



Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уральский государственный горный  
университет»



**Е. Ф. Цыпин**

**ОБОГАЩЕНИЕ  
В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ**

Научная монография

**Екатеринбург – 2015**

Рецензенты: *Козин В. З.*, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «УГГУ», профессор, доктор технических наук

*Корнилкин С. В.*, директор Института горного дела УрО РАН, профессор, доктор технических наук;

*Борисков Ф. Ф.*, старший научный сотрудник Института горного дела УрО РАН, кандидат геолого-минералогических наук

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

**Цыпин Е. Ф.**

Ц96 **Обогащение в стадиях рудоподготовки:** научная монография / Е. Ф. Цыпин; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. – 303 с.

ISBN 978-5-8019-0330-9

В книге рассмотрены вопросы обогащения полезных ископаемых в стадиях рудоподготовки, применяемые в рудоподготовке методы и процессы обогащения, их теоретические и физические основы. Приведено описание обогатительного оборудования и примеры технологий с использованием обогатительных процессов в стадиях рудоподготовки. Большое внимание в книге уделено описанию и применению информационных методов обогащения, которые до настоящего времени в отечественной и зарубежной литературе освещены недостаточно. Изложены подходы к оценке обогатимости руд и последствия применения обогащения в стадиях рудоподготовки.

Книга предназначена для реализации основной образовательной программы подготовки специалистов по направлению 21.05.04 (130400.65) «Горное дело», по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», а также может быть полезна инженерно-техническим специалистам и научно-педагогическим работникам предприятий и организаций горного и металлургического профилей.

Рис. 115 Табл. 95. Библ. 110 назв.

*Работа проведена в рамках задания № 2014/235 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности.*

УДК 622.7

© Уральский государственный горный университет, 2015

ISBN 978-5-8019-0330-9

© Цыпин Е. Ф., 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                        | 6  |
| 1. ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ.....                              | 8  |
| 2. МЕТОДЫ И ПРОЦЕССЫ ОБОГАЩЕНИЯ,<br>ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ.....       | 14 |
| 3. ПРОМЫВКА.....                                                                     | 16 |
| 3.1. Сущность процесса.....                                                          | 16 |
| 3.2. Физические свойства глин и промывистость руд и песков.....                      | 17 |
| 3.3. Промывочные машины и устройства.....                                            | 21 |
| 4. ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ.....                                             | 40 |
| 4.1. Характеристика минеральных частиц.....                                          | 40 |
| 4.2. Характеристика сред разделения.....                                             | 41 |
| 4.3. Обогащение в тяжёлых суспензиях.....                                            | 46 |
| 4.3.1. Сущность процесса.....                                                        | 46 |
| 4.3.2. Приготовление и регенерация суспензий.....                                    | 47 |
| 4.4. Отсадка.....                                                                    | 49 |
| 4.4.1. Основы процесса отсадки.....                                                  | 49 |
| 4.4.2. Разделение продуктов в отсадочной машине.....                                 | 52 |
| 4.4.3. Регулирование процесса отсадки.....                                           | 53 |
| 4.5. Оборудование для гравитационного обогащения.....                                | 55 |
| 4.5.1. Сепараторы для обогащения в тяжёлых средах в стадиях<br>рудоподготовки.....   | 55 |
| 4.5.2. Отсадочные машины.....                                                        | 59 |
| 5. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ.....                                                  | 71 |
| 5.1. Теоретические основы магнитного обогащения руд в стадиях<br>рудоподготовки..... | 71 |
| 5.2. Магнитные свойства минералов.....                                               | 73 |
| 5.3. Магнитные поля сепараторов.....                                                 | 75 |
| 5.4. Движение частиц руды в магнитных сепараторах.....                               | 77 |
| 5.5. Магнитные сепараторы.....                                                       | 80 |
| 6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ.....                                             | 87 |
| 6.1. Информация и обогатительные процессы.....                                       | 87 |
| 6.2. Теоретические основы.....                                                       | 89 |
| 6.2.1. Способы получения информации.....                                             | 89 |
| 6.2.2. Признаки разделения.....                                                      | 92 |
| 6.2.3. Параметры и алгоритмы разделения.....                                         | 93 |
| 6.2.4. Режимы информационных процессов обогащения.....                               | 99 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3. Физические свойства, используемые для получения информации о составе и характеристиках объектов разделения .....     | 101 |
| 6.3.1. Радиоактивность. Радиоактивный распад. Характеристики радиоактивных излучений и потоков частиц .....               | 101 |
| 6.3.2. Взаимодействие ионизирующих излучений и потоков частиц с ядрами и внутренними электронными оболочками атомов ..... | 107 |
| 6.3.3. Ионизирующие излучения и потоки частиц.....                                                                        | 108 |
| 6.3.4. Взаимодействие заряженных частиц с атомами и ядрами .....                                                          | 110 |
| 6.3.5. Взаимодействие нейтронов с веществом.....                                                                          | 113 |
| 6.3.6. Взаимодействие $\gamma$ -излучения с веществом на атомном и ядерном уровнях .....                                  | 119 |
| 6.3.7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом на атомном уровне.....                                         | 135 |
| 6.3.8. Взаимодействие излучений с минералами и горными породами .....                                                     | 136 |
| 6.3.9. Взаимодействие ультрафиолетового излучения с веществом .....                                                       | 137 |
| 6.3.10. Люминесценция.....                                                                                                | 138 |
| 6.3.11. Взаимодействие видимого излучения с веществом.....                                                                | 143 |
| 6.3.12. Использование излучения инфракрасного диапазона.....                                                              | 154 |
| 6.3.13. Взаимодействие радиоволнового излучения с веществом.....                                                          | 159 |
| 6.4. Классификация групп информационных методов .....                                                                     | 166 |
| 6.5. Оборудование для информационного обогащения .....                                                                    | 168 |
| 6.5.1. Порции сортировки .....                                                                                            | 168 |
| 6.5.2. Рудосортировочные контрольные станции и мелкопорционные сортировочные установки .....                              | 170 |
| 6.5.3. Информационные сепараторы .....                                                                                    | 176 |
| 7. ОБОГАТИМОСТЬ СЫРЬЯ В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ .....                                                                      | 200 |
| 7.1. Подходы к оценке обогатимости сырья .....                                                                            | 200 |
| 7.2. Предельная обогатимость .....                                                                                        | 203 |
| 7.3. Факторы, определяющие предельную обогатимость однокомпонентного сырья.....                                           | 207 |
| 7.4. Предельная обогатимость многокомпонентных руд .....                                                                  | 211 |
| 7.5. Оценка эффективности технологии обогащения в стадиях рудоподготовки.....                                             | 216 |
| 8. ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ .....                                    | 224 |
| 8.1. Принципиальные схемы обогащения в стадиях рудоподготовки .....                                                       | 224 |
| 8.2. Примеры технологий обогащения в стадиях рудоподготовки различного сырья .....                                        | 230 |
| 8.2.1. Руды чёрных металлов.....                                                                                          | 230 |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2.2. Урановые руды .....                                            | 247 |
| 8.2.3. Руды цветных, редких и благородных металлов.....               | 254 |
| 8.2.4. Алмазосодержащие руды .....                                    | 271 |
| 8.2.5. Изумрудно-бериллиевые и бериллиевые руды .....                 | 275 |
| 8.2.6. Бокситы.....                                                   | 277 |
| 8.2.7. Неметаллические полезные ископаемые .....                      | 278 |
| 9. ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГАЩЕНИЯ<br>В СТАДИЯХ РУДОПОДГОТОВКИ..... | 284 |
| 9.1. Технологические последствия.....                                 | 284 |
| 9.2. Экономические последствия .....                                  | 293 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                      | 295 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                                 | 296 |