, как правило, на эксплуатации рудных месторождений на землях подвластных народов, сначала на Сардинии, а затем в Испании. Многие из иберийских специальных терминов и выражений были заимствованы в латинский язык. Горное дело получило в Древнем Риме свое дальнейшее развитие как организационно, так и технически. Уже около 180 г. до н. э. римляне использовали в рудниках близ Картахены труд свыше 40 тысяч рабов и примерно такое же количество рабочей силы на месторождениях на берегах р. Рио-Тинто. Для механизации отдельных производственных процессов в штольнях

глубиной от 80 до 100 м стали применять технические устройства: водоподъемные машины, оси, элементом которых являлся винт Архимеда, установленный на разных уровнях водоподъемного колеса, лебедки, вороты и подъемники. В императорскую эпоху горнорудной областью управлял назначавшийся императором прокуратор, иногда императорский вольноотпущенник. Учет, отчетность и ведение кадастра возлагались на вольноотпущенника или раба. Их основные функции заключались во взимании налогов и пошлин. Одновременно они могли также отдавать распоряжения производственно-технического характера, предписания по «технике безопасности» или распоряжения о расширении шахт и их эксплуатации. Это подтверждают две надписи, найденные в Випаске и свидетельствующие, в частности, о том, что во времена Адриана (117–138 гг. н. э.) в горном деле было задействовано большое количество арендаторов рудников, вносивших плату в казну императора. Кроме того, в шахтах использовались в качестве рабочей силы арестанты, осужденные как «servi poenae» («наказанные рабы») к работам в рудниках за совершенные ими одного из 22 видов преступлений. Такому же наказанию подвергались позднее многие христиане, например римский епископ Каликст. Договоры о найме рабочей силы на золотоносных копях в Дакии, относящиеся ко II в. н. э., также свидетельствуют о наличии свободных рудокопов. В IV в. н. э. произошло резкое сокращение добычи железных руд. В этот период римские власти пытались узаконить обязательное наследование горной профессии (metallis adscripti), лишив тем самым детей рудокопов права выбора занятия по своему усмотрению. Это привело к бегству части рабочей силы, а в отдельных случаях — к восстаниям (например, бессов в 376–378 гг. н. э.). В литературе и поэзии горное дело почти не нашло отражения. Также отсутствует античная символика горняцкого труда, за исключением монет, бывших в обращении в Далмации, Паннонии и Норике. Сохранилось описание марказитового рудника, сделанное Галеном. Ценную информацию дали археологические раскопки античных рудников в Лаврионе, Дакии, Далмации, Норике, Британии и Испании. Так, в штольнях Эмилия возле Валлерфангена (Саар) найдена надпись, относящаяся примерно к 300 г. н. э., которая содержала правовые положения, идентичные горным уставам средних веков.

## Зарождение железорудной отрасли в России (СССР)

Добыча железной руды и получение из нее железа известны с древних времен. Способ получения железа из руды (сыродутный процесс), по-видимому, был открыт в Малой Азии в конце 3-го — начале 2-го тыс. до н. э. Почти весь период 2-го тыс. до н. э. железоделательная индустрия ограничивалась обслуживанием сакральных сфер жизни. Лишь с последних веков этого тысячелетия в областях Малой Азии, Закавказья и Передней Азии железо постепенно становится основным материалом для изготовления орудий труда и оружия.

Развитие железорудной промышленности на Руси — распространение металлургии железа на территории современной России — относится к концу 2-го — началу 1-го тыс. до н. э. Племена, населявшие центральную и северную лесные области Европейской части России, были знакомы с металлургией железа с VIII–VII вв. до н. э. В степях Северного Причерноморья, где в VII–IV вв. до н. э. обитали племена скифов, обнаружены следы металлургического производства на Каменском городище, близ Некополя; там было найдено большое количество остатков железоделательных и кузнечных промыслов. В большинстве районов Восточной Азии, в Южной Сибири и на Алтае железные изделия широко распространяются в IV–III вв. до н. э. Первые признаки железорудного дела в Африке появляются в это же времена, хотя в целом большинство народов этого континента узнали железо лишь в эпоху Средневековья. В средние века распространились железоделательные народные промыслы в Карелии, Тихвине, Каргополе, Новгороде, Череповце, Устюжне, затем в районе Тулы и др. Железо получали сыродутным способом из бурого железняка в домницах и горнах. К XVI в. относится зарождение доменного производства, с XVII в. возникают горные предприятия промышленного типа. В 1632 г. построен Городищенский железоделательный завод в районе Тулы. Тульский железорудный район на базе Тульского и Липецкого

месторождений бурых железняков и сидеритов — первая сырьевая база металлургии в Центральной России.

Развитие железорудной промышленности как отрасли началось лишь в первой половине XVIII в. До середины XVIII в. в основном добывались руды с малым содержанием фосфора, что сдерживало рост железорудной промышленности. Изобретение основных способов выплавки железа (англичанин Г. Бессемер, 1856; француз П. Мартен, 1864; англичанин С. Дж. Томас, 1878) позволило добывать и перерабатывать руды с большим содержанием фосфора. В начале XVIII в. быстро развивается железорудная промышленность на Урале: в это время действует около 70 железоделательных заводов. В 1721 г. пущен Высокогорский железный рудник, а затем Гороблагодатский и Бакальский рудники. Развитие железорудной промышленности на юге России началось с постройки Луганского металлургического завода (1795). Близкое расположение топливной и рудной баз в Донбассе выводят юг России на первое место в металлургическом производстве. В 1881 г. началась массовая разработка железных руд в Кривбассе. Железорудная промышленность дореволюционной России являлась слаборазвитой отраслью горной промышленности. На подземных и открытых работах преобладали ручной труд (бурение, погрузка, откатка) и конная тяга. Максимальная добыча железной руды (1913) 9,2 млн т; средняя годовая мощность рудника 21 тыс. т руды; мощность наиболее крупных рудников в Кривбассе 100–200 тыс. т. Производительность труда одного рабочего 94–270 т руды в год.

Новый этап в развитии железорудной промышленности наступил после Октябрьской революции 1917 года. Быстрыми темпами восстанавливаются и реконструируются рудники, разрушенные во время Гражданской войны и военной интервенции 1918–1920 гг., строятся новые. На шахтах внедряются компрессорные установки, новые подъемные и водоотливные машины, механизируются горные работы, применяются эффективные системы разработки с магазинированием руды, слоевым и этажным обрушением. На карьерах внедряются гидравлические, дренажные и экскаваторные работы, ударно-канатное и вращательное бурение, паровозный железнодорожный транспорт; для отбойки руды применяют массовые взрывы. В Кривбассе появились шахты с производительностью 1,5–2 млн т руды в год («Гигант», им. С. М. Кирова, им. Карла Либкнехта, им. Коминтерна, им. Г. К. Орджоникидзе и др.). Основной сырьевой базой черной металлургии страны предвоенных лет становится Криворожский железорудный бассейн (1/2 общесоюзной добычи железной руды). Во второй половине 30-х гг. быстрыми темпами осваиваются месторождения восстановленных районов. На базе построенного в 1931 г. Магнитогорского рудника, месторождений Хакасии, Горной Шории создается новая угольно-металлургическая база страны — Урало-Кузнецкий металлургический комбинат. Удельный вес добычи железной руды восстановленных районов в 1940 г. — 33% общесоюзной добычи (19,6% в 1913 г.). Производительность труда рабочего на рудниках возросла в 5 раз (по сравнению с 1913 г.). В годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг., в период оккупации железорудных районов Юга, интенсивно растет добыча железной руды на Урале, в Казахстане и Сибири, что обеспечило потребности страны в металле для нужд фронта. В 1946–1950 гг. восстановлены и реконструированы железорудные предприятия Юга (Криворожского и Керченского бассейнов). В начале 50-х гг. в центре страны, в бассейне Курской магнитной аномалии, осваиваются месторождения богатых железных руд (Лебединский и Михайловский горно-обогатительные комбинаты (ГОК)) и железистых кварцитов (рудник им. И. М. Губкина). Железорудная промышленность страны в основном основывалась на добыче и переработке преимущественно богатых железных руд, запасы которых ограничены, что сдерживало ее дальнейшее развитие. В середине 50-х гг. начался новый этап в развитии отечественной железорудной промышленности — вовлечение в эксплуатацию разведанных запасов бедных магнетитовых руд (железистых кварцитов), после обогащения которых получаются высококачественные железорудные концентраты (содержание железа свыше 60%). Этот период характеризуется концентрацией производства, опережающим ростом открытой добычи, повышением качества товарной продукции, началом строительства крупнейших ГОКов с высокомеханизированными и автоматизированными технологическими процессами производства.

В послевоенный период существенно изменилось географическое размещение разведанных запасов железных руд: возросли запасы руд в центральном, северо-западном и восточном районах страны. По количеству балансовых запасов железных руд СССР занимал первое место в мире (свыше 100 млрд т, 1980), располагая надежной сырьевой базой для обеспечения потребностей черной металлургии. Основные железорудные базы Европейской части СССР: Криворожский железорудный бассейн (Кривбасс) и Курская магнитная аномалия, на долю которых приходилось, соответственно, 23,4 и 27,9% запасов руд. Рудами Криворожского и Кременчугского бассейнов снабжались заводы Приднепровья, Донбасса и других районов. Бурые железняки Камыш-Бурунского железорудного комбината (Керченский железорудный бассейн) служили основной рудной базой завода «Азовсталь». Металлургические предприятия центра страны (Новолипецкий, Новотульский заводы и строящийся в то время Оскольский электрометаллургический комбинат) обеспечивались рудами КМА, обладающей значительными запасами богатых (до 65% железа) и бедных магнетитовых руд. В 1981 г. производство товарной руды (16% от производства ее в СССР) осуществлялось главным образом за счет действующих с начала 70-х гг. Михайловского, Лебединского ГОКов и строящегося Стойленского с открытой добычей руды (годовая мощность каждого 24–48 млн т сырой руды). Основные запасы богатых руд залегают на большой глубине (св. 700 м) в сложных горно- и инженерно-геологических условиях. Возводится опытно-промышленный Яковлевский рудник по добыче этих руд. Рудной базой Череповецкого и других металлургических заводов являются бедные магнетитовые руды Оленегорского, Ковдорского, Костомукшского месторождений Кольского полуострова. Для обеспечения металлургических заводов Урала, Сибири значительно расширена рудная база восточных районов страны. На Урале действуют Качканарский горно-обогатительный комбинат, Северо-Песчанская шахта, наращивают добычу Высокогорское и Гороблагодатское рудоуправления. В Казахстане, в Кустанайском железорудном районе, для снабжения Магнитогорского металлургического комбината (в связи с исчерпанием рудных запасов г. Магнитная), заводов Южного Урала, Карагандинского металлургического завода построены Соколовско-Сарбайский горно-обогатительный комбинат, Лисаковский ГОК, строится Качарский ГОК, ширится разработка Атасуйского железорудного района, осваивается Коржинкольское месторождение. Рудной базой металлургических заводов Сибири (Западно-Сибирского и Кузнецкого) являются Коршуновское и Рудногорское месторождения Ангаро-Илимского железорудного бассейна (Коршуновский ГОК), а также предприятия Горной Шории (Кемеровская обл.), Красноярского края (Краснокаменское и Ирбинское рудоуправления), Хакасии (Абаканское рудоуправление), разведанные месторождения в Алтайском крае (Белорецкое, Инское и Холзунское). На востоке страны сырьевой базой являются месторождения Южно-Алданского района (Таежное, Десовское) и Чаро-Токкинского железорудного района в Южной Якутии, Гаринское (Амурская обл.), и Кимканское (Хабаровский край) месторождения, выгодно расположенные по отношению к южно-якутским коксующимся углям.

Продукция железорудных предприятий (рис. 3.2) — товарная руда — представлена концентратом и природно-богатой рудой (агломерационной и кусковой).

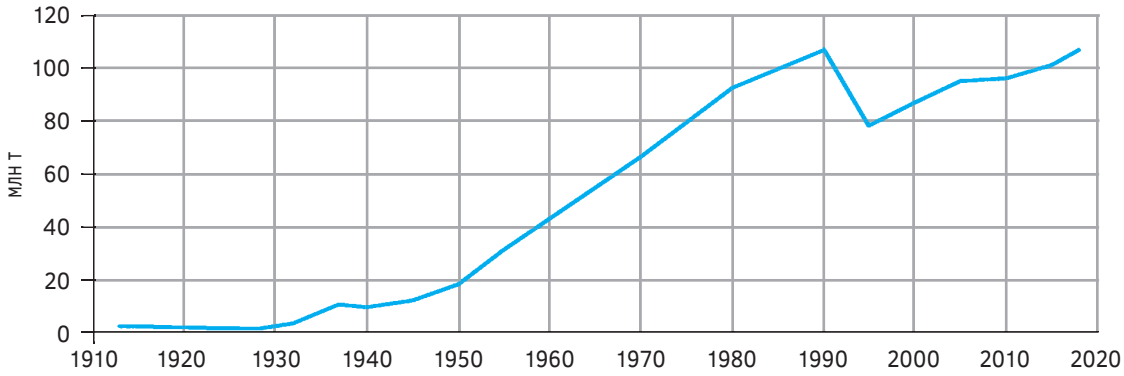



*Рис. 3.2.* Добыча железной руды в РСФСР и России

Из концентрата и агломерационной руды производят подготовленное к плавке сырье: агломерат и окатыши. В связи с ростом добычи бедных руд содержание железа в сырой руде снизилось в среднем с 44,5% (1960 г.) до 34,7% (1980 г.), а его содержание в товарной руде повысилось, соответственно, с 54,3% до 59,3%. Доля концентратов в товарной руде увеличилась с 38% (1960 г.) до 72% (1980 г.), а содержание железа в концентрате возросло с 55,1% до 61,5%. Около 42% объема железорудного концентрата содержит железа 65% и выше. С 1954 г. СССР занимал первое место в мире по производству агломерата: 151,3 млн т с содержанием железа 52,3% (1980 г.). Производство окатышей (впервые начато в 1965 г. на Соколовско-Сарбайском ГОКе) составило 51 млн т с содержанием железа 61,3% (1980 г.). За 1960–1980 гг. средняя производственная мощность горного предприятия по добыче сырой железной руды увеличилась с 1,35 до 6,8 млн т, в т. ч. карьера и шахты, соответственно, в 5 и 2 раза, добыча сырой руды выросла в 3,4 раза и составляла около 500 млн т (первое место в мире), удельный вес добычи открытым способом — с 57,1% до 84,6%.

Глубина горных работ достигла на шахтах более 1000 м (Кривбасс) и на карьерах 300 м (Кривбасс, Урал, Казахстан) при проектных глубинах, соответственно, 1200–1300 м и 500–700 м. Подземная разработка железных руд осуществляется 40 шахтами, из них 13 имеют производительность свыше 2,5 млн т каждая. Более 66% товарных руд подземной добычи производится в Кривбассе, 17% — на Урале и в Казахстане, 10% — в Сибири. В связи с ростом глубинной разработки железорудных месторождений проведены коренная реконструкция и техническое перевооружение железорудных предприятий и шахт, в результате чего средняя годовая производительность труда одного работающего на подземной добыче руды достигла 2300 т. Все шире используются системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород (69%), очистные работы на сдвоенных этажах с перепуском руды на концентрационный горизонт, механизация добычных и вспомогательных процессов. На выпуске и доставке руды применялись виброустановки и самоходные погрузочно-доставочные машины, на проходке горизонтальных выработок — комплексы горных машин и др., на проходке вертикальных выработок — комбайны, на взрывных работах — машины по механизированной зарядке скважин.

Открытая разработка руд осуществляется на 60 карьерах, из них 15 мощностью каждый 10–48,5 млн т сырой руды в год обеспечивают 73% объема открытой добычи. Удельный вес добычи сырой руды на карьерах в основных районах страны (%, 1980 г.): Украина — 47,1, Центр Европейской части СССР — 15,4, Северо-Запад Европейской части — 6,7, Урал — 14,2, Казахстан — 9,6, Сибирь — 6,3. На карьерах используются мощное высокопроизводительное буровое, погрузочное и транспортное оборудование, передовая технология и организация работ. Средняя производительность труда одного работающего на добыче сырой руды 7500 т в год (1980 г.). При бурении скважин 92% объема работ выполняется станками шарошечного бурения (диаметр скважин 250–320 мм), погрузка горной массы — экскаваторами-мехлопатами и драглайнами вместимостью ковша 4,6–16 м$^3$, роторными комплексами производительностью 5 тыс. м$^3$/час. Доставка горной массы в основном железнодорожным (53%) и автомобильным (41,2%) транспортом, в меньшем объеме конвейерным и гидравлическим транспортом. Основные тяговые средства на железнодорожном транспорте: тяговые агрегаты (сцепной вес до 360 т), электровозы (100–180 т), тепловозы мощностью 1472 кВт. Перевозка — в думпкарах (грузоподъемностью от 80 до 180 т), автосамосвалах (27–120 т). На взрывных работах применяются механизированные комплексы по приготовлению, доставке и зарядке скважин ВВ. В связи с увеличением глубины разработки на многих карьерах широко внедряется циклично-поточная технология, основанная на доставке горной массы с нижних горизонтов карьеров на поверхность конвейерным транспортом с шириной ленты 2000 м, производительностью одной линии 20 млн т руды и более в год и обеспечивающая эффективную отработку месторождения (Новокриворожский, Ингулецкий, Северный, Южный, Оленегорский ГОКи и др.).

Технология обогащения магнетитовой руды предусматривает многостадийное дробление, измельчение, магнитную сепарацию, дешламацию. Для вовлечения в эксплуатацию значительных запасов слабомагнитных руд (окисленных кварцитов) разработана технология их обогащения в сильном магнитном поле (Михайловский горно-обогатительный комбинат). Обогатительные фабрики оснащаются высококачественным оборудованием большой единичной мощности: дробилки, мельницы самоизмельчения (диаметром 9 м, объем 160 м$^3$), шаровые мельницы (объем 82 и 140 м$^3$) и др.; магнитные сепараторы (производительность 250 т/ч); гидроциклоны (диаметр 350–1400 мм); магнитные дешламаторы; вакуум-фильтры. На окомковательных фабриках устанавливаются обжиговые машины конвейерного типа (Лебединский, Северный, Михайловский ГОКи, Костомукшский горно-обогатительный комбинат) и специальная печь (Полтавский горно-обогатительный комбинат). Технический прогресс при добыче и подготовке руд обеспечивается внедрением на предприятиях автоматических систем управления как отдельными технологическими процессами, так и производством в целом (например, АСУ карьерным автотранспортом на Ингулецком и Ковдорском ГОКах, АСУ производством окатышей на Северном и Полтавском ГОКах), комплексной системы управления качеством продукции (Соколовско-Сарбайский, Ингулецкий, Михайловский ГОКи и др.).

## ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ОТРАСЛИ

Железорудная промышленность — одна из древнейших областей деятельности человека по освоению недр Земли. Она зародилась в глубокой древности с возникновением человеческого общества и развивалась на базе совершенствования орудий производства; включает в себя все виды техногенного воздействия на земную кору, главным образом, извлечение руды и ее первичную переработку. На протяжении долгого времени непрерывно изобретались и совершенствовались орудия труда человека. Ранние периоды истории железорудной промышленности протекали в разных регионах в различное время. Наиболее достоверные сведения и ранние по времени археологические источники культур периода железных орудий находим в странах античного мира, Малой и Средней Азии, в Закавказье, Западной Европе, Китае, Японии.

Возникновение железорудного промысла и ремесла, перерастание их в промышленность начались в странах Переднего Востока, античного мира, Западной Европы и др. С древнейших времен известна разработка руд шахтным и открытым способами. В 70-е гг. прошлого века железорудная промышленность перерастает в гигантскую по масштабам и в комплексную по содержанию область производства.

Следует отметить экспоненциальный характер развития техники и технологий железорудной промышленности: на протяжении сотен тысяч лет их эволюция двигалась микроскопическими темпами, и только последние два столетия ознаменовались взрывным характером развития. Произошла научно-техническая революция, позволившая от ручной добычи перейти к комбинированным машинам, а затем — на автоматику и роботов, обеспечить безлюдную выемку полезных ископаемых (табл. 3.4, 3.5).

Главным фактором развития производительных сил в античном обществе стало освоение производства железа. Добыча руд и производство металлов относились к наиболее развитым и прибыльным отраслям хозяйства греко-римской цивилизации. С развитием феодальных отношений начинается широкое развитие железорудной промышленности в Центральной Европе, применяется ручное бурение горных пород. Важные усовершенствования в железорудной промышленности были сделаны в Европе в XV–XVI вв. Применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъема, а также для водоотливных устройств позволило вести горные работы на глубине до 150 м. Начали

применяться взрывные технологии добычи. Вводится мокрое обогащение, что позволяет вести разработку сравнительно бедных руд. В 1512 г. в Саксонии была выдана привилегия на мокрую толчею. В это время в рудниках начинают устраивать деревянные настилы для перемещения по ним тележек с полезным ископаемым. Появляются первые горные училища и руководства по горному делу («12 книг о металлах» Г. Агриколы, 1556). В железорудной промышленности нашли применение паровые машины, первоначально для откачивания воды (Т. Ньюкомен в 1711–1712), затем и для рудничного подъема.

*Таблица 3.4*. Характеристика технологических циклов развития железорудной промышленности

| Период | Цикл | Определяющий признак | Орудия производства |
|---|---|---|---|
| До 1-го тыс. н. э. | Первый (ранний железный век) | Поверхностные и подземные выработки в теле полезного ископаемого для добычи руд. Огневые работы. Механический вруб | Кирки, клинья, молоты, колесные механизмы, механические приспособления для шахтного подъема и водоотлива |
| Со второй половины 1-го тыс. н. э. — до XVIII в. | Второй (цикл гидросиловых установок) | Разветвленные сети подземных выработок для добычи руд. Искусственное проветривание. Упорядоченные в пространстве и во времени шахтные выработки для добычи руды. Прообраз шахтных систем разработки руд. Порохостроительные работы | Примитивные механизмы для обогащения шахтного подъема, водоотлива, горные машины с приводом от водяного колеса, конной тяги, рельсовые вагонетки, устройства для систем вентиляции |
| XVIII–XIX вв. | Третий (цикл паровых двигателей) | Механизированное бурение скважин, аналитически рассчитанные системы подземной разработки, многоуступная открытая разработка. Взрывные работы. Гидромеханизация | Выемочные горные машины, одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, буровые станки, врубовые машины, транспортные машины с паровым и электрическим приводами, конвейеры, взрывобезопасные светильники |
| С начала XX — до середины XX в. | Четвертый (цикл электродвигателей и двигателей внутреннего сгорания) | Системы механизированных и открытой подземной разработок и обогащения руды, системы скважинной добычи. Шахтная гидродобыча | Высокопроизводительные экскаваторы, горные комбайны, установки глубокого бурения, турбобур, электробур, подземные самоходные машины, комплексы обогатительного оборудования |
| С 1950-х гг. | Пятый (информационно-технологический) | Переход от комплексной механизации к автоматизации технологических процессов добычи и комплексному освоению недр | Автоматизированные комплексы горных и обогатительных машин, установки сверхглубокого бурения, циклично-поточное и поточное производство |

*Таблица 3.5*. Основные этапы циклов развития железорудной промышленности

| Цикл | Научно-технический этап | Технико-экономический этап | Экономически-социальный этап | Социально-регуляторный этап |
|---|---|---|---|---|
| Первый (ранний железный век) | Появление механических и осветительных приспособлений для добычи руды | Освоение производства железа | Рост потребления железа в различных отраслях хозяйства | Рост численности рабочих, занятых в тяжелых условиях труда |
| Второй (цикл гидросиловых установок) | Применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъема | Увеличение объемов добычи руды | Добыча железной руды — развитая и прибыльная отрасль хозяйства | Появление первых горных училищ и руководств, рост численности и квалификации рабочих при сохранении тяжелых условий труда |
| Третий (цикл паровых двигателей) | Применение паровых машин | Увеличение объемов добычи руд, развитие открытой добычи | Активное развитие промышленности | Рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда |
| Четвертый (цикл электродвигателей и двигателей внутреннего сгорания) | Применение комбинированных горных машин | Увеличение объемов и производительности добычи руды, развитие обогащения руды | Высокий спрос на продукцию железорудной отрасли | Рост квалификации работников, улучшение условий труда |
| Пятый (информационно-технологический) | Применение автоматизированных горных машин и комплексов | Увеличение производительности добычи руды | Контроль управления основными технологическими процессами, охрана окружающей среды от влияния горных работ | Сокращение численности работников, переход работников на удаленное управление процессами добычи |

С эпохи промышленного переворота (конец XVIII — начало XIX в.) осуществляется переход к широкому применению в горном деле машин. В 1815 г. англичанин Г. Дэви изобретает безопасную рудничную лампу. Совершенствуется техника бурения, все шире применяются взрывчатые вещества, вводится рельсовая откатка с конной тягой. В 1930-х гг. начинают применять стальные канаты для рудничного подъема и откатки.

Высокий спрос на продукцию железорудной промышленности со стороны все более расширяющегося производства в XIX в. способствовал превращению железорудной промышленности в одну из крупнейших отраслей капиталистического хозяйства.

Интенсивно развивалась техника проходки стволов шахт. Усовершенствованные методы проходки, вентиляции и водоотлива позволили увеличить глубину разработок. Были созданы высокопроизводительные системы разработки рудных месторождений, введен электрический привод для подъемных машин, насосов, вентиляторов, рудничного транспорта; осуществлена механизация зарубки с помощью врубовых машин и др. Возникли научно-технические дисциплины, занимающиеся вопросами добычи отдельных видов руд.

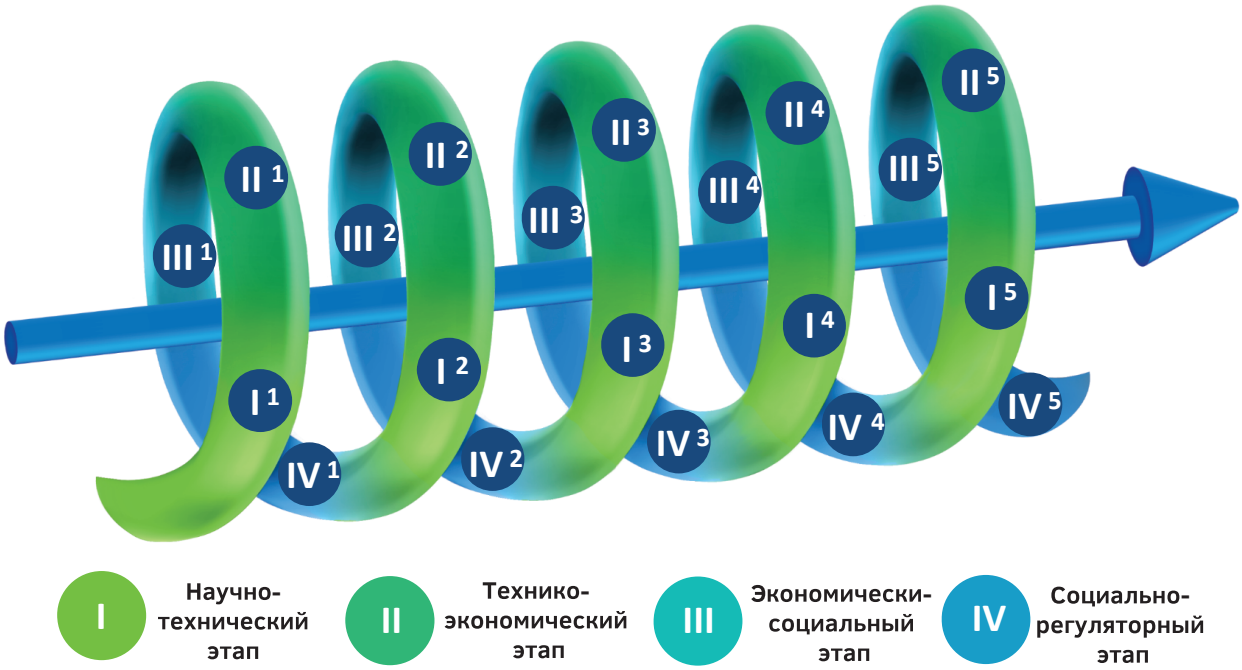
В начале XX в. продолжился рост железорудного производства. С 1901 г. по 1913 г. добыча железной руды — с 6,2 до 9,2 млн т.

Новый цикл в развитии железорудной промышленности связан с научно-технической революцией (вторая половина XX в.) и характеризуется автоматизацией процессов горного производства и созданием системы горных наук. Научно-техническая революция превратила науку в непосредственную производительную силу, что привело к внедрению комплексной автоматизации горного производства, контроля и управления основными технологическими процессами, охраны окружающей среды от влияния горных работ.

## Эволюция технологий добычи железной руды

Стоит отметить, что каждый цикл обусловлен определенным этапом, который дает новый толчок к развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 3.3).

Ресурсоэффективность в рамках исторического развития отраслей промышленности рассматривается как важнейший фундаментальный концепт перехода технологического развития на новый уровень. При этом метод исследования сосредоточен на изучении реакции отрасли как целого на изменяющиеся условия, без подробного описания механизма работы и внутреннего устройства той или иной технологии, так как в рамках поставленной задачи это не является первостепенным объектом изучения.




**I 1** — появление механических и осветительных приспособлений для добычи руды
**II 1** — освоение производства железа
**III 1** — рост потребления железа в различных отраслях хозяйства
**IV 1** — рост численности рабочих в тяжелых условиях труда

**I 2** — применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъема
**II 2** — увеличение объемов добычи руды
**III 2** — добыча железной руды — развитая и прибыльная отрасль хозяйства
**IV 2** — появление первых горных училищ, рост численности рабочих при сохранении тяжелых условий труда

**I 3** — применение паровых машин
**II 3** — увеличение объемов и производительности добычи руды, развитие открытой добычи
**III 3** — активное развитие промышленности
**IV 3** — рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда

**I 4** — применение комбинированных горных машин
**II 4** — увеличение объемов и производительности добычи руды, развитие обогащения руды
**III 4** — высокий спрос на продукцию железорудной отрасли
**IV 4** — рост квалификации работников, улучшение условий труда

**I 5** — применение автоматизированных горных машин и комплексов
**II 5** — увеличение производительности добычи
**III 5** — контроль управления основными технологическими процессами, охрана окружающей среды от влияния горных работ
**IV 5** — сокращение численности работников, переход на удаленное управление процессами добычи

*Рис. 3.3.* Эволюция технологий добычи железной руды

## ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

### Открытая добыча железных руд

На рис. 3.4 представлена общая схема технологического процесса при добыче железной руды открытым способом.

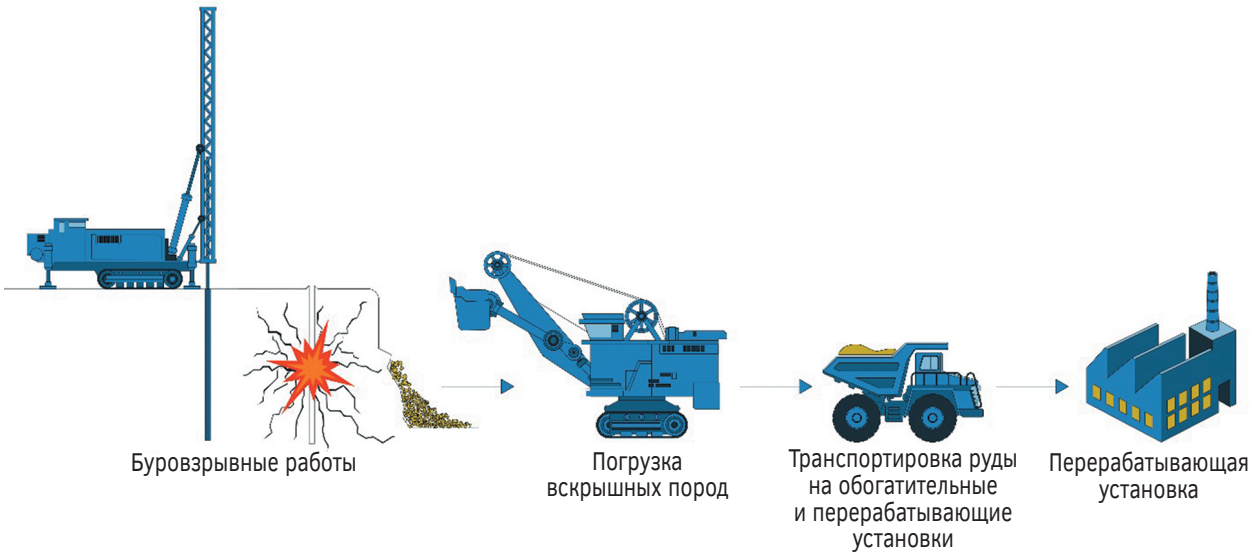



*Рис. 3.4*. Схема технологического процесса добычи железной руды открытым способом

Основными процессами открытых горных работ являются: снятие плодородного слоя почвы, производство вскрышных работ, буровзрывные работы, добыча руды, транспортировка, первичное дробление, складирование отвальных пород.

*Снятие и складирование плодородного слоя почвы*

В период эксплуатации месторождения при производстве вскрышных работ плодородный слой почвы срезается бульдозером параллельно или поперечно вскрышному уступу и сбрасывается на рабочую площадку, затем грузится основным технологическим оборудованием и вывозится транспортными средствами во временный отвал или на рекультивируемую площадь. При разработке вскрышного уступа драглайном последний снимает плодородный слой почвы и складирует в штабель вдоль железнодорожного пути с последующей погрузкой в технологический транспорт.

*Вскрышные работы*

Породы вскрыши подразделяются на рыхлую и скальную вскрышу. К рыхлым породам относятся легкоэкскавируемые породы, выемка которых может производиться без предварительного рыхления буровзрывным методом. Для разработки мягких вскрышных пород в умеренных климатических условиях при высокой производительности карьера применяют многоковшовые роторные, цепные экскаваторы и драглайны с погрузкой на конвейерный, железнодорожный или автомобильный транспорт.

Наряду с роторными экскаваторами для разработки пород рыхлой вскрыши применяется гидромеханический способ. Гидромеханическим способом называют разработку грунта, его транспортировку и укладку при помощи воды. Мощный напор воды, размывающий рыхлые породы, создается гидромониторной установкой, в которую входит гидромонитор (стальной ствол с насадками, закрепленный на шарнирном соединении), подключенный

к магистральным трубопроводам, подающим воду из насосной станции. Шарнирное соединение дает возможность поворачивать стальной ствол в вертикальных и горизонтальных плоскостях под большими углами, выбирая нужное направление забоя. Насадки способствуют формированию струи с большой кинетической энергией. Струя смешивается с породой вскрыший, и получается гидросмесь — пульпа, которая самотеком стекает в приемные зумпфы. Далее из зумпфов при помощи грунтовых насосов пульпа по трубопроводам (пульпопроводам) транспортируется к местам размещения. Для повышения производительности гидромониторных установок применяется предварительное рыхление горных пород буровзрывным или механическим методом. Укладка пород вскрыши, разрабатываемых гидромониторами, происходит в специальные отвалы — гидроотвалы или при отсутствии таковых в хвостохранилища обогатительных фабрик. Гидроотвалы обычно располагаются в естественных понижениях рельефа (балках), ограниченных намывными дамбами, при отсутствии балок дамбы располагают со всех сторон. Укладка грунта происходит за счет снижения скорости его перемещения и оседания твердых частиц. Для отвода воды из гидроотвалов устраивают специальные дренажные колодцы, с которых вода по трубам отводится за пределы участка или используется в оборотном цикле, т. е. возвращается обратно по напорным водоводам к гидромониторам.

*Буровзрывные работы*

Буровзрывные работы представляют собой комплекс работ, связанных с подготовкой скального массива пород к экскавации. Ввиду крепости скальных пород их экскавация без предварительного буровзрывного или механического рыхления не может быть произведена: современным канатным, реечным или гидравлическим экскаваторам не хватает усилия на ковше для разрушения скального массива пород. Поэтому для подготовки к экскавации плотных, рыхлых, смерзшихся или скальных горных пород при выемке применяется предварительное рыхление или механическим способом (фрезы, рыхлители), или буровзрывным способом.

Бурение скважин производится преимущественно станками шарошечного бурения (СБШ), которые получили наибольшее распространение на открытых горных работах при добыче железной руды. Шарошечное бурение — способ бурения скважин с использованием шарошечного долота. Станки шарошечного бурения по принципу действия относятся к вращательным, разрушение породы в забое скважины происходит в результате скалывания породы в местах контакта поверхностного слоя с зубьями головки рабочего органа станка — шарошки. Шарошка привинчивается на буровой став трубчатых штанг. Конструктивно шарошки выполняются трех видов: с зубчатыми венцами, штыревые из твердого сплава и комбинированные. Первые предназначены для бурения средних по крепости пород, вторые — крепких, третьи — разнопрочных. Сами штыри в зависимости от крепости и вязкости пород имеют рабочую поверхность в виде клина или полусферы. Очистка скважины от буровой мелочи и охлаждение шарошек производятся продувкой сжатым воздухом, подаваемым к шарошке по полостям буровых штанг. Продукты бурения улавливаются специальными устройствами, установленными на станке. Станки могут бурить вертикальные и наклонные скважины диаметром от 150 до 320 мм. Давление на забой зависит от веса и конструктивных особенностей станка. Оно передается от станка через буровой став. Диаметр взрывных скважин зависит от многих факторов: категории буримости породы, расстояния между скважинами, наличия трещин в массиве горных пород, характеристик взрывчатого вещества, объема заполнения скважины взрывчатым веществом и др. Горнорудные предприятия определяют для себя оптимальный диаметр бурения, исходя из опыта проведения буровзрывных работ и научно-исследовательских работ. Зачастую на предприятии имеются станки с разным диаметром бурения, применяемые в зависимости от условий бурения и типов горных пород. Бурение скважин происходит через определенное расстояние, называемое сеткой скважин бурения.

При бурении скважин с высокой обводненностью (более 80%) применяется бентоглина для затирки устья и колонок скважин. Для предотвращения обрушения верхней части устья скважины применяются обсадные трубы: гофрированные пластиковые и трубы из плотного картона. Диаметр труб — от 140 до 311 мм.

Сущность метода скважинных рядов заключается в размещении взрывчатого вещества в наклонных или вертикальных скважинах с забойкой (заполнением) верхней части инертными материалами из песка, буровой мелочи или забоечного материала специального состава. Скважины располагаются в один или несколько рядов параллельно верхней бровке уступа, друг от друга на расчетном расстоянии по прямоугольной сетке или в шахматном порядке. Расстояние от первого ряда скважин до верхней бровки уступа должно обеспечивать безопасность размещения бурового станка на уступе и рабочих по заряжанию скважин. Расстояние между скважинами выбирается таким образом, чтобы разрушения в массиве от каждой скважины перекрывали друг друга. Заряжание скважин, помещение внутрь скважины взрывчатого вещества осуществляются специализированными смесительно-зарядными машинами, доставляющими компоненты взрывчатых веществ из цеха по их изготовлению непосредственно на подготовленный для заряжания блок. Патрон-боевик, который служит для инициации взрывчатого вещества в каждой скважине, располагается внутри скважины обычно в самом низу. Это обеспечивает совпадение направления детонации заряда взрывчатого вещества и направления разрушения массива а также лучшую проработку подошвы. Заряд в скважине может быть сплошным и рассредоточенным по высоте воздушным промежутком или инертным материалом. Рассредоточение заряда позволяет увеличить эффективность использования взрывчатого вещества для дробления за счет более равномерного распределения взрывчатого вещества (ВВ) в массиве. Забойка скважин, т. е. заполнение пространства между ВВ, производится забоечными машинами или вручную. В качестве забоечного материала применяется песок, отсев, буровой шлам или вода (гидрозабойка). Доставка ВВ со склада или завода в карьер обеспечивается специальным и специализированным автотранспортом.

*Добыча руды*

Добычные работы представляют собой комплекс процессов по извлечению руды из массива горных пород. Добыча руды в железорудных карьерах осуществляется экскаваторным способом.

Процесс экскавации руды из массива заключается в срезании стружки режущей кромкой ковша, повороте экскаватора к месту разгрузки, разгрузке ковша и возвращении рабочего органа в забой. Выемка взорванной горной массы крепких пород осуществляется заглублением ковша в развал. По средствам перемещения рукояти с ковшом современные экскаваторы разделяются на канатные и гидравлические. Черпание у канатного экскаватора происходит благодаря усилию напорного механизма, расположенного на стреле, и его подъемных канатов от подъемных лебедок. Траектория черпания при этом сохраняется постоянной. Начинается она в нижней части забоя. У гидравлического экскаватора траектория черпания может быть разнообразной благодаря особому соединению рукояти со стрелой и дополнительному механизму поворота ковша на конце рукояти. Разгрузка у гидравлического экскаватора осуществляется опрокидыванием или раскрытием ковша. У канатного экскаватора разгрузка осуществляется открыванием днища ковша над местом разгрузки. Разгрузка руды осуществляется в автосамосвалы или железнодорожные думпкары.

Для канатных механических лопат радиус и высота черпания и разгрузки изменяются с изменением угла наклона стрелы, которая устанавливается под углом 45°. Габариты определяются по максимально выступающим частям экскаватора. Рабочие параметры экскаватора обусловливают параметры забоя и технологическую схему его работы. При установлении ширины забоя механической лопаты определяющим является радиус

черпания на уровне стояния. Максимальная производительность экскаватора достигается при минимуме передвижек в забое и возможно меньшем среднем угле поворота экскаватора от места черпания к пункту разгрузки. При погрузке руды в транспортные средства на уровне стояния экскаватора ширина тупиковой заходки определяется с учетом размещения транспортных коммуникаций и схемы подачи транспортных средств под погрузку. Высота забоя ограничивается высотой черпания экскаватора. Минимальная высота забоя механической лопаты принимается из условия наполнения ковша за одно черпание. Угол откоса поверхности забоя зависит от свойств разрабатываемого массива. При разработке забоя с погрузкой горной массы в средства железнодорожного транспорта ось железнодорожного пути располагают на расстоянии 0,8 максимального радиуса черпания от оси экскаватора. При погрузке на автомобильный транспорт автосамосвалы могут располагаться сбоку или позади экскаватора в зоне разгрузки ковша с минимальным углом разворота от места черпания. По условию безопасности ковш не должен перемещаться над кабиной водителя. При погрузке на конвейерный транспорт горная масса загружается экскаватором в бункер-питатель, который располагается с боку экскаватора или внутри заходки позади экскаватора.

Техническая производительность механических лопат зависит от вместимости ковша, длительности цикла и свойств разрабатываемых горных пород, которые влияют на длительность операции черпания и наполнения ковша. Рабочий цикл экскаватора складывается из следующих операций: черпание, выведение ковша из забоя, поворот его к месту разгрузки, подъем или опускание ковша на уровень разгрузки, возвращение ковша в забой и установка его для черпания. Операции выведения ковша из забоя и установки его на уровень разгрузки выполняются во время поворота его к месту разгрузки. Во время поворота экскаватора в забой выполняется операция опускания ковша к месту начала черпания.

## Подземная добыча железных руд

Подземная разработка месторождений железных руд (как и прочих полезных ископаемых) осуществляется с использованием подземных горных выработок под толщей перекрывающих пород.

Схема технологического процесса добычи железной руды подземным способом с использованием в забое самотечно-напорного гидротранспорта приведена на рис. 3.5.

Подземная разработка месторождений состоит из трех стадий: вскрытие, подготовка и очистная выемка. В начале разработки месторождения эти стадии выполняются во времени последовательно, а затем совмещаются.

Планомерная и эффективная разработка месторождения возможна при условии строгой увязки во времени и пространстве вскрытия, подготовки и очистной выемки и при обеспеченности рудника достаточными запасами вскрытого, подготовленного и готового к выемке полезного ископаемого.

Вскрытие заключается в проведении горных выработок, открывающих доступ с поверхности к рудному телу и обеспечивающих возможность проведения подготовительных выработок.

Выработки вскрытия — шахтные стволы, околоствольные выработки, квершлаги, штольни, капитальные рудоспуски и др.

Вскрытие месторождений осуществляют главными и вспомогательными выработками. Главные вскрывающие выработки (стволы, штольни) служат для транспортирования железной руды (сырой) и пустой породы на поверхность, вентиляции, перемещения людей, доставки материалов и оборудования. Вспомогательные выработки служат для вентиляции, доставки оборудования, а также в качестве дополнительного выхода на поверхность и других целей. Взаимное расположение главных и вспомогательных стволов определяется принятой схемой проветривания.

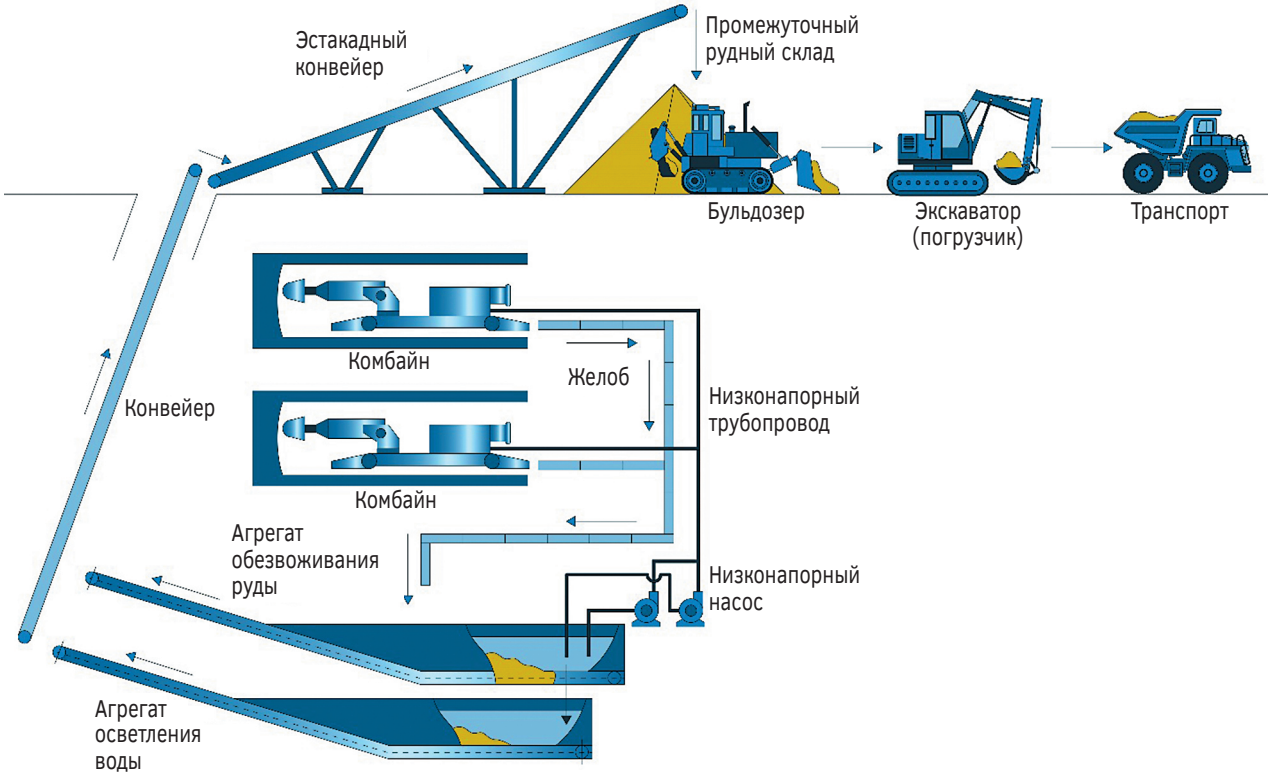



*Рис. 3.5.* Схема технологического процесса добычи железной руды подземным способом с использованием в забое самотечно-напорного гидротранспорта

Главные вскрывающие выработки проходят: по месторождению; по пустым породам со стороны лежачего либо висячего бока или с флангов; по пустым породам и руде, пересекая рудное тело.

Ввиду ответственного назначения выработок вскрытия и длительного срока их службы большое значение придают обоснованию и выбору их формы, размеров, сечений и способов проведения, крепления и расходов по ремонту крепи за все время существования. Размеры выработки принимают достаточными для нормальной работы транспорта, безопасными и удобными для передвижения людей, доставки материалов и оборудования, а также для обеспечения прохождения необходимого количества воздуха.

В зависимости от места расположения главных вскрывающих выработок способы вскрытия месторождения разделяют на простые и комбинированные. Существует достаточное разнообразие простых и комбинированных способов вскрытия.

К простым способам относятся вскрытия: вертикальным шахтным стволом по рудному телу, по породам лежачего бока, по породам висячего бока; наклонным шахтным стволом по породам лежачего бока и на флангах месторождения; вскрытие штольней по рудному телу, по породам лежачего бока, по породам висячего бока.

Комбинированные способы сочетают два или более способа вскрытия, например: вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в вертикальный слепой ствол; вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный слепой ствол; штольня с переходом в вертикальный слепой ствол; штольня с переходом в слепой наклонный ствол.

Подготовка (подготовительные работы) — это проведение горных выработок-штреков, восстающих, ортов и др., которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки: этажи, блоки, панели. Выемочный участок, в свою очередь, делится подготовительными и нарезными выработками на отдельные части: подэтажи, слои, прирезки, камеры, междуэтажные, междукамерные, междупанельные целики и др.

Способы подготовки основных горизонтов определяются технико-экономическим сравнением возможных вариантов, учитывающих геологические, технические, технологические и экономические факторы и зависят от характера рудного тела — его мощности и угла падения, от физико-механических свойств руды и вмещающих пород, принятого порядка очистной выемки в этаже, от способа транспортирования полезного ископаемого.

Назначение подготовительных выработок заключается в следующем:

– оконтуривание (выделение) этажа, шахтного поля, блоков или панелей;
– создание связи блока (панели) с общерудничной транспортной сетью;
– обеспечение эффективного проветривания рабочих мест;
– обеспечение свободного доступа в забои и аварийного выхода из них, снабжение забоев оборудованием, материалами, энергией, высокопроизводительная выдача из них добытой руды.

Принятый способ подготовки, расположение и размеры подготовительных выработок должны обеспечивать: безопасное производство очистных работ; эффективное проветривание очистных забоев; своевременную подготовку этажей и блоков для сохранения постоянного резерва подготовленных и готовых к выемке запасов руды с определенным средним содержанием полезных компонентов; удобные и безопасные условия передвижения людей, доставку материалов и оборудования по выработкам; минимальные потери руды в целиках, предохраняющих подготовительные выработки, удобные и производительные способы доставки руды, погрузки и откатки; минимальные расходы на поддержание выработок и ремонт крепи.

В рамках подготовки создаются коммуникации и магистрали для вентиляции, канализации электроэнергии, передвижения людей и транспортирования грузов.

При значительном притоке воды проведение подготовительных выработок должно обеспечивать своевременный дренаж месторождения.

Подготовленные запасы руды — запасы выемочных участков, в которых полностью пройдены подготовительные выработки, предусмотренные принятой системой разработки.

Разделение рудничного поля на этажи производят выработками основного горизонта — откаточными штреками и ортами. Восстающими и наклонными выработками этажи разделяют на выемочные блоки, в некоторых случаях этажи делят по высоте на подэтажи. Высота этажа составляет 50–100 м (редко более) в зависимости от горно-геологических условий и технологии добычи.

Для передвижения механизмов на участках очистной выемки используют систему горизонтальных выработок откаточного и вентиляционного горизонтов, восстающих и рудоспусков, при подготовке наклонными съездами используют съезды спиральной или иной формы и рудоспуски, сбитые с подэтажами.

При большой мощности рудных тел в породах лежачего бока проходят полевые восстающие, соединяющие полевые этажные штреки. Помимо этого, проходят вспомогательные восстающие у контакта висячего бока или восстающие, пересекающие рудное тело.

Отрезные, рудоспускные, вентиляционно-ходовые восстающие между подэтажами и дучки проходят буровзрывным способом секционного взрывания скважин, бурением или шпуровым расширением скважин большого диаметра. Наибольшее распространение способ проходки восстающих секционным взрыванием получил при оформлении отрезных восстающих или щелей при этажной и подэтажной отбойке руд.

Проходка восстающих выработок — один из трудоемких и опасных процессов.

Для механизации процессов проходки выработок с углом наклона 60–90° применяют комплексы КПВ.

Бурение с полков осуществляется перфораторами. Однако способ не исключает главного недостатка — пребывания проходчиков в опасных условиях, и в последнее время применяется все реже.

Способ проходки бурением и расширением вертикальных и наклонных скважин с использованием буровых станков — безлюдный и один из самых перспективных. Скорость проходки восстающих увеличивается по сравнению с буровзрывными способами в разы. Станки этого типа предназначены для проведения вертикальных и наклонных выработок диаметром до 3 м до 100 м в длину и под углом до 70° в породах с коэффициентом крепости до 12, по Протодьяконову, однако применяется и в более крепких породах. Применяют также станки для проходки восстающих снизу вверх сплошным забоем или в две стадии с первоначальным бурением опережающей скважины.

Горные выработки, проводимые в уже подготовленных участках и необходимые для производства выемки руды из этих участков, принято называть нарезными выработками, а выполняемые при их проведении работы — нарезными работами.

Нарезные выработки проходят в пределах блоков, панелей непосредственно для очистной выемки:

- подэтажные горизонтальные выработки разделяют блок на отдельные выемочные подэтажи;
- выработки горизонта скреперования — штреки или орты служат для доставки отбитой руды до выработок основного горизонта, а также для вторичного ее дробления;
- выработки горизонта грохочения — камеры, штреки, орты служат для вторичного дробления руды и перепуска руды на основной горизонт;
- выработки горизонта подсечки служат для подрезки массива руды в днище блока;
- отрезные восстающие служат для отрезки массива руды в заданном месте блока;
- щели, ходки, сбойки и ряд других выработок обеспечивают оптимальное развитие работ.

Для нарезки днища блоков используют самоходные буровые установки и погрузочно-доставочные машины или перфораторы на пневмоподдержке и скреперные установки различных модификаций.

Готовые к выемке — запасы руды подготовленных выемочных участков, в которых полностью пройдены нарезные выработки, необходимые для производства очистной выемки.

Создание и постоянное сохранение резерва вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов необходимо для того, чтобы:

- планомерно и своевременно по мере отработки одних участков месторождения развивать добычу руды на других участках в необходимом количестве;
- иметь запас времени для эксплуатационной разведки и дренажа вводимых в эксплуатацию частей месторождения;
- поддерживать равномерное содержание полезных компонентов в руде, направляемой на переработку, путем планомерного ввода в очистную выемку участков месторождения с различным составом руды;
- иметь резервные участки на случай временного прекращения работ по вскрытию и подготовке или необходимости увеличения добычи руды сверхустановленного плана.

Очистная выемка — технологический процесс извлечения руды из выемочного участка и поддержания образующихся при этом очистных выработок и очистного пространства.

Очистное (выработанное) пространство может в процессе очистной выемки оставаться открытым, т. е. свободным, заполняться отбитой рудой, закладкой или обрушенными породами либо поддерживаться крепью.

Определенный порядок подготовки и очистной выемки во времени и пространстве принято называть системой разработки, во всем многообразии систем каждой системе присущи: конструктивные характеристики; порядок очистной выемки; технология очистной выемки. Очистная выемка при любой системе разработки включает три основные операции: отбойку руды — отделение ее от массива; доставку руды — перемещение отбитой руды от забоя до откаточного горизонта; составной частью этой операции являются выпуск и погрузка руды; поддержание выработанного пространства.

Из технологических процессов очистной выемки наибольшее влияние на расположение выработок откаточного горизонта оказывает доставка руды, включая ее погрузку. Нередко изменение того или иного элемента технологического процесса вызывает изменение схемы расположения откаточных штреков и ортов. Например, переход от скреперной доставки к вибровыпуску или самоходному оборудованию существенно меняет как схему, так и параметры выработок основного горизонта.

При разработке мощных месторождений, сложенных слабыми или трещиноватыми минералами, способными при обнажении на достаточной площади под действием гравитации и давления налегающей толщи обрушаться, используют феномен самообрушения.

Буровзрывной способ является универсальным для отбойки железных руд средней и высокой крепости, отбойку ведут с помощью зарядов ВВ в шпурах, взрывных скважинах и минных выработках. Взрывной способ разрушения основан на применении взрывчатых веществ, при быстротечном разложении которых освобождающаяся энергия взрыва отделяет от массива и осуществляет дробление горной массы.

Для бурения взрывных скважин и шпуров используют разнообразные буровые перфораторы, станки, каретки. Применяются буровые станки с пневматическим или гидравлическим приводом, с электродвигателем, двигателем внутреннего сгорания, дизель-электрическим приводом, самоходные, передвижные на специальных тележках. Бурильные машины с пневматическими двигателями необходимо обеспечивать сжатым воздухом, подаваемым от компрессора по воздуховодам, бурильные машины с электродвигателями снабжаются электроэнергией по кабелям, бурильные машины с двигателями внутреннего сгорания, как правило, потребляют дизельное топливо.

Расположение скважины может быть параллельным, параллельно-сближенным, веерным. Для размещения зарядов ВВ до недавнего времени самыми распространенными были скважины диаметром 105–110 мм, которые бурят отечественными станками с погружными пневмоударниками. В последнее время для подготовки массива к обрушению значительную долю буровых работ производят самоходным импортным оборудованием с диаметром скважин 89–102 мм.

По условиям технологического процесса отбитая руда должна иметь куски определенной крупности. Размеры максимально допустимого куска во взорванной горной массе определяются параметрами транспортных средств, дробилок и других приемных устройств, а также условиями работы оборудования.

Максимально допустимый размер кусков обычно принимают от 300–400 мм до 800–1000 мм, при отбойке руды взрывным способом образуется некоторое количество некондиционных кусков — негабаритов. Для дробления негабарита применяют взрывчатые вещества или механические устройства (дробилки, бутобои).

Для улучшения дробления руды и снижения сейсмического эффекта необходимо использовать дифференцированное распределение ВВ в рудном массиве (геометрию расположения вееров и пучков скважин) и короткозамедленное взрывание зарядов, например, с интервалами: 25, 50, 75, 100 и 150 мс.

При заряжании взрывчатое вещество засыпается в загрузочную емкость машины, затем поступает в питатель (барабанный, камерный или эжекторный), далее транспортируется сжатым воздухом (от шахтной пневмосети) по гибкому доставочно-зарядному шлангу в скважины или шпуры.

Механическая отбойка применяется в основном при выемке руд и пород низкой крепости, используются самоходные комбайны с шарошечными рабочими органами.

Механизированная доставка производится скреперами, погрузочно-доставочными машинами, конвейерами. Иногда доставку осуществляют силой взрыва.

Выпуск руды из очистного пространства через выработки днищ блоков, оборудованных вибродоставочными установками, производится непосредственно в откаточные сосуды. Выпуск на почву выработок обычно сопровождается вторичным дроблением руды, которое

зачастую осуществляется вблизи забоя в специальных выработках на горизонте доставки (грохочения). Далее производят перепуск руды через рудоспуски на откаточный горизонт и загрузку в подвижной состав через люки, вибропитатели и другие устройства.

Традиционно на железодобывающих рудниках используют скреперную доставку и вибровыпуск, однако в настоящее время широко применяются самоходные погрузочные машины. Мощные подземные ковшовые погрузчики высокоманевренны. Они сконструированы и сделаны для тяжелых условий эксплуатации в ограниченном пространстве. По большей части они оборудованы дизельными двигателями. Надо признать, что погрузочно-доставочные машины с электрическим приводом обеспечивают лучшие условия труда за счет отсутствия выхлопных газов, меньшего уровня вибраций и шума.

На мощных железорудных месторождениях широко применяются системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород, которые характеризуются обрушением подсеченного снизу или сбоку массива руды в подэтаже или этаже. Выпуск основной массы руды производится под обрушенными, опускающимися в процессе выпуска пустыми породами, которые заполняют выработанное пространство. Наиболее широкое распространение при разработке железных руд получило этажное и подэтажное обрушение с отбойкой руды глубокими скважинами.

Принудительное этажное и подэтажное обрушение без компенсационных камер предполагает отбойку секциями на массив ранее обрушенной руды или пустой породы. Единая технология очистной выемки для всех участков блока этажа характерна для этой системы. Поэтому ее относят к системам с одностадийной выемкой в отличие от этажно-камерных систем, систем этажного обрушения на компенсационные камеры и ряда других, в которых отработка блока осуществляется в две или даже три стадии (выемка камер, отработка потолочины и междукамерных целиков, выемка днища). Следует отметить, что в недостаточно устойчивых рудах отбойка в зажатой среде может вызвать нарушение массива руды и пройденных в нем выработок. Поэтому применение подэтажного обрушения без компенсационного пространства требует в каждом отдельном случае проведения опытных работ.

Вариант с обрушением руды на почву подэтажных (доставочных) выработок, называемый часто шведским вариантом подэтажного обрушения или вариантом с торцовым выпуском, является одним из наиболее простых и производительных.

Горные выработки и пустоты, образовавшиеся после выемки полезного ископаемого, заполняются со временем или сразу обрушающимися породами, в результате чего массив пород над месторождением деформируется и оседает. Сдвижение пород обычно вызывает плавное оседание земной поверхности, без разрыва ее сплошности, или резкое, со значительными смещениями и провалами.

Закладка пустот — заполнение их закладочным материалом: пустой породой, хвостами обогатительных фабрик, твердеющими смесями и т. п.

Способ используется в подземной разработке железных руд при необходимости сохранять земную поверхность от разрушения или минимизировать влияние горных работ на важные объекты. Это особенно важно из-за наличия водоносных горизонтов, водоемов или крупных сооружений на поверхности и пр.

Закладочным материалом чаще всего являются попутно или специально добываемые породы, хвосты обогатительных фабрик. По признаку заполнения выработанного пространства закладка может быть полной или частичной. Чаще всего используют:

- твердеющую гидравлическую закладку — закладочный материал включает вяжущие вещества; в результате твердения закладки образуется монолитный массив значительной устойчивости и прочности;
- сухую закладку — закладочный материал не содержит воды сверхъестественной влажности.

В заключительной стадии выемки запасов очистные выработки погашают или приводят в такое состояние, в котором они будут находиться в течение неопределенно долгого времени.

Подземный транспорт — комплекс сооружений и устройств, предназначенный для приема и перемещения различных грузов и людей. В задачи шахтного транспорта входит формирование и реализация встречных грузопотоков. Основная цель — транспортирование руды и породы от пунктов выгрузки из очистных блоков, проходческих забоев до перегрузочных комплексов, околоствольных дворов и рудничного подъема.

Кроме того, транспорт осуществляет функцию своевременного и бесперебойного снабжения добычных участков материалами, инструментом, оборудованием и при необходимости перевозку людей к месту работы и обратно.

На рудниках, добывающих железные руды, используют:

– рельсовый транспорт (контактные электровозы, рудничные вагонетки);
– самоходное оборудование на пневмошинном ходу;
– конвейерную доставку.

Безрельсовое транспортирование с использованием самоходного оборудования применяется редко. Основной вид транспорта — автосамосвалы высокой грузоподъемности.

Ленточные конвейеры применяют только для транспортирования руды, прошедшей стадию дробления в подземных комплексах дробления.

Подъем и подземный транспорт — это звенья одной транспортной системы. По типу оборудования рудничный подъем разделяют на клетевой, скиповой, конвейерный, автомобильный, а по назначению — на главный (для выдачи руды) и вспомогательный. Для вспомогательного подъема по вертикальным стволам используют то же оборудование, что и для главного. Его назначение заключается в выдаче на поверхность породы (вагонами в клетях или скипами), спуске-подъеме людей (в клетях), спуске в шахту материалов, инструмента (в клетях), спуске рабочего и подъеме неисправного оборудования (малогабаритное — в клетях, крупногабаритное — на подвеске под клетями, целиком или частями или на специальных грузовых платформах в неразобранном виде по отдельным стволам).

На железных рудниках при значительной глубине разработки используют скиповой подъем руды. Высокая производительность скипов объясняется их большей вместимостью (до 50 т), скоростью движения (до 20 м/с и более, тогда как клети движутся со скоростью не более 8 м/с), а также полной автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций и подъема-спуска скипов.

Конвейерный подъем эффективно применять на сравнительно неглубоких рудниках (до 400–600 м) большой производительности (свыше 4–5 млн т/год), а также с меньшей производительностью при доработке глубоких горизонтов для подъема руды на вышележащий комплекс загрузки скипов. Как правило, применяют мощные ленточные конвейеры. Для использования конвейерного подъема необходимо сравнительно мелкое дробление руды на куски размерами не более 0,1–0,15 м. Угол наклона ствола не должен превышать 16–18°.

Автомобильный подъем руды применяется в нашей стране в единичных случаях. Угол наклона автомобильных уклонов, съездов, стволов составляет 6–8°.

Шахтный водоотлив предназначен для откачки воды из горных выработок шахты. Главный рудничный водоотлив осуществляет откачку общешахтного притока воды посредством подъема воды по трубам на поверхность, участковый водоотлив — перекачку воды из отдельных участков шахты к водосборникам главного водоотлива (реже — непосредственно на поверхность земли). Схема водоотлива определяется проектом в зависимости от способа вскрытия, порядка разработки и гидрогеологических условий месторождения.

Большинство железорудных шахт имеют значительные глубины, на них применяется ступенчатый водоотлив, когда из нижних горизонтов вода перекачивается в промежуточные водосборники вышележащих горизонтов и затем на поверхность.

В систему шахтного водоотлива входят: водоотводные канавки, водосборники, насосные станции с водозаборными колодцами и водоотливными установками, с всасывающими и нагнетательными трубопроводами. В стволах оборудуются зумпфовые водоотливы, перекачивающие воду в шахтную водоотливную сеть.

Шахтные водосборники и насосные камеры располагают с учетом схем вскрытия и других горно-геологических и горнотехнических условий. Для главного водоотлива на шахтах применяются в основном центробежные многоступенчатые секционные насосы в горизонтальном исполнении, допускающие содержание механических примесей в воде (частицы до 0,1–0,2 мм) до 0,1–0,2%. Количество насосов строго регламентируется.

Для подачи воды на поверхность в стволе шахты прокладываются несколько ставов нагнетательных труб — рабочие и резервные.

Водоотливные установки оборудуются аппаратурой автоматизации, контроля и защиты. Аппаратура автоматизации обеспечивает автоматическую заливку, пуск и остановку насосов в зависимости от уровня воды в водосборнике, поочередную работу насосов, автоматическое включение резервных насосов при аварийном подъеме уровня воды в водосборнике и неисправности работающего насоса, дистанционный контроль и сигнализацию об уровне воды в водосборнике.

Рудничная вентиляция или проветривание шахт применяется для создания в подземных выработках нормальных атмосферных условий, исключающих вредное воздействие на человека ядовитых газов, высоких и низких температур. Основной принцип организации проветривания горных выработок шахты (рудника) — создание сквозной вентиляционной струи за счет общешахтной депрессии и пропуска этой струи через последовательно соединенные выработки. Используется нагнетательный, всасывающий или нагнетательно-всасывающий способ вентиляции и специальный порядок распределения и движения воздуха по выработкам. Воздух подают в шахту по одним выработкам, а отводят на поверхность по другим. Свежий воздух по выработкам распределяют в соответствии с потребностью при помощи вентиляционных устройств: автоматических вентиляционных дверей, шлюзов и перемычек.

Источником движения воздуха в горных выработках являются шахтные вентиляторы главного и местного проветривания. Используются центробежные вентиляторы типа ВЦ и осевые вентиляторы типа ВОД. Широко применяется частотное регулирование приводных электродвигателей. Главные вентиляторные установки (ГВУ) снабжаются системой дистанционного управления приводом вентилятора и контроля параметров работы с пульта главного диспетчера шахты. ГВУ оборудуют системой реверсирования вентиляционной струи. При работе вентиляторов на нагнетание в ГВУ дополнительно устраивается калориферная установка для подогрева воздуха в зимнее время. По типу теплоносителя калориферные установки могут быть с прямым нагревом воздуха с использованием природного газа, электрическими, паровыми или водяными.

При прохождении по подземным выработкам вентиляционной струи к рудничному воздуху примешиваются пыль, различные газы, появляющиеся вследствие производства взрывов, работы дизельных машин, гниения деревянной крепи и т. д. Основная мера борьбы с примесями вредных газов — разжижение их свежим воздухом до предельно допустимых концентраций, например: газообразных продуктов взрыва ВВ (в первую очередь CO — 0,0017%, $NO_2$ — 0,00026%); выхлопных газов, работающих в выработке машин с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Все машины с дизельными ДВС должны быть оборудованы двухступенчатой системой очистки выхлопных газов (каталитической и жидкостной).

Для эффективного выноса пыли из забоя скорость воздуха должна быть не менее расчетной, кроме того, для борьбы с запыленностью шахтного воздуха применяют специальный комплекс мер, среди которых наиболее распространено гидрообеспыливание.

*Обращение с пустыми породами*

В зависимости от условий залегания извлекают не только полезное ископаемое, но и пустые породы или некондиционную руду. Кроме того, создание и постоянное сохранение резерва вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов требуют значительных объемов проходческих работ. Это существенные объемы горной массы при годовой добыче в несколько

миллионов тонн железной руды. Удельный расход выработок на 1000 т сырой руды: горноподготовительных выработок может достигать 2–6 м$^3$, нарезных — 8–14 м$^3$. Во время эксплуатации месторождения большую часть нарезных выработок проводят по рудному массиву (попутная добыча); капитальные и горно-подготовительные выработки, как правило, проходят по вмещающим породам. Пустые породы из добычи и от проходки горных выработок необходимо транспортировать отдельным потоком, выдавать на поверхность и складировать в отвалы. Для этого используются рудничный транспорт и подъем, на поверхности используется автомобильная и бульдозерная техника. Технология отвалообразования и комплексная механизация аналогичны процессам отвалообразования пустых пород на открытых горных работах.

Руды, по своим кондициям не отвечающие в настоящее время требованиям переработки или потребителей, попутные полезные ископаемые, не используемые в данный момент, укладываются в отдельные отвалы.

Существует положительная практика применения пустой породы в качестве сухой закладки подземного выработанного пространства, зон сдвижения и воронок обрушения на земной поверхности.

## Обогащение железных руд

Обогащение руд — совокупность методов разделения металлов и минералов друг от друга по разнице их физических и/или химических свойств.

В результате обогащения составные компоненты руды выделяются в следующие продукты: концентраты (один или несколько) и хвосты. Если из руды получают два и более концентратов различных полезных компонентов, обогащение называется комплексным.

Технология обогащения руды представляет собой ряд последовательных операций (процессов), в результате которых происходит отделение одного или нескольких полезных компонентов от примесей. Процессы обогащения по своему назначению делятся на подготовительные, основные (собственно, процессы разделения минералов) и вспомогательные.

Подготовительные процессы — дробление, измельчение, грохочение и классификация предназначены для получения продукта заданной крупности, требуемой для последующего процесса.

Дробление и измельчение — процессы уменьшения размеров кусков полезных ископаемых под воздействием внешних сил. При дроблении получают продукты крупнее 5–8 мм, при измельчении — менее 5 мм.

Для разделения руды, дробленого или измельченного материала на продукты различной крупности применяют грохочение и классификацию.

Грохочение — рассев руды на классы крупности на решетах или ситах с калиброванными отверстиями.

Классификация — разделение дробленой или измельченной руды по крупности, основанное на выносе мелких частиц движущимся водным или воздушным потоком.

К основным относятся процессы, собственно, обогащения-разделения минералов, в результате которых полезные компоненты выделяются в виде концентратов, а порода и примеси удаляются в виде хвостов. Процессы обогащения (разделения) основаны на различиях в физических или физико-химических свойствах разделяемых минералов: крупности, форме, плотности, магнитной восприимчивости, электропроводности, смачиваемости и др.

В гравитационных процессах используются различия в плотности, крупности и форме зерен.

Магнитный метод (магнитная сепарация) обогащения основан на различиях удельной магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости минералов, слагающих руду.

Электрический метод (электрическая сепарация) обогащения использует различия в электропроводности и способности минералов приобретать под воздействием тех или иных внешних сил различные по величине и знаку электрические заряды.

Флотационный метод (флотация) обогащения основан на различиях в физико-химических свойствах поверхности минералов, обуславливающих их различную смачиваемость водой, характеризуемых свойствами гидрофильности или гидрофобности поверхности различных минералов, определяемых краевым углом смачивания.

Специальные методы обогащения основаны на различиях в оптических (фотометрическая сепарация), люминесцентных (люминесцентная сепарация), радиометрических (радиометрическая сепарация) и некоторых других свойствах минералов.

К вспомогательным относятся процессы обезвоживания, пылеулавливания, сушки. Сушка является одним из способов обезвоживания.

Подготовительные, основные и вспомогательные процессы в совокупности образуют технологическую линию, или технологический процесс обогащения.

Особое место на обогатительной фабрике занимают процессы производственного обслуживания, предназначенные для нормального функционирования технологических процессов. К числу процессов производственного обслуживания относятся внутрифабричный транспорт руды и продуктов обогащения (конвейеры, пульпопроводы), водоснабжение, электроснабжение, снабжение сжатым воздухом, контроль технологических параметров процесса, технологический контроль качества продуктов обогащения и т. д.

## СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

В зависимости от условий залегания рудных месторождений и мощности залежей разработка осуществляется открытым и подземным способами.

Открытая разработка применяется, если рудное месторождение залегает неглубоко. Подземный способ применяется в случае залегания руд на значительной глубине.

Преимущества открытого способа добычи:

– уровень комплексной механизации и автоматизации горных работ обеспечивает большую производительность труда и меньшие затраты на добычу полезного ископаемого;
– более безопасные и комфортные условия труда;
– более полное извлечение полезного ископаемого;
– меньшие удельные капитальные затраты на строительство.

Недостатки открытого способа:

– необходимость выемки значительно превышающих объем руды вскрышных пород, что составляет основную часть общих затрат;
– необходимость изъятия из пользования значительных площадей земли и изменение ландшафта;
– изменение гидрологической ситуации в районе добычных работ.

При подземном способе разработки объемы перемещаемых пустых пород по сравнению с открытым способом незначительны и требуют меньших площадей для их размещения. Обеспечивается сохранность земной поверхности.

К преимуществам добычи подземным способом относится меньшее негативное воздействие, оказываемое на окружающую природную среду, по сравнению с открытой добычей, главным образом, за счет меньшей площади нарушенных земель. Однако этот способ характеризуется более высокими удельными показателями расхода электроэнергии по сравнению с добычей открытым способом.

Добыча открытым способом отличается большим удельным расходом топлива (в основном, за счет моторного топлива) в сравнении подземным способом (рис. 3.6).

Сравнение негативного воздействия добычи железной руды открытым и подземным способами на окружающую среду проводилось на основании маркерных показателей, отобранных по критериям определения наилучших доступных технологий (НДТ) информационно-технического справочника по добыче и обогащению железных руд.

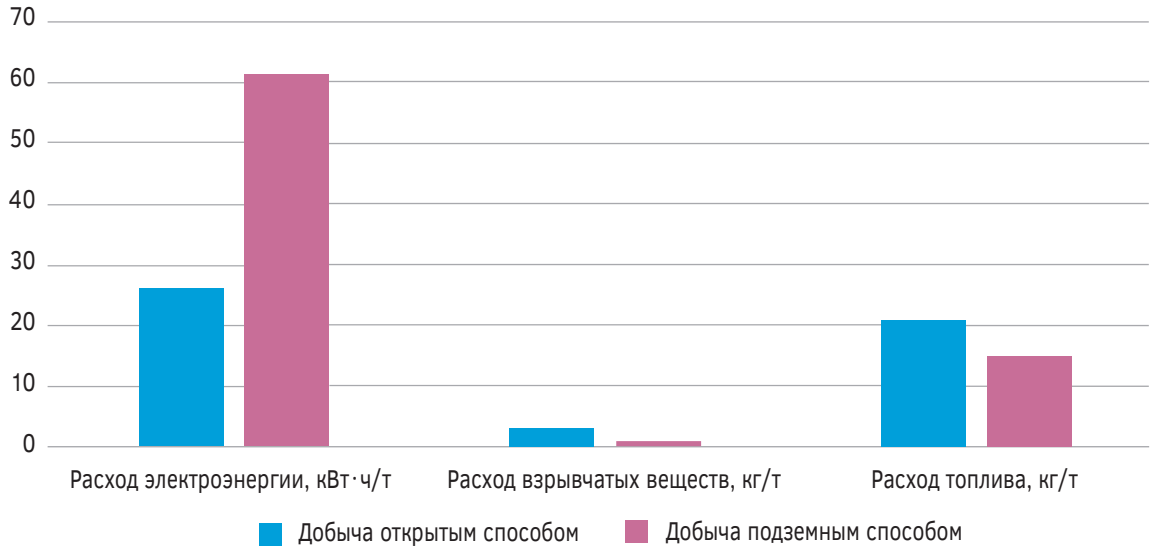



*Рис. 3.6*. Сравнение технологий

Для определения маркерных веществ из перечня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при добыче железных руд приняты следующие критерии маркерных веществ:

– вещество оказывает негативное воздействие на окружающую среду;
– вещество характерно исключительно для рассматриваемого технологического процесса;
– вещество присутствует в эмиссиях в значительном количестве и на подавляющем большинстве рассматриваемых предприятий.

В табл. 3.6 представлено сравнение технологических показателей выбросов маркерных веществ по технологиям добычи. Эти данные показывают, что при добыче открытым способом выбросы пыли существенно выше, чем при добыче подземным способом.

*Таблица 3.6*. Сравнение выбросов маркерных веществ в атмосферу при добыче железной руды

| Вид деятельности | Маркерное вещество | Технологический показатель НДТ, г/т |
|---|---|---|
| Производственный процесс добычи железных руд открытым способом | г пыли/т добываемой горной массы | ≤ 35* |
| Производственный процесс добычи железных руд подземным способом | г пыли/т добываемой горной массы | ≤ 16** |

*Примечания:*
* Без учета взрывных работ, пыления отвалов пустых пород и некондиционных руд.
** Показатель распространяется только на один вентиляционный ствол (источник измерений).

## РОЛЬ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ОТРАСЛИ В МИРЕ И В РОССИИ

Мировой рынок характеризуется высокой степенью консолидации. Четыре ведущие компании (Vale, BHP Billiton, Rio Tinto и FMG) контролируют более 70% мировой торговли железной рудой. Ведущими странами-производителями товарной железной руды являются Австралия, Бразилия, Китай, Индия и Россия, которые вместе производят более 75% железной руды. В последние годы в различных регионах наблюдалась разнонаправленная динамика объемов производства железной руды, которая была связана с низкими ценами на концентраты. Мировое производство железной руды представлено в табл. 3.7.

*Таблица 3.7.* Производство концентратов железной руды ведущими странами мира, млн т

| Страна | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | Уд. вес по 2016 г., % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Австралия | 404 | 449 | 496 | 581 | 641 | 759 | 809 | 41,1% |
| Бразилия | 349 | 373 | 372 | 366 | 401 | 383 | 380 | 19,3% |
| Китай | 310 | 340 | 355 | 377 | 317 | 246 | 161 | 8,2% |
| Индия | 192 | 164 | 133 | 126 | 157 | 116 | 159 | 8,1% |
| Россия | 89 | 94 | 97 | 98 | 105 | 95 | 95 | 4,8% |
| Прочие | 367 | 397 | 410 | 456 | 489 | 403 | 363 | 18,5% |
| **ВСЕГО:** | **1711** | **1817** | **1863** | **2004** | **2110** | **2002** | **1967** | **100%** |

Мировая динамика цен на железную руду в 2012–2016 гг. (62% Fe) представлена на рис. 3.7.

*Рис. 3.7.* Динамика цен на железную руду в 2012–2016 гг. (62% Fe), долл./т

Снижение цен на железную руду прежде всего связано с ситуацией в экономике Китая как крупнейшего в мире производителя стали, на долю которого приходится 2/3 мирового импорта железной руды. Два фактора — значительный дополнительный объем предложения железорудного сырья (ЖРС) из Австралии в связи с ростом добычи компаниями Rio Tinto, BHP Billiton и FMG и замедление темпов роста экономики Китая — оказывают наиболее существенное давление на цены.

Дополнительное давление на цены ЖРС оказало установленное в 2014 г. для китайских производителей стали ограничение на доступ к кредитным ресурсам, что привело к увеличению запасов руды в портах. Долгосрочные тренды развития рынка ЖРС формируются под влиянием различных факторов. С одной стороны, качество руды на мировом рынке постепенно снижается. Ухудшение качества входящего сырья приводит к увеличению себестоимости выпуска стали и повышению объема вредных выбросов металлургии. Вместе с тем

нарастающей тенденцией в мире является ужесточение экологической политики. В частности, Китай, по-прежнему являющийся локомотивом мирового спроса на ЖРС, по примеру развитых стран (США, страны Европы) взял курс на ужесточение экологических требований, предполагающих снижение вредного воздействия металлургических производств на окружающую среду, в том числе посредством улучшения качества потребляемого ЖРС.

Рост экологических требований к мировой черной металлургии и снижение качества железных руд создают предпосылки к росту маржинальности сырья с высоким содержанием Fe. Уточним терминологию.

Железорудное сырье — вид металлургического сырья, которое используется в черной металлургии для производства чугуна и металлизированного продукта (DRI и HBI), а также в незначительном количестве в выплавке стали. Железорудное сырье подразделяется на два вида: подготовленное (агломерированное) и неподготовленное (неагломерированное) сырье.

Подготовленное ЖРС — это сырье, готовое к использованию в доменных печах для производства чугуна.

Неподготовленное ЖРС является сырьем для производства агломерированного сырья. Неподготовленное ЖРС — это концентрат, доменная и аглоруда. Концентрат производится в основном в результате магнитной сепарации измельченной железной руды с низким содержанием железа. Извлечение железа в концентрат составляет в среднем около 80%, содержание железа в концентрате 60–65%.

Железорудное сырье для доменного процесса подвергается агломерации и окускованию. Агломерат получают из аглоруды и концентрата, а для производства окатышей применяются только концентраты.

К подготовленному железорудному сырью относят агломерат и железорудные окисленные окатыши.

Агломерат — окускованный рудный концентрат, полученный в процессе агломерации. Спекшаяся в куски мелкая (часто пылевидная) руда размерами 5–100 мм с незначительным содержанием мелочи.

Окатыши производятся из железорудного концентрата с добавлением связующих и флюсующих добавок в результате окомкования смеси (гранулы диаметром 5–18 мм) и последующего упрочняющего обжига.

Железо прямого восстановления является железорудным сырьем для сталеплавильных печей в электрометаллургии. Концепция загрузки электродуговых печей (ЭДП) продукцией DRIHBI дает возможность использовать более высокую энергию плавки при увеличении производительности печи. Однако его можно также загружать в мартеновские и конвертерные печи (вместо металлолома). Доменный процесс в таком производстве полностью исключен. Поэтому сырье DRIHBI позволяет снизить негативное влияние металлургического производства на окружающую среду, в том числе за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Динамика производства железорудного сырья в России представлена в табл. 3.8.

Анализ статистических данных показывает, что 2009 г. был кризисным для черной металлургии. Однако за последние семь лет наблюдается стабильный рост производства практически всех видов железорудного сырья. По итогам 2016 г. этот прирост обусловлен, в первую очередь, реализацией мероприятий реконструкции и модернизации действующего производства. Основные усилия производителей направлены на повышение качественных характеристик ЖРС и, прежде всего, на содержание железа.

С 2010 г. активизировалась реализация различных инвестиционных проектов. Рост и совершенствование производственных мощностей сталеплавильного производства предопределяет, что будет расти спрос на материал с высоким (>90%) содержанием железа, полученный по технологии, отличной от доменного передела, которую называют прямым восстановлением железа (ПВЖ), или металлизацией. Это, в первую очередь, связано с ужесточением экологических требований — как в России, так и за рубежом.

*Таблица 3.8*. Статистика производства железорудного сырья, тыс. т

| | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Концентрат железорудный | 91 956,9 | 95 272,0 | 103 607,3 | 104 010,0 | 102 156,5 | 102 018,5 | 101 926,8 | 103 525,8 |
| Окатыши | 33 455,0 | 37 378,4 | 38 419,7 | 38 999,7 | 39 410,9 | 39 684,5 | 40 972,3 | 42 823,7 |
| Агломерат железорудный | 52 916,6 | 56 984,4 | 57 802,1 | 58 783,0 | 58 762,4 | 59 271,7 | 60 392,0 | 59 350,0 |
| Окатыши металлизованные | 2438,4 | 2431,8 | 2732,7 | 2765,8 | 2730,0 | 2866,3 | 2833,6 | 3035,1 |
| Горячебрикетированное железо (ГБЖ) | 2164,8 | 2271,0 | 2418,4 | 2408,1 | 2578,9 | 2408,5 | 2601,9 | 2663,0 |
| ИТОГО прямовосстановленное железо (ПВЖ) | 4603,2 | 4702,8 | 5151,1 | 5173,9 | 5308,9 | 5274,8 | 5435,5 | 5698,1 |

Важным условием развития производства ГБЖ в России является наличие высококачественного железорудного сырья и доступность больших объемов природного газа. Дефицит этих ресурсов препятствует росту производства ГБЖ во многих регионах мира.

Высокие потребительские качества ГБЖ способствуют продвижению этой продукции на мировом рынке. По оценкам Midrex, авторитетного источника статистики по рынкам металлизованного сырья, прирост мощностей по производству ГБЖ/ПВЖ в ближайшее десятилетие составит не менее 5 млн т в год, а объем производства к 2030 г. вырастет до 200 млн т.

Мировое производство горячебрикетированного железа представлено в табл. 3.9.

*Таблица 3.9*. Мировое производство ГБЖ, млн т

| | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Мировое производство ГБЖ | 51,82 | 55,41 | 55,55 | 58,85 | 59,16 | 57,39 | 59,8 |

ГБЖ — важный компонент при производстве высококачественных марок стали, способствующий снижению себестоимости продукции металлургического производства. ГБЖ является продукцией с высокой добавленной стоимостью, что обусловлено энергоэффективностью и экологичностью процесса производства ГБЖ, низким содержанием вредных примесей, стабильностью химического состава (по качеству превосходящего металлолом), а также высокой насыпной массой и отсутствием сезонности поставок.

В целом можно сделать вывод, что спрос на железную руду как в России, так и в мире будет расти. Это связано с мировым ростом населения, освоением новых территорий, с заменой изношенных основных фондов.

Наиболее быстрые темпы роста численности населения ожидаются в Африке. Из 2,4 млрд т прироста мирового населения к 2050 г. 1,3 млрд придется на Африку, 0,9 млрд — на Азию. Наиболее высокие темпы роста наблюдаются в странах, находящихся на стадиях, предшествующих бурному экономическому росту. Существенное влияние на изменение географии спроса окажут растущие страны, имеющие достаточно высокие доходы для осуществления модернизации: Индия, Иран, Нигерия. В ближайшие годы рост численности населения в этих регионах будет сопровождаться масштабной индустриализацией и интенсификацией потребления металлов, тем самым создавая новый рынок сбыта черных и цветных металлов. Модернизация экономики, происходящая в названных странах, будет оказывать существенное позитивное влияние на темпы роста глобальных рынков металлов.

Индия в меньших масштабах, чем Китай вполне может повторить рост спроса на продукцию металлургии по мере вхождения в активную фазу индустриализации и урбанизации. При этом доля крупнейших потребителей металлов (ЕС, США, Китай) будет уменьшаться на фоне роста спроса в новых регионах.

Нынешнее снижение мировых цен на железную руду не влияет на уровень добычи железорудных кварцитов в РФ. Это связано как с резким ростом курса иностранных валют по отношению к рублю в последние годы, так и с российским регулированием квот и тарифов на ввоз государством заменяющего сырья, т. е. импорт стали из Китая в ближайшие годы не предусматривается. В частности, в 2015 г. в США были введены квоты, когда тариф на импорт стали из Китая составил более 200%, что привело к резкому снижению поставок железной руды из Китая.

Но мировое снижение цен, пусть даже в посткризисный период, может отрицательно сказаться на внутреннем рынке РФ. В связи с этим уже сейчас рассматриваются государственные программы (оборонзаказ, дорожное строительство, жилищное строительство, машиностроение) по росту металлопотребления на внутреннем рынке. На основании данных Rusmet и РБК объем необходимых ресурсов для старта программ — от 1 трлн руб.

Основными потребителями продукции металлургической промышленности являются следующие отрасли: жилищное и инфраструктурное строительство, транспортное машиностроение, производство машин и оборудования, химическая промышленность, оборонно-промышленный комплекс, производство посуды, бытовой техники и медицинских изделий. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста строительства до 2030 г. составляет 1,6%. Он будет обеспечен за счет выполнения планов по переселению граждан из аварийных и подлежащих сносу домов, реализации программы «Жилье для российской семьи», государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. предусматривает развитие транспортных систем крупных городских агломераций, обеспечение транспортной доступности Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока. В 2015 г. в новую редакцию схемы трубопроводного транспорта страны были внесены газопроводы «Турецкий поток», «Сила Сибири», «Алтай», «Краснодарский край — Крым», а также предусмотрена возможность реконструкции более 2 тыс. существующих объектов. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста транспортного машиностроения до 2030 г. составляет 8%. Он базируется на реализации подпрограммы «Развитие транспортного и специального машиностроения» государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства продукции авиастроительной отрасли до 2030 г. составляет 2,0%. Данный прогноз базируется на прогнозируемом обновлении российского авиационного парка в рамках реализации государственной программы «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг.». Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства продукции тяжелого машиностроения к 2030 г. составит 7,1%. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства электрооборудования до 2030 г. составляет 4,7%. Данный прогноз базируется на прогнозируемом росте спроса со стороны промышленности, обновлении мощностей и реализации планов по строительству атомных электростанций на основе Энергетической стратегии России на период до 2030 г. и государственной программы Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса».

## Мероприятия по развитию спроса на продукцию отраслей металлургии

Немаловажным фактором являются разработка и реализация мероприятий по развитию спроса на продукцию металлургических отраслей, принимаемых на уровне Правительства Российской Федерации и реализуемых федеральными органами исполнительной власти совместно с представителями бизнес-сообщества.

Ярким примером является принятие и реализация Плана мероприятий по стимулированию спроса на продукцию высоких переделов из алюминия на 2016–2017 гг., утвержденного Председателем Правительства Российской Федерации Д. А. Медведевым от 28 ноября 2016 г. № 9311 п-П9, который предполагает утверждение инициатив по тарифным и нетарифным методам регулирования внешнеэкономической деятельности, разработку предложений по мерам, направленным на увеличение потребления алюминия в различных сферах деятельности, совершенствование документов по стандартизации и поддержку отечественных производителей продукции из алюминия.

Оценка суммарного прироста общего потребления алюминия и алюминиевых продуктов в результате выполнения утвержденного Плана мероприятий составит не менее 505 тыс. т к 2020 г.

Также имеют действие государственные программы увеличения спроса за счет стимулирования обновления устаревшего парка и создания мотивации у владельцев сдавать старую технику (вагоностроение, судостроение, автопром, сельскохозяйственное машиностроение).

## ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Проанализировав целый ряд новых технологических, технических и управленческих решений, которые обсуждаются как в зарубежных странах, так и в России, можно сделать вывод, что железорудная промышленность будет развиваться в сторону решений, направленных на повышение эффективности производства, сокращение негативного воздействия на окружающую среду, оптимизацию ресурсопотребления.

Далее в тексте эти решения описаны применительно к добыче и обогащению железных руд.

*Конвейерный транспорт*

Применение конвейерного транспорта при транспортировке горной массы из железорудных карьеров. В настоящее время крупные железорудные карьеры вывозят горную массу из карьеров автомобильным и железнодорожным транспортом. Горная масса из забоев грузится на автомобильный транспорт, везется на перегрузочные пункты, где вновь погрузочными машинами (экскаваторы, погрузчики) грузится на железнодорожный транспорт, который, в свою очередь, транспортирует ее из карьера: руду — на фабрику, вскрышные породы — на отвалы. Переход на конвейерный транспорт позволит снизить неорганизованные выбросы перегрузочных пунктов, уменьшив их количество или вообще исключив, а также количество одновременно работающей погрузочной техники, количество технологических поездов и эксплуатационные затраты на транспортировку горной массы. Предпроектные проработки показывали снижение эксплуатационных затрат при транспортировке 1 т на 1 км более чем на 25%.

*Беспилотные автосамосвалы*

В настоящее время на железорудных предприятиях Западной Австралии действует несколько карьеров полностью с беспилотными большегрузными автосамосвалами. Самосвалы работают в режиме 24/7 в течение года, что экономит недропользователю 500 ч работы в год. Грузовики управляются дистанционно из операционного центра в Перте, который находится от Пилбары в 1200 км. Каждый карьерный робот-самосвал весом в 500 т двигается со скоростью 50 км/ч — почти в 2 раза выше, чем с опытным водителем. Точность ориентации роботов — 1–2 см. Отсутствует время на пересменки, обеды. Это позволяет повысить производительность труда, снизить простои, удельный расход топлива и удельные выбросы.

*Беспилотные тяговые агрегаты*

Применение беспилотных тяговых агрегатов внутри карьеров и на поверхности. Отсутствует время на пересменки, обеды. Это повышает производительность труда, снижает простои и удельные расходы электроэнергии. Повышение надежности работы оборудования за счет исключения нарушений технологической дисциплины, превышений скорости, проездов на запрещающий сигнал светофора и т. д. В Rio Tinto (крупнейшей горнодобывающей компании Австралии) подсчитали, что перевод 40% железнодорожного транспорта на автоматику позволит уменьшить расходы на 2 долларов на тонне железной руды и увеличить ее добычу на 5%.

*Автоматизированная система управления буровыми работами и зарядными машинами*

Внедрение автоматизированной системы управления буровыми работами и зарядными машинами позволит сократить время наведения станков на скважину, позволит формировать пакет физико-механических характеристик обуриваемого блока, позволит повысить оперативный контроль за техническим состоянием бурового оборудования. Полученная с АСУ БР информация позволит в реальном времени корректировать буровые работы на отрабатываемом блоке, а также даст информацию по нижележащему блоку, что позволит существенно повысить качество планирования взрывных работ, снизить расход ВВ и увеличить выход горной массы. Автоматизированное управление зарядными машинами позволит автоматически формировать потребность в зарядке скважины и производстве взрывчатых веществ, сократит перерасход взрывчатых веществ.

*Применение систем высокоточного позиционирования ковша для забойных экскаваторов*

Системы высокоточного позиционирования ковша экскаватора позволят в режиме реального времени с сантиметровой точностью позиционировать ковш экскаватора, обеспечивая высокоточную выемку и формирование проектной формы рельефа (отвалов, уступов, дорог), обеспечат отображение электронных проектов рабочих зон на дисплее оператора, отображение профилей фактической и проектной поверхностей, наложенных друг на друга для контроля достижения проектных значений. Данное мероприятие позволит сократить потери и засорение руды, повысить точность выполнения плановых показателей качества, обеспечить необходимый уровень шихтовки, снизить потребление электроэнергии при производстве добычных работ.

*Применение беспилотных летательных аппаратов для производства маркшейдерских работ*

Применение беспилотных летательных аппаратов для производства маркшейдерских работ позволит оперативно решать задачи картирования, оценки объемов горных выработок и отвалов при отработке месторождения открытым способом, повысить контроль за технологическими процессами в реальном времени, повысить качество планирования горных работ, ускорить процесс закрытия периода и подготовки отчетов для контролирующих органов. Данная технология позволит сократить ресурсы для производства маркшейдерских работ.

*Автоматизация процессов добычных работ в подземных условиях*

Шахтная автоматизация обеспечит рациональную загрузку парка транспортных средств погрузочно-доставочных операций, оптимизацию параметров откатки, автоматизацию процессов бурения одной или нескольких скважин, вееров или забоя выработки, лучшие условия работы и безопасность, повышение производительности труда.

Безопасность обеспечивается за счет разделения производственной зоны и системы управления. Один оператор может управлять (из безопасного места, в том числе, находясь

на поверхности) работой многих автоматизированных машин. Производственный цикл погрузки полуавтоматический. Откатка и разгрузка производится под управлением навигационной системы, а наполнение ковша управляется дистанционно. Машины оборудованы бортовой видеосистемой, мобильным терминалом для беспроводной связи и навигационной системой. Процесс включает в себя мониторинг производства и состояния парка в реальном режиме времени, а также контроль движения машин.

Данная технология позволит повысить производительность работ, сократить простои и пересменки оборудования, снизить удельное потребление электроэнергии и ресурсов.

*Высокопроизводительная проходка горных выработок*

Перспективная технология состоит в использовании проходческих комплексов для быстрой, безопасной и экономически эффективной проходки выработок различных профилей (в том числе малого сечения) по породам и рудам высокой крепости без использования буровзрывных работ.

В настоящее время проводятся полевые испытания на медных и платиновых месторождениях ЮАР.

*Использование сплавов и износостойких материалов*

Применение легких сплавов и специальных износостойких материалов для изготовления подъемных сосудов и их футеровки обеспечивает существенное снижение веса клетей и скипов, увеличение полезной емкости сосудов и веса поднимаемой горной массы без изменения концевой нагрузки, а также повышает производительность труда и сокращает расход электроэнергии.

*Автоматизированный аппаратный контроль состояния ствола, подъемных сосудов, канатов*

Система непрерывного аппаратурного контроля позволяет в режиме реального времени осуществлять мониторинг состояния канатов, подъемных сосудов и армировки ствола. Использование данной системы повышает достоверность и оперативность оценки динамических и статических параметров системы «подъемный сосуд — жесткая армировка», канатов шахтных подъемных установок. Контроль осуществляется без нарушения режимов работы ШПУ, существенно уменьшается время проведения визуального контроля, а также исключается влияние человеческого фактора на оценку фактического состояния оборудования, режимов работы и конструкций. Система автоматизированного мониторинга канатов позволяет повысить эффективность эксплуатации подъемных установок, принимать решения о проведении ремонтных работ по необходимости, сокращает расход электроэнергии и повышает производительность труда.

*Компенсация реактивной мощности*

Подключение специальных устройств к электрической сети индуктивных нагрузок позволяет генерировать необходимую реактивную мощность. Это наиболее экономичный, простой и безопасный способ обеспечения требуемой реактивной мощности. Повышение коэффициента мощности обеспечивает:

– снижение или полное отсутствие платы за реактивную мощность;
– увеличение пропускной способности линий электропередач;
– разгрузку распределительных трансформаторов;
– снижение потерь активной мощности до нормального уровня;
– повышение напряжения у потребителей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ


1. *Бондаренко, А. Ф.* Краткий очерк истории горного дела в допетровский период / А. Ф. Бондаренко // Сборник Русского исторического общества. К истории горного дела. — М., 2001. — № 6 (154). — С. 12–28.
2. *Гатинский, Ю. Г.* Горнодобывающая отрасль России: от первых рудознатцев до современной индустрии (к 300-летию горно-геологической службы) / Ю. Г. Гатинский, Н. А. Вишневская ; Государственный геологический музей им. В. И. Вернадского РАН. — Вестник Отделения наук о земле РАН. — 2000. — № 3(13). — С. 1–14.
3. ИТС 25–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение железных руд. — М. : Бюро НДТ, 2017. — 247 с.
4. *Карпенко, З. Г.* Горная и металлургическая промышленность Западной Сибири в 1700–1860 годах / З. Г. Карпенко. — Новосибирск : Изд-во Сиб. отделения АН СССР, 1963.
5. *Левитский, Л. П.* О древних рудниках / Л. П. Левитский. — М. ; Л. : Госгеолиздат, 1941.
6. *Ломоносов, М. В.* Первые основания металлургии или рудных дел / М. В. Ломоносов. — СПб., 1763.
7. *Малютин, Ю. С.* История недропользования в России с древних времен до эпохи Петра Первого / Ю. С. Малютин // Маркшейдерия и недропользование : научно-технический и производственный журнал : [сайт]. — URL: http://geomar.ru/articles/history/139-subsurface-use-from-antiquity-to-peter.html (дата обращения: 09.10.2019).
8. *Петров, И. М.* История золотодобычи в дореволюционной России / И. М. Петров // Недропользование XXI век. — 2007. — № 6. — С. 83–88.
9. Сборник Русского исторического общества / [Редкол.: В. В. Каргалов (председатель) и др.]. — № 6 (154) : К истории горного дела. — М. : «Русская панорама», 2003.
10. *Трубецкой, К. Н.* Отрасль, которая определяет богатство страны. К 300-летию административного управления горным делом в России / К. Н. Трубецкой, Т. В. Глембоцкая // Вестник РАН. — 2000. — Т. 70, № 8. — С. 736–747.
11. *Хамитов Р. А.* Геология и горное дело Башкортостана: история и современность / Р. А. Хамитов // Недропользование XXI век. — 2007. — № 5. — С. 4–15.