

## Отходы добычи и обогащения полезных ископаемых

### 2.1. Общие сведения

Добыча полезных ископаемых — составная часть природопользования. Ее основная цель — обеспечение исходным сырьем базовых перерабатывающих отраслей народного хозяйства: черной и цветной металлургии, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, производства цемента, строительных материалов и др.

В начале 21 в. мировая добыча полезных ископаемых превышала 30 млрд т. Доля отдельных их видов ориентировочно составляла, %: 30-35 — каменные материалы, 20-25 — песок и гравий, 12-15 — уголь, торф и сланцы, 15-20 — руды металлов, 10-12 — карбонатное и цементное сырье, глины и известняки, 3-4 — сырье для производств основной химии.

Общий объем горных пород, перемещаемых в процессе геологоразведочных, горнодобычных работ, строительства дорог, плотин, каналов и других крупных объектов, в несколько раз превосходит объем перерабатываемого сырья и топлива, достигая, по оценкам некоторых авторов, 150 млрд т/год. Большую часть перемещаемых горных пород составляют отходы добычи полезных ископаемых. Они сопровождают в основном добычу топлива, руд (металлургических, химических, агрономических) и нерудных материалов (щебня, гальки, гравия, песка и т.п.).

По *генезису* (происхождению) отходы добычи полезных ископаемых подразделяют на вскрышные и вмещающие породы. И в тех и в других содержание полезного ископаемого значительно меньше, чем в среднем по месторождению (пустая порода). *Пустую породу* приходится отделять от добываемого полезного ископаемого, складировав значительную ее часть в отвалах (*отвальная порода*).

*Вскрышные породы* покрывают полезные ископаемые сверху. При толщине слоя не более нескольких десятков метров они удаляются с поверхности, открывая непосредственный доступ к месторождению (открытая добыча). При больших глубинах залегания разработка месторождения ведется подземным способом, без удаления вскрышных материалов.

*Вмещающие породы* разделяют отдельные пласты полезных ископаемых в горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостях внутри месторождения.

Соотношение вскрышных и вмещающих пород, открытого и подземного способов добычи полезных ископаемых зависит от ряда факторов. В целом можно отметить, что открытым способом на территории СНГ в настоящее время добывается около 50% руд черных и цветных металлов, до 70 — химических и агрохимических руд, до 30 — угля и почти 100% нерудных материалов.

Отходы обогащения образуются в одноименных процессах, которые обычно являются промежуточными между технологиями добычи полезных ископаемых и их глубокой химической, физико-химической или биохимической переработкой. Обогащение позволяет отделить значительную часть пустой породы и примесей, повысив в исходном сырье концентрацию ценных компонентов. Оно обычно применяется к рудному сырью.

При обогащении получают концентраты, «хвосты» и, иногда, промежуточные продукты. В *концентратах* содержание полезных компонентов выше, а вредных примесей ниже, чем в исходном сырье. В *хвосты* переходит пустая порода, вредные примеси и часть полезных ископаемых. *Промежуточные продукты* (промпродукты) содержат ценных компонентов меньше, чем в концентрате, но больше, чем в руде. В зависимости от экономической целесообразности, в некоторых случаях их объединяют с концентратами или хвостами, а иногда дополнительно обогащают, получая кондиционные концентраты и вторичные хвосты.

Отходы добычи и обогащения весьма крупнотоннажны. Значительная их доля, порядка 80%, направляется для закладки выработанного пространства шахт и карьеров в рамках исполнения промышленных технологий добычи полезных ископаемых (Кн. 1). Остальная их часть, также значительная (табл. 2.1), накапливается в отвалах пустых пород горных предприятий и хвостохранилищ обогатительных фабрик.

Ежегодно для складирования отходов добывающих и обогатительных комплексов отторгается более 2 тыс. га земель, в том числе пахотных. Рекультивация и возвращение последних в хозяйственное пользование значительно отстают от темпов их отчуждения. Масштабы вовлечения отходов в переработку невелики. Лишь 2% их применяется в качестве топлива и минеральных удобрений и только 18% используется как вторичное сырье, в том числе 10% - в строительной индустрии.

Таблица 2.1

Количественные характеристики отходов добычи и обогащения полезных ископаемых в Российской Федерации (Протасов...)

Тип отходов	Образование, млн т/год	Склады- рование, млн т	Использование	
			млн т/год	%
Вскрышные и вмещающие породы руд:	4200	65000	1600-1650	38
черной металлургии	800	15000	200-250	28
цветной металлургии	300	9000	70	23
химической промышленности	160	1200	80	50
Нерудных	1700–1800	10000	700-800	43
Добычи угля	900–1000	16000	400-500	47
Прочие	200–300	3000	50	20
Процессы обогащения:				
черной металлургии	320	3500	30	9
цветной металлургии	49	1300	1,4	3
химической промышленности	80	1000	9	11
угольной отрасли	60	1500	10-11	17

Рассмотрим приоритетные направления переработки основных отходов добычи и обогащения полезных ископаемых: рудных (черной и цветной металлургии, химической промышленности), нерудных, топливных.

## 2.2. Рудные

### 2.2.1. Черная металлургия

#### 2.2.1.1. Характеристика отвальных пород и хвостов обогащения

Основными отходами при добыче и обогащении железных руд являются отвалы пустых пород и хвосты обогащения горно-обогатительных комбинатов.

В настоящее время коэффициент использования горной массы находится на уровне 0,15. В отвалы попадают в основном вскрышные и вмещающие породы. Содержание железа в них недостаточно для рента-

белой их переработки в железосодержащие продукты. Имеются также прямые потери железных руд с отвальными породами. При добыче открытым способом они составляют 3-4%, подземным — около 20%.

Отходы обогащения руд черных металлов складировать в хвостохранилищах и накопителях ГОКов. Многие из них уже заполнены сверх проектных отметок. Общая сумма необходимых капитальных вложений в строительство новых хвостохранилищ в 1990 г. оценивалась в 3,0-3,5 млрд руб. (цены 1984 г.). Это, а также разрушение ограждающих дамб и плотин переполненных хвостохранилищ, приводящее к экологическим катастрофам, в том числе с человеческими жертвами, усиливают внимание к переработке хвостов обогащения.

Состав отвальных пород и хвостов обогащения достаточно разнообразен.

Вскрышные породы содержат нерудные материалы (сланцы, кварциты, суглинки, глины, известняки, граниты, гнейсы), некондиционные бурые железняки, железистые кварциты ( $Fe < 10\%$ ) и др.

Вмещающие породы насчитывают более 10 их видов, большую часть которых, как и во вскрышных материалах, составляют нерудные компоненты (сланцы, кварциты, амфиболиты, граниты, гнейсы, лессовидные суглинки, красно-бурые глины и др.).

Состав отходов обогащения в первую очередь зависит от такового в исходных рудах и способа их обогащения. Обычно он находится в следующих пределах, %: 10-12  $C_{общ.}$ ; 1,0-3,5 CaO; 50-65  $SiO_2$ ; 0,5-3,0  $Al_2O_3$ ; 0,05-0,3 MnO; 0,1  $SO_3$  и т.д.

Судя по химико-технологической характеристике отходов добычи железных руд и хвостов обогащения, основное направление их использования должно быть связано с вовлечением в производство вяжущих и строительных материалов.

### **2.2.1.2. Производство вяжущих и строительных материалов**

Важнейшим источником сырья для этих целей являются отвалы горнодобывающих предприятий. Значительная их часть представлена высокоосновными (маломергелистыми) с большим содержанием извести и кремнийсодержащими (кислыми) породами. Сказанное предопределяет основные направления переработки данных материалов.

Так, маломергелистые породы железорудных месторождений КМА содержат 90-93%  $CaCO_3$  и могут быть использованы при получении белого цемента (до 80-85% запасов), строительной извести, минеральной ваты, стекла, а также резиновых изделий и в качестве пигмента.

Пески в составе вскрышных пород в большей части подходят для приготовления строительных растворов и бетонов, закладки горных

выработок, получения силикатного кирпича. Глинистая фракция может быть применена для выпуска минеральной ваты и керамзита. Некоторое количество кислой вскрышной породы используется в настоящее время. Так, Старооскольский цементный завод добавляет в сырьевую смесь пески, а также мел и глины Лебединского и Стойленского ГОКов. Добываемые при вскрышных работах на Сибайском карьере (Башкирия) чеганские глины являются сырьевой базой керамзитового завода. Керамзитовый и камнедробильный заводы работают на вскрышных породах Соколовско-Сарбайского ГОКа (Казахстан).

Весьма разнообразны содержащиеся во вскрышных породах каменные материалы, которые можно использовать в качестве нерудных заполнителей в бетонах и огнеупорах, добавок в асфальт, для получения строительного щебня, дорожных оснований, бутового камня и т.п. Кристаллические сланцы пригодны для производства облицовочных плит.

В черной металлургии из скальных пород получают несколько миллионов тонн щебня на Новокриворожском, Лебединском, Стойленском и Оленегорском ГОКах, в ПО «Кривбассруда».

Применяемые методы изготовления строительных материалов практически не отличаются от соответствующих промышленных, рассмотренных ранее (Кн. 1). Это подтверждает, например, производственная схема первой очереди (1999 г.) завода по выпуску щебня из отвалов Гороблагодатского рудоуправления (г. Кушва Свердловской области). Она предусматривает трехстадийное дробление пустой породы от добычи железной руды с сортировкой щебня по фракциям. Первая стадия осуществляется на щековой, а вторая и третья — на конусных дробилках. Щебень используют в дорожном и промышленном строительстве.

Аналогичные получаемым из отвальных пород строительные материалы производят из отходов обогатительных предприятий.

Классифицированные по крупности отходы обогащения железосодержащих руд (щебень и пески) используют в основном в строительстве.

Щебень применяют для производства тяжелых бетонов, при строительстве автомобильных дорог, устройстве балластного слоя внутризаводских железнодорожных путей, создании искусственных оснований под фундаменты зданий, обратных насыпках, производстве холодного асфальта.

Пески крупностью +0,14 мм, т.е. большей, чем нежелательной илистой части компонентов при получении строительных материалов, используют: как мелкий заполнитель бетонов; для производства силикатного и шлакового кирпича и в качестве отошающей добавки для изготовления глиняного кирпича; как балластный материал; при выпуске деталей и конструкций широкой номенклатуры для жилищно-

гражданских, промышленных зданий и сооружений (стенные блоки, облицовочные керамические плитки и т.п.).

Пески крупностью  $-0,14$  мм применяют как сырье для автоклавных и безавтоклавных изделий и конструкций из тяжелого и ячеистого силикобетонов, в качестве порошка в асфальтобетонных смесях, безобжиговых заполнителей, при выпуске шлаковых цементах.

Карбонатно-бариевые и кварцсодержащие хвосты обогащения железных руд используют в производстве цементах. При их получении применяют также некондиционные железные руды, например сидериты Бакальского рудоуправления (Катав-Ивановский цементный завод, Челябинская обл.).

### 2.2.1.3. Получение других продуктов

Следует прежде всего отметить технологии, направленные на извлечение из отвальных пород дополнительного количества черных металлов.

Для доизвлечения железа применяются различные способы обогащения (обратная флотация, флотация хвостов, прямая флотация руды, сухая магнитная сепарация, магнитно-флотационный способ и др.) Вместе с тем они не всегда эффективны для обогащения окисленных немагнитных руд. В настоящее время такой процесс освоен лишь на Центральном ГОКе (Украина).

Современная техника и технология извлечения цветных металлов из отвальных пород рудных месторождений и хвостов обычно основана на выделении при обогащении сопутствующих компонентов в отдельный концентрат.

Одним из наиболее интересных в этом направлении является проект Высокогорского ГОКа (г. Нижний Тагил). Ранее высокосернистые хвосты обогащения железной руды, содержащие до  $0,2\%$  Cu, вывозились в отвалы, где их скопилось более 100 млн т. В середине 80-х гг. 20 в. комбинат разработал и внедрил флотационный метод их обогащения с получением медного концентрата, имеющего до  $25\%$  Cu (обогачительные фабрики Урала производят из природного сырья более дорогой концентрат с  $18-20\%$  Cu). После вывода комплекса на полную мощность переработка отходов обогащения руды достигнет 2 млн т/год с получением 11 тыс. т медного концентрата (*Переработка... 2000*).

Из хвостов обогащения железных руд Ковдорского месторождения с 60-х гг. прошлого столетия извлекают апатитовый и бадделеитовый концентраты. Первый служит сырьем для производства фосфорных удобрений, второй — для получения высококачественных цирконовых огнеупоров (разд. 2.2.3).

Значительное количество цветных металлов может быть извлечено не только из отходов добычи и обогащения железных руд, но и при непосредственной комплексной переработке последних.

Так, при обогащении руд Волковского месторождения (Средний Урал) выделяют медный, железо-ванадиевый и апатитовый концентраты.

Переработка качканарских титано-магнетитовых руд с невысоким (в среднем 18%) содержанием железа рентабельна при извлечении в металлургическом переделе железа, ванадия и титана.

При обогащении ильменито-магнетитовых руд магнитно-флотационным способом получают железный (68% Fe) и ильменитовый концентраты с высоким содержанием диоксида титана.

Большое внимание использованию отходов добычи, обогащения и комплексной переработки железорудного сырья уделяют за рубежом.

Из хвостов обогащения северных месторождений железных руд Швеции с высоким содержанием фосфора выделяют апатитовый концентрат. Технологическая схема предусматривает сгущение хвостов, их обесшламливание, повторную магнитную сепарацию для доизвлечения магнетита, флотацию хвостов с шестью перечистными операциями. Апатитовый концентрат (~35%  $P_2O_5$ ), подвергается контрольной магнитной сепарации, фильтрации, сушке.

Сульфидно-магнетитовые руды предприятия «Гроссмайнз» (США), содержащие 41,5-44,5% Fe, обогащают с получением железорудного (61-68% Fe) и пиритного концентратов. Последний используют для извлечения меди и производства серной кислоты.

В ФРГ из комплексных железных руд (57% Fe; 0,05% Cu; 0,02% Co) при обогащении и металлургической обработке указанные металлы выделяют в виде отдельных продуктов (*Комплексное...* 1988 г.).

Следует отметить, что утилизация отходов в принципе приемлема лишь в тех случаях, когда возможно получение продукта, соответствующего ГОСТам или техническим условиям.

## 2.2.2. Цветная металлургия

Выход отходов добычи и обогащения руд в цветной металлургии из-за небольшого содержания в них целевых продуктов относительно выше, чем в других добывающих отраслях. В крупнотоннажных производствах (медь, цинк, свинец, исключение — алюминий) получению 1 т цветных металлов сопутствуют 1-3 тыс. т вмещающих и вскрышных пород, 30-100 т хвостов обогащения. При извлечении редких элементов отходы добычи и обогащения превышают целевой продукт в миллионы раз.

По химическому составу отходы обычно представлены кислыми силикатными и алюминатными составляющими. Вскрышные породы и хвосты обогащения могут содержать, %: 45-88 SiO<sub>2</sub>, 5-25 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1-15 оксидов железа, иногда десятые доли процента меди, цинка, свинца и др. В некоторых случаях пустая порода имеет основной характер (до 90% известняка).

Преобладающая масса утилизируемых пустых пород применяется для засыпки карьеров, разрезов, отсыпки дамб хвостохранилищ, балластирования дорог, производства закладочных материалов. Из них же организован выпуск щебня и песка, освоенный на десятках горнорудных предприятий и достигший в начале 80-х гг. 20 в. 5 млн м<sup>3</sup>.

Отходы обогащения используют в производстве силикатного кирпича, керамической плитки, черепицы, бетонов и других строительных материалов. Хвосты обогащения применяют также в сырьевой смеси для производства клинкера на Невьянском цементном заводе (Новосадов...).

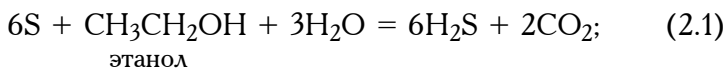
На некоторых предприятиях освоено извлечение из хвостов пиритных концентратов — сырья для производства серной кислоты.

В промышленных масштабах реализована технология флотационного доизвлечения металлов из хвостов меднообогатительного производства. Концентрат содержит 2,4% Cu, 5,5 г/т Au и 14 г/т Ag при извлечении этих элементов соответственно 39, 45 и 27% (Калиниченко...).

Наряду с переработкой твердых отходов некоторое распространение в цветной металлургии получили методы извлечения металлов из сбросных растворов и растворов очистки.

Предложена, например, технология осаждения металлов из водных растворов сероводородом. Его получают на месте био-способом из элементарной серы. Компания Raques реализовала около 500 проектов таких технологий, известных под торговой маркой ТНЮ RAQ. Система имеет два основных элемента:

*биореактор* генерации сероводорода. В него поступает концентрированный питатель серы и восстановитель (сернистый ангидрид, обработанная серная кислота, тиосоли, сульфатсодержащие сточные воды и т.п.). В результате сероводород может быть получен, например, по реакции:



*контактную* емкость, в которой поток жидкости реагирует с сероводородом, образующийся сульфид металла (твердый) отделяется от жидкой фазы, например:





Одна из последних установок извлечения цветных металлов из сбросных растворов внедрена на цинковом руднике в Карибу (Канада) при нейтрализации кислых шахтных вод (2001 г.). Сероводород получают либо из элементарной серы, либо из серной кислоты использованных аккумуляторов. Объем обрабатываемых вод установки составляет 700 м<sup>3</sup>/сут, концентрат содержит 52% цинка. Установка самокупаема (Небера).

В целом использование отходов добычи и обогащения руд в цветной металлургии заметно ниже, чем в черной (табл. 2.1).

### 2.2.3. Горно-химические отходы

Горно-химические отходы образуются при добыче и обогащении химических и агрохимических руд. Эти руды характеризуются сложным минеральным составом, комплексностью и низким содержанием основного компонента. Обычно они используются как сырье для производства минеральных удобрений с извлечением из него основных минералов — апатита, фосфата и т.д. Комплексной переработке в настоящее время подвергают лишь наиболее изученные руды, в частности хибинские апатито-нефелиновые, ковдорские апатитсодержащие, кингисеппские, егорьевские и вятско-камские фосфориты. Основные минералы в них — апатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{FeOH})_2$ , нефелин  $\text{Na}\{\text{AlSiO}_4\}$ , сфен  $\text{CaTiO}_3$ , титано-магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4 \cdot \text{FeTiO}_3$ .

Наибольшее количество горно-химических отходов, вовлеченных в переработку, поступает на апатито-нефелиновые обогатительные фабрики (ПО «Апатит», Мурманская обл.). На них при флотационном обогащении руды получают апатитовый концентрат. Часть хвостов апатитовой флотации направляют в отвал, остальное используют для получения нефелинового концентрата. Состав хвостов, %: 2,0-3,5  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 19-23  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4,5-6,0  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 6-8  $\text{CaO}$ , 41-43  $\text{SiO}_2$ , 12-19  $\Sigma\text{N}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ .

Технологическая схема переработки хвостов предусматривает их двухстадийную классификацию в гидроциклонах. Пески последних (кл. +0,2 мм) направляют в отвал, а слив (кл. -0,2 мм) обесшламливается по кл. 0,02 мм, сгущается до 35% и поступает на обратную флотацию нефелина.

При обратной флотации в пенный продукт извлекаются остатки апатита, титано-магнетит, сфен и темноцветные минералы. В камерном продукте концентрируется нефелин, полевые шпаты и другие алюмосиликаты. Поскольку концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в продукте находится на уровне 28%, то его подвергают доводке методами пенной и магнитной

сепарации с получением нефелинового концентрата, содержащего не менее 28,5%  $Al_2O_3$  и на 76-80% состоящего из нефелина. В виде порошка с влажностью 1,0-1,5% его отправляют потребителю для дальнейшей переработки на алюминий, цемент, кальцинированную соду, стройматериалы и т.д. (разд. 5.3.1).

Из хвостов производства нефелинового концентрата флотацией выделяют сфеновый концентрат. Его перерабатывают в пигментный диоксид титана и наполнители. Применяемая для этого схема включает следующие операции: доизмельчение концентрата до крупности -74 мкм, его химическую очистку от примесей апатита и нефелина разбавленным раствором серной кислоты; сульфатизацию, выщелачивание, фильтрацию титанового раствора; гидролиз, прокаливание титанового пигмента (содержит 50%  $TiO_2$ ).

Сернокислотная технология переработки сфенового концентрата позволяет наряду с титановым получить кальциево-кремнеземистый пигмент-наполнитель. Он производится из кальциево-кремнеземистого твердого остатка, образующегося при трехстадийном сернокислотном выщелачивании двойного сульфата титана и кальция в процессе получения титанового пигмента. С этой целью отфильтрованный твердый остаток отмывают (отмучивают) водой. Как следствие, тяжелые фракции (эгирин  $NaFeSi_2O_6$ , титано-магнетит) оседают и удаляются. Отмученную суспензию отстаивают, фильтруют, высушивают и прокаливают 1,0-1,5 ч при 800-900°C. Полученный продукт представляет собой смесь тонкоизмельченного аморфного кремнезема, сульфата кальция и пигментного диоксида титана, который, как отмечено, применяют в качестве пигмента-наполнителя.

Технология переработки сфенового концентрата реализована на опытно-промышленной фабрике производительностью 1 т/сут по пигменту (*Комплексное...* 1988).

В промышленных масштабах утилизируют хвосты магнито-обогатительной фабрики (МОФ) Ковдорского ГОКа, использующего апатитовые руды одноименного месторождения. С этой целью построена апатито-бадделеитовая фабрика (АБОФ).

Хвосты МОФ крупностью 30% кл. -0,074 мм насосами подаются на АБОФ, где сгущаются в гидроциклонах. Слив последних обесшламливается в обезвоживающих гидроциклонах, а крупная часть песков доизмельчается до -0,3 мм в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с классифицирующим гидроциклоном. Готовый по крупности материал с 25% твердого поступает в радиальный сгуститель, из которого в слив удаляются шламы. Сгущенный продукт с 50-53% твердого направляется на флотацию апатита в механических

аппаратах. В результате основной, двух контрольных флотаций и четырех перечисток получают апатитовый концентрат с 36-38%  $P_2O_5$ .

После извлечения апатитового концентрата хвосты АБОФ сгущаются и поступают на гравитационное обогащение в конусных сепараторах и на концентрационных столах. Промпродукт и концентрат стоков подвергаются мокрой магнитной сепарации в слабом поле с извлечением остатков магнетита и, частично, сульфидов. Немагнитная фракция направляется на доводочные столы, затем фильтруется, сушится и поступает на сухую магнитную сепарацию в сильном поле с выделением в немагнитную фракцию бадделейтового концентрата.

Достаточно разнообразно использование пустых пород и хвостов обогащения фосфоритовых руд Кингисеппского месторождения.

Его вскрышные породы применяют для заполнения выработанного пространства, при рекультивации земель. Различными сельскохозяйственными предприятиями ведется добыча воздушно-сухого торфа, запасы которого обнаружены в некоторых участках месторождения.

Переработке подвергаются также отходы обогащения руд этого же месторождения (ПО «Фосфорит»). Целевым продуктом здесь является фосфоритовый концентрат, содержащий не менее 28%  $P_2O_5$ . Однако возникают и два отхода. Первый представляет собой отгрохоченный железисто-карбонатный материал (доломитизированные песчаники). Второй образован хвостами флотационного обогащения минусового класса отгрохоченной руды.

Доломитизированный песчаник используют для ремонта и строительства карьерных дорог.

Хвосты флотации представлены в основном кварцевым песком (93-97%  $SiO_2$ ), незначительными включениями фосфата в виде обломков ракушек (1,5%  $P_2O_5$ ), доломитом, глинистыми минералами и т.п.

Лежалые хвосты флотации применяют для строительных нужд.

Разработана технология выделения из флотохвостов кварцевого песка для стекольной промышленности, содержащего свыше 98,5%  $SiO_2$  и не более 0,05%  $Fe_2O_3$ . Она проверена на опытно-промышленной установке. Ее основные операции: доизвлечение фосфатов пенной сепарацией обесшламленных хвостов, двухстадийная классификация камерного продукта и последующая электромагнитная сепарация в сильном магнитном поле песковой части второй стадии классификации после ее глубокой отгирки в контактном чане при соотношении твердое/жидкое, равном 1:1.

Продукты обесшламливания хвостов флотации (фракция -0,1 мм), получаемые в процессе производства стекольного песка, используют для выпуска кварцевого абразива (ПО «Фосфорит»). Технология предусматривает обработку шламовой части серной кислотой для уда-

ления остатков флотореагентов, фильтрацию и сушку дисперсии, охлаждение готового продукта, его складирование и погрузку с последующим применением в качестве чистящего средства бытовой химии.

Мелкозернистый кварцевый песок используется не только для нужд бытовой химии, но и для выпуска стекловолокна, молотого пылевидного кварца, формовочного материала при литье в оболочки, силикат-глыбы (растворимого стекла), керамики, фаянса, фарфора, резиновых изделий и т.д.

Из флотационных отходов ПО «Фосфорит» возможно также получение формовочных песков. Качество образуемого продукта достаточно для его применения при производстве чугуна и стали в литейном переделе. Схема выделения песков предусматривает удаление из обесшламленных хвостов пенной сепарацией фосфата, доломита и известняка с последующим доведением продукта до требуемого (среднезернистого) класса крупности.

Как следствие выполненных работ, кварцевые пески Кингисеппского месторождения были утверждены в Государственном комитете запасов (ГКЗ) СССР в качестве формовочных.

Наряду с отходами Кингисеппского используются некоторые отходы переработки фосфоритов Егорьевского месторождения руд (подмосковное ПО «Фосфаты») и вятско-камских фосфоритов.

Технологическая схема ПО «Фосфаты» при переработке руды на обогатительных фабриках (рудомойках) предусматривает ее тщательную дезинтеграцию в промывочных аппаратах. При этом в кл. +0,5 мм концентрируется основная масса фосфорита. Фракция -0,5 мм (хвосты рудомоек) вмещает глинистые составляющие руды, кварцевый песок, глауконит (сложного состава водный алюмосиликат железа, магния, кальция из группы гидрослюд) и тонкие зерна фосфата.

Фосфат из хвостов рудомоек доизвлекают флотацией. Содержание  $P_2O_5$  в концентрате достигает 19-20%. Последний представляет собой фосфорсодержащее минеральное удобрение, пригодное для непосредственного внесения в почву.

Кроме хвостов промывки, на ПО «Фосфаты» используют кварц-глауконитовые пески вскрыши и хвосты флотофабрики.

Кварц-глауконитовые пески применяют в качестве удобрений для повышения плодородия малопродуктивных сельскохозяйственных угодий, а также взамен природного почвенного слоя при рекультивации земель. Это стало возможным из-за наличия в песках микроэлементов и органических соединений, до 50%  $P_2O_5$  и до 4%  $K_2O$ . Кроме того, промышленные запасы кварцевых материалов во вскрышных породах некоторых участков месторождения, содержащего до 60% высококачественных песков, были утверждены ГКЗ СССР как формовочные.

Хвосты фабрики флотации, содержащие в основном кварцевый песок и глауконит, можно использовать для производства облицовочной керамической плитки. Схема ее получения, прошедшая опытно-промышленную проверку, включает подготовку шихты, состоящей из 80% хвостов флотации, 5 — соды и 15% доломита, варку ее в стекловаренной печи при 1500°С, формирование жидкой стекломассы на прокатных машинах и отжиг изделия для снятия остаточных напряжений. Испытания показали хорошие эксплуатационные свойства материала: адгезию к бетону, механическую прочность, химическую и термическую стойкость, пригодность для гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства.

Отходы переработки вятско-камских фосфоритовых руд (Верхнекамский рудник) аналогичны образующимся на ПО «Фосфорит».

Вскрышные породы рудника включают торф, глину, слабофосфатированный мергелистый гравий, кварцевый и кварц-глауконитовый песок. Особенно ценны глины, которые пригодны для производства высококачественного керамзита и частично используются для этих целей.

Фосфоритовые руды Вятско-Камского месторождения, как и Егорьевского, обогащают промывкой. Часть ее хвостов поступает на обогатительную фабрику, где из них доизвлекается фосфат по магнитно-флотационной схеме. Последняя включает следующие основные операции: обесшламливание хвостов рудомойки, оттирку поверхности от зернистого материала, вторую стадию обесшламливания, мокрую магнитную сепарацию в сильном поле песковой части с выделением в магнитную фракцию глауконитового продукта, классификацию по классу 0,3 мм немагнитной фракции сепараторов с доизмельчением ее крупной части, обесшламливание флотационной пульпы, флотацию фосфата по схеме основной, контрольной и двух перечистных операций, обезвоживание флотоконцентрата.

В целом, несмотря на большую, чем в черной и цветной металлургии, степень использования отходов добычи и обогащения руд химической промышленности, дальнейшее увеличение масштабов их утилизации ограничивается существенным превышением предложения продуктов их переработки над спросом в народном хозяйстве.

## 2.3. Нерудные

Данная группа отходов, образующихся при добыче, обогащении и использовании нерудных материалов, относится к числу наиболее крупнотоннажных (табл. 2.1). Основная их масса возникает при работе карьеров и шахт, добывающих полезные ископаемые преимущест-

венно строительного назначения. Отходы этих предприятий составляют вскрышные породы, хвосты обогащения и некондиционная продукция.

Необходимость обогащения нерудных ископаемых обусловлена тем, что в естественной форме большая их часть не удовлетворяет требованиям дальнейшей переработки и использования из-за наличия в них различных примесей, пустой породы и кусков, существенно различающихся по размерам. При этом применяют практически все наиболее известные способы обогащения: гравитационные, магнитные, электрические, флотацию, а также рудоразборку и обогащение по крупности.

К распространенным нерудным материалам относятся известняк, магнезит, доломит, мрамор, граниты, вермикулит, асбест, каолин, графит и т.п.

*Известняк* — один из известных представителей осадочных карбонатных пород химического происхождения. Его ведущий компонент — минерал *кальцит* ( $\text{CaCO}_3$ ).

Выветренный известняк вскрыши используется в сельском хозяйстве для раскисления почв. Отходы известняка применяются при изготовлении различных строительных материалов. Так, при производстве асфальтобетона успешно утилизируют отсеvy дробления известняка крупностью менее 5 мм, получаемые при фракционировании известнякового щебня. При этом они могут полностью заменить песчаный заполнитель асфальтобетона.

Значительное количество известняковых отходов, достигающее 40% объема горной массы, образуется при добыче стенового камня. Ежегодно в отвалы, выработанные пространства шахт поступает около 2 млн т бута, сколов и штыба, содержащих 88-93% кальцита. Они пригодны для производства минеральных удобрений, известкования кислых почв и как добавка к минеральным кормам.

*Магнезит* — кристаллическая горная порода на основе углекислого магния ( $\text{MgCO}_3$ ). При его обогащении образуются доломитсодержащие отходы с примесью карбонатных и глинистых компонентов, кварцитов и т.п. Большая их часть используется при изготовлении огнеупорных и строительных материалов, получении хлоридов магния.

*Доломит* — осадочная горная порода, представленная одноименным минералом  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$  и 5-10% примесей. При обогащении доломита основную массу хвостов составляет силикат: диопсид  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_5]$ . Как и отходы обогащения магнезита, они применяются при изготовлении огнеупорных и строительных изделий, получении хлоридов кальция и магния, а также как известняковый компонент при производстве портландцемента.

*Мрамор* — кристаллическая горная порода, состоящая из зерен кальцита и образовавшаяся вследствие метаморфизма (превращения)

осадочных известняков и доломитов под воздействием высокой температуры и значительного давления.

В настоящее время отсеvy дробления мраморов используют в качестве строительного песка и известнякового компонента портландцементной сырьевой смеси. Освоен выпуск из бетона на заполнителях из отходов мрамора облицовочных плит с повышенными эстетическими и эксплуатационными свойствами. Обрезки и обломки мраморных изделий применяют для изготовления плиток и как песчаный заполнитель в асфальтобетонах.

*Граниты* — глубинные магматические силикатные породы, состоящие из полевых шпатов, кварца, слюд и отличающиеся высокими механическими свойствами. Практически используют пока лишь отсеvy дробления гранитов при получении щебня и заполнителей бетона.

*Вермикулит* — гидроалюмосиликат магния и железа из группы гидрослюд с переменным содержанием воды. При нагревании он способен вспучиваться, увеличиваясь в объеме в 20 раз. Минерал обладает высокими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, огнестойкостью. Его состав, %: 37-42  $\text{SiO}_2$ ; 10-13  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 3,5-4,5  $\text{TiO}_2$ ; 6-20 оксидов железа; 14-23  $\text{MgO}$ ; 8-18  $\text{H}_2\text{O}$ .

Отходы вспучивания вермикулита в виде мелкой фракции с размером частиц до 1,2 мм используют в огнестойких композициях для покрытий металлургических строительных конструкций или теплоизоляционных материалов с объемной массой 800-1000  $\text{кг/м}^3$  и максимальной температурой применения 1150-1200°C. Фракция минерала менее 0,5 мм утилизируется при производстве инсектицидов.

*Асбест* — волокнистый материал, представленный гидросиликатами магния (разд. 8.1.2). Основными отходами его добычи и обогащения являются отвалы пустой породы и хвостов. Частично их вовлекают в хозяйственный оборот. Так, на комбинате «Ураласбест» в 1990 г. внедрена линия обогащения отвальной массы с доизвлечением асбеста и получением из хвостов щебня различных фракций для строительства.

*Каолин* — белая или светлоокрашенная глина. Его отходами являются вскрышные породы добычи, хвосты сухого и мокрого способов обогащения. В настоящее время используют в основном отходы сухого обогащения каолина (для рекультивации нарушенных земель).

*Графит* — наиболее устойчивая в земной коре разновидность чистого углерода. Большинство отходов, получаемых при добыче и обогащении графитсодержащих пород, пока не находит промышленного применения. Только частично они привлекаются для заполнения горных выработок и подсыпки дорог.

## 2.4. Топливные

### 2.4.1. Общая характеристика

Топливные отходы включают твердые отходы добычи угля и его обогащения, метановые выделения угольных шахт, а также твердые, жидкие и газообразные отходы нефтедобычи.

Доминирующими по массе являются твердые отходы. Их выход составляет, т/т угля: 3-5 при открытой добыче; 0,2-0,3 при шахтной, 0,15-0,35 при обогащении.

Основная доля (~90%) отходов образуется при открытой добыче угля (вскрышные породы), остальная их масса примерно в равных количествах возникает при подземной добыче и обогащении углей. Все эти материалы состоят из неорганической части и органического вещества (остаточного углерода).

Вскрышные породы угольных разрезов обычно представляют осадочные материалы:

конгломераты (сцементированная обломочная горная порода, преимущественно галька различного состава, величины и формы);

алевролиты, или сцементированные алевриты (рыхлые породы, промежуточные между песчаными и глинистыми, с размером зерен от 0,01 до 0,1 мм. К ним относят лесс, лессовидные породы, ил);

аргиллиты — породы, образовавшиеся вследствие уплотнения, обезвоживания и цементации глины. При одинаковых с глинами минералогическом и химическом составе они отличаются значительно большей твердостью и не размокают в воде.

Помимо названных, вскрышные породы включают песчаники, а также пески, суглинки, супеси (рыхлые почвы, содержащие песок и глину с преобладанием первого), гравийно-песчаные и глинистые породы, иногда карбонаты.

В отходах углеобогащения преобладают аргиллиты и углистые аргиллиты (37-79%), песчаники, алевролиты и карбонаты (по 3-6%). Как следствие, зольная часть этих отходов состоит преимущественно из оксидов кремния, алюминия и железа, сумма которых превышает 90%. Доля золы в хвостах углеобогажительных фабрик составляет 70-88% при ее сернистости 1,0-4,5%.

В целом отходы добычи и обогащения углей можно разделить на три группы: глинистые (более 50% глин), песчаные (свыше 40% песчаника и кварца), карбонатные (не менее 20% карбонатов). Последняя группа встречается в подчиненном количестве.



## 2.4.2. Вскрышные породы угледобычи

Крупный недостаток данных пород заключается в нестабильности их физико-химических свойств, существенно затрудняющих использование. Поэтому масштабы переработки вскрыши невелики, с преобладанием технологий обогащения.

Известным методом Haldex (Венгрия) перерабатывают породные отвалы, содержащие не менее 18% угля, что обеспечивает рентабельность процесса. Производительность установок по исходному сырью составляет 50-300 т/ч. Кроме Венгрии, такие установки имеются в Польше, Великобритании, Турции и других странах.

В соответствии с методом Haldex отвальная порода проходит грохочение и дробление, а затем размывается гидромониторами. Взвесь воды и породы подвергается контрольному рассеиванию, обычно по кл. 60 мм. Надрешетный продукт после дополнительного дробления возвращается на повторное размывание. Подрешетный продукт разделяется на несколько фракций (+20; 20-0,5; -0,5 мм). Наиболее крупную из них дробят. Среднюю (кл. 20-0,5мм) отправляют в гидроциклоны на обогащение в тяжелой суспензии (с разделением по плотности 1,6-1,7 г/см<sup>3</sup>). В качестве утяжелителя суспензии используется подрешетный продукт (кл. -0,5 мм). Сливы гидроциклонов (в них переходит уголь) обесшламливаются, их хвосты перечищаются в классификаторах. Затем один из продуктов классификации (уголь) соединяют с углем сливов. Выход концентратов составляет около 20% при его зольности 8-13%. Безугольная часть переработанной породы, состоящая из песчаников, глин, аргиллита, пирита, известняка и т.п., может быть использована для производства строительных материалов и изделий.

Известна также более простая технология обогащения угольных отходов в гидроциклонах, применяемая в Верхней Силезии (Польша). Дробленую породу обрабатывают в тяжелой суспензии с плотностью 1,8 г/см<sup>3</sup>, затем ее обезвоживают и гидроклассифицируют по классам 30-6 и 6-0 мм. Углистые сланцы (30-6 мм) направляют для гидрозакладки и частично для производства клинкера, а выделенный уголь — для энергетических целей.

При более низком (менее 18%) содержании угля в отвальной породе ее переработка рентабельна на установках в комплексе с цехом по утилизации безугольной части отходов. Такая схема, реализованная в Польше, наряду с установкой для извлечения угля предусматривает утилизацию безугольной части в заполнители (производительность комплекса 375 тыс. м<sup>3</sup>/год). Отвальная порода после извлечения угля дробится до кл. -10 мм, окомковывается в барабанном грануляторе

диаметром 2,8 м и спекается на агломашине при 1100-1150°C. Агломерат дробят, охлаждают и рассеивают на фракции 20-10, 10-5 и 0,5-0 мм. Полученные заполнители используют в производстве легкого бетона с плотностью 1400-1800 кг/м<sup>3</sup> (Комплексное... 1988 г.).

Определенное распространение за рубежом и в России получили и другие методы обогащения вскрышных пород угледобычи с выдачей кондиционного энергетического топлива (крутонаклонные сепараторы, флотация, воздушная классификация, гравитационные методы и т.д.).

Одним из новых направлений утилизации угольсодержащих отходов является их переработка с получением наполнителей-пигментов. Технология предусматривает окисление породы при 350-750°C в течение 4-6 ч с последующим ее измельчением до 63-1 мкм. Эти наполнители применяют в производстве лакокрасочных материалов, пластмасс, резин, чистящих бытовых средств, различных керамических и строительных материалов, органо-минеральных удобрений. Мощности установки по пигментным наполнителям, построенной на шахте «Каменецкая», составляет 4 тыс. т/год (Алексеев...).

Показана также возможность использования «горелой» земли, или пустой породы, подвергающейся самопроизвольному окислению при ее хранении в шахтных терриконах. Она пригодна для производства стеновых блоков, получения портландцемента.

Значительная часть отвалов и терриконов без их существенной переработки утилизируется при отсыпке дорог, дамб, засыпке провалов и отработанных пустот в шахтах и разрезах, для устройства дорожной одежды, в других случаях проведения местных строительных работ.

### **2.4.3. Метановые выделения угольных шахт**

Из недр земли в пространство угольных шахт мира ежегодно поступает до 23 млрд м<sup>3</sup> метана и 8-10 млрд м<sup>3</sup> углекислого газа. В шахтах бывшего СССР выделялось до 7 млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>. В мире насчитывается более 3 тыс. метанобразующих шахт, в которых может выделяться до 150-200 м<sup>3</sup> метана на 1 т угля. В ряде случаев природное давление метана в угольных месторождениях достигает 10-14 МПа.

Объем общих ресурсов метана в угольных бассейнах России оценивается в 72-79 трлн м<sup>3</sup>, в том числе в эксплуатируемых месторождениях примерно 20 трлн м<sup>3</sup>. Это составляет около 17% природного газа России. В мировых угольных пластах предполагается до 80 трлн м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>, в частности по странам: КНР — 30-40; США — 10-12; Австралии — 6; ФРГ — 3-4 и т.д.

Для утилизации метана угольных шахт предлагается несколько проектов.

В соответствии с одним из них ее осуществляют следующим образом.

Метаносодержащий угольный пласт вскрывают скважиной. Затем последовательно тампонируют затрубное пространство, перфорируют обсадную колонну и образуют призабойную полость подачей воды. После этого пласт расчлениют гидравлическим воздействием воды, закачиваемой под давлением 10-12 МПа.

После образования системы трещин инициируют метан угольного пласта. Для этого в последний через скважину подают сжатый воздух. После завершения инициирования производят съём метана через скважину на дневную поверхность. Через 5-10 лет дегазации угольного пласта дебит скважины по метану резко снижается.

Дополнительное количество метана в рассматриваемой технологии получают нарушением сплошности метаносодержащих вмещающих пород под угольным пластом, за счет их взрывов. По открывающимся в них каналам и трещинам метан нарушенной зоны, находящийся преимущественно в свободном состоянии, мигрирует в угольный пласт. В результате в нем образуется техногенная залежь метана. Только после этого приступают к его добыче через скважину. Положительный эффект предложенного технического решения состоит в повышении степени извлечения метана за счет перераспределения газа, рассеянного во вмещающих породах, в угольную залежь.

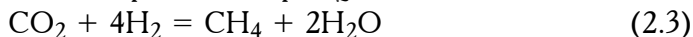
Данная технология может быть использована при промышленной добыче метана из угольных пластов, не тронутых горными работами (Воробьев...).

Эффективность получения метана из угольного пласта повышается его микробиологическим воспроизводством (Пат №2166072 России). В этом случае метан угольного пласта инициируют, подавая в последний углекислый газ под давлением 10-12 МПа. Диоксид углерода замещает в угле метан и впоследствии на поверхность практически не извлекается. По завершении инициирования производят съём метана по описанной выше технологии, когда он постепенно выходит через скважину на дневную поверхность. Далее проработанный участок угольного пласта экранируют от непроработанного массива, затем в него подают микроорганизмы, разлагающие свободный кислород. Вводятся также продукты, обеспечивающие их жизнедеятельность, т.е. являющиеся для них питательной средой. После разложения кислорода в угольный пласт подают водородобразующие бактерии.

В данном случае используется известный в природе, но не применявшийся ранее в технологиях процесс микробиологического восстанов-

ления метана. Оно протекает при взаимодействии углекислого газа с водородом. Условия многих шахт (температура 15-20°C, рН 6,4-7,5) способствуют таким процессам. Поскольку при этом метан образуется в анаэробной среде, то для развития этих процессов и требуется понижение концентрации кислорода в угольном пласте.

Образование метана протекает по реакции:



В результате сорбции синтез-газа возникает техногенная залежь метана в угольном пласте, разрабатываемая далее через скважину.

Указанная технология микробиологического воспроизводства метана не единственная. Можно использовать, например, микроорганизмы, разлагающие свободный кислород и образующие уксусную кислоту ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), а затем бактерии, переводящие ее в метан. Следствием является восстановление метана до промышленных значений. После этого продолжают его извлечение по традиционной схеме.

## 2.4.4. Отходы углеобогащения

Данные отходы образуются при подготовке рядовых углей к обогащению и непосредственно в этом процессе. В последнем выделяется практически вся масса пустой породы, выдаваемая обогатительной фабрикой.

Размер частиц пустой породы составляет 100-0,7 мм. По этому параметру их можно разделить на крупные (более 13 мм), средние (менее 13 мм) и мелкие (отходы флотации крупностью ниже 0,1 мм). Химический состав хвостов, %: 45-53  $\text{SiO}_2$ , 17-23  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 5-10  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 10-31 ПМПП. В подчиненных количествах встречаются также оксиды титана, кальция, магния, калия, натрия, марганца, фосфора, серы.

Теплотворная способность  $Q$  породы зависит от ее гранулометрического состава и зольности:

Размер частиц, мм	>80	80-60	60-40	40-10	10-5	5-0
Зольность, %	82,8	78,7	77,0	79,0	77,6	73,7
$Q$ , кДж/кг	2830	3421	4155	4063	4368	7298

Еще более высока теплотворная способность тонкодисперсных отходов флотации (8360-10450 кДж/кг).

Опыт утилизации рассматриваемых материалов достаточно разнообразен. Так, отходы, содержащие значительное количество горючей

массы, могут дополнительно обогащаться с получением кондиционного по зольности топлива, использоваться для сжигания или газификации.

Для сжигания применяют топочные устройства с кипящим, фонтанирующим, фонтанирующе-псевдооживленным слоем, плазменные печи и др. В ряде стран (ФРГ, Греция, Финляндия, Россия) на некоторых крупных электростанциях высокозольные отходы сжигают в пылевидном состоянии. Опыт показал, что в этом случае при зольности материала более 60% и его влажности 30-35% сокращаются затраты на топливо, выбросы оксидов серы и азота в окружающую среду.

Имеются данные по эксплуатации в Германии установки для газификации породы с содержанием углерода свыше 10% (фирма «Отто»). Ее производительность составляет 40 т/сут по исходному материалу. По высоте установка разделена на три зоны: верхнюю — подсушки сырья, среднюю — газификации, нижнюю — дожигания. При работе на паро-воздушном дутье синтезируемый газ имеет теплоту сгорания 5,5-7,3 МДж/м<sup>3</sup>, при добавлении в него 3 и 8% кислорода она повышается соответственно до 6,4 и 8,5 МДж/м<sup>3</sup>. Коэффициент полезного действия процесса газификации превышает 80% (*Комплексное... 1988 г.*).

Одним из заметных направлений утилизации породы углеобогащения в России и за рубежом является производство строительных материалов: глиняного кирпича обыкновенного и пустотелого, искусственных керамических пористых заполнителей (аглопорита, керамзита и др.) для легких бетонов, стеновых керамических изделий, строительных камней, дренажных труб. В большинстве из перечисленных случаев отходы углеобогащения частично замещают традиционные компоненты шихтовых смесей для получения этих материалов.

Известно использование отходов углеобогащения при строительстве низконапорных гидротехнических сооружений. Такой опыт имеется в Германии (Рейнская дамба Альзум, 1926 г.) и на Украине (дамба длиной 350 и высотой 7 м хвостохранилища Днепродзержинского коксохимического завода, 1969 г.). Однако следует отметить значительное изменение во времени механических свойств породы, которое может сопровождаться деструктивными явлениями в возведенных объектах.

Промышленные испытания выявили применимость отходов обогащения как сырьевого глинистого компонента при производстве шлакопортландцемента с одновременным снижением расхода топлива порядка 10% (*Переработка... 2000 г.*).

Другие направления утилизации — добавление высушенных отходов, прежде всего флотации, в тампонажные растворы при бурении газовых и нефтяных скважин, использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений.

Промышленные испытания показали, что для приготовления 1 м<sup>3</sup> тампонажного раствора необходимо по 500 кг цемента и отходов флотации, 550 л воды. Таким образом, отходы заменяют практически равное количество цемента.

Полевые опыты, выполненные Харьковским сельскохозяйственным институтом в 1973-1974 гг., выявили, что внесение отходов флотации в количестве 5-10 т/га улучшает плодородие почв легкого механического состава (глинисто-песчаных, супесчаных, песчаных, торфяников), повышая урожайность.

## 2.4.5. Нефтеотходы

Добыча нефти сопряжена с существенным загрязнением окружающей среды. Ведущими загрязнителями атмосферы в районах нефтедобычи являются углеводороды, сероводород и оксид углерода. Кроме того, в СНГ ежегодно происходит до 700 крупных разрывов нефтепроводов, потери достигают, по разным данным, 7-20% добываемого сырья. Выброшенная нефть перемешивается с грунтом, образуя нефтешламы. При этом, помимо почвы, загрязняются также поверхностные хозяйственные и подземные водоносные горизонты, в них увеличиваются жесткость воды, содержание сульфатов, хлоридов, нитратов.

Методы очистки поверхности от нефти вне районов нефтедобычи рассмотрены ранее (Кн. 2 разд. 5.3.2.4). Здесь приводится информация о способах утилизации отходов нефтедобычи. Их можно разделить на жидкие, твердые и газообразные.

Источники *жидких* нефтеотходов:

промежуточный слой, образующийся при хранении нефти в резервуарах установок по ее предварительной подготовке и откачиваемый из них в виде нефтезагрязненного слоя воды. Состав слоя, %: 80-90 органического вещества, до 10 — механических примесей, 1 воды;

прорыв трубопроводов в зимнее время с образованием смеси нефти и газа. В последней содержится 2-10% органических веществ, 40-60 — органических примесей, 28-50% воды;

сбор с территорий предварительной подготовки нефти в места размещения отходов ливневых нефтезагрязненных стоков.

Источники *твердых* нефтеотходов:

отходы ремонта, включающие асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) и нефтегрунт. Они содержат 25-35% органических веществ, 20-45 — механических примесей, 30-45% воды. Образуются при ремонте скважин, зачистке резервуаров хранения нефти;

АСПО, возникающие при ремонте скважины с ее пропаркой, насосно-компрессорных труб. Их состав, %: 50-93 органических веществ, 5-49 механических примесей, 1-5 воды. Органическая часть АСПО содержит 3-8% асфальтенов, 13-20 смол, 34-65 масел, 20-49 механических примесей, 1-5% воды;

нефтегрунт. Образуется при очистке территории после прорывов трубопроводов в летнее время и при их аварийном прорыве в любой период года. Состав нефтегрунта, %: 15-20 органических веществ, 45-65 механических примесей, 20-35 воды.

Структура конденсированных нефтеотходов нефтедобывающих предприятий, %: жидкие — 74, отходы ремонта — 15, АСПО — 9, нефтегрунты — 2 (Ручкинова...).

*Газообразный* отход нефтедобычи — попутный нефтяной газ.

В настоящее время накоплен определенный опыт промышленного использования отходов нефтедобычи. Известно, например, что в Татарстане к концу 70-х гг. 20 в. имелось около 1 млн т нефтяных шламов. Для их переработки СП «Татойлгаз» построило установку, которая через 1,5 года эксплуатации стала приносить прибыль. Из 600 тыс. т жидких шламов получили 250 тыс. т нефти экспортного качества. Другими продуктами переработки нефтешламов являются вода и твердый шлам. Последний содержит до 5% нефти, остальное — сухой черный порошок, который используется в качестве дорожного покрытия (Мазус).

В 2001 г. компанией «Туймазанефть» запущена установка фирмы «DALSTON ASSOCIATED SA». Она предназначена для переработки нефтешлама в районе нефтедобычи с получением товарного нефтепродукта, сточной воды, возвращаемой в производство, и твердого остатка. На нее поступают ловушечные нефти из шламовых амбаров, нефтешламы после зачистки резервуаров и оборудования, нефтезагрязненные грунты послеаварийных разливов нефти. Общая производительность установки 10 м<sup>3</sup>/ч при двух независимых параллельных потоках. Полученные нефтепродукты по своим физико-химическим показателям соответствуют мазуту и в этом качестве реализуются (*Опыт... 2003*).

Нефтешламы могут применяться также в качестве компонента (20-50% от сырьевой смеси) при производстве легкого заполнителя, шламобетона (*Сырьевая..., 1995; Ягудин...*).

Наибольший интерес для утилизации представляют жидкие отходы, содержащие до 90% нефти. Их перерабатывают в существующей схеме подготовки нефти с возвратом в ресурсооборот.

В целом потери нефти оцениваются в 3% от ее годовой добычи. В зависимости от процесса образования, нефтеотходы относятся ко 2, 3 классам опасности.

Заметную долю отходов составляют химические реагенты и другие материалы многоцелевого назначения, используемые при нефтепереработке. Их количество в мировой практике достигает 4 т на 1 т извлекаемой нефти. Среди них выделяются буровые растворы, используемые для «смазки» и промывки стволов скважины во время бурения (Кн. 1 разд. 4.2.3.2).

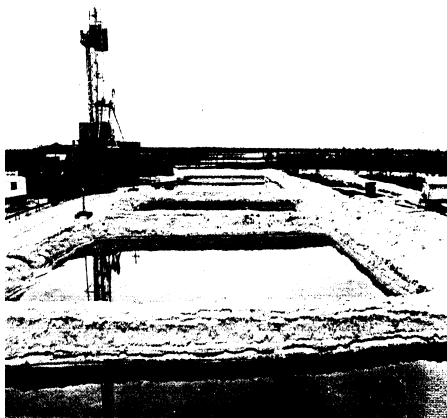
Буровые растворы отличает высокая степень минерализации и щелочность, наличие в составе жидких углеводородов, что обуславливает их отрицательное влияние на почвенный покров. Вместе с тем разработаны и осваиваются технологии детоксикации водных глинистых отработанных буровых растворов (ОБР) и буровых шламов (БШ) с помощью гумино-минерального концентрата (ГМК). Последний содержит собственно гуминовую (органическую) и минеральные части. И та и другая эффективно связывают тяжелые металлы, сорбируют углеводороды нефти и нефтепродуктов, снижают токсичность легкорастворимых солей, уменьшают щелочность отходов бурения, активизируют деятельность нативной микрофлоры, стимулируют рост и развитие растений. ГМК ускоряет протекание биохимических процессов, в результате которых нейтрализуется большое количество органических и неорганических экотоксикантов. Смесь ОБР и БШ с ГМК образует гумино-минеральный мелиорант или ГММ, внесение которого в почву значительно улучшает ее основные агрофизические и агрохимические свойства (Узбеков...).

Установлено также, что удобрительными свойствами обладают собственно буровые отходы. Выявлено, например, что выращивание сеянцев кедра, сосны, пихты и клена на песчаных субстратах с добавлением в грунт 5-30% этих отходов протекает с лучшими показателями по всхожести, выживаемости и интенсивности роста. Угнетающе действуют только их высокие концентрации (40% и более). Кроме того, показано, что внесение до 20 т отходов бурения на 1 га почвы приводит к повышению урожайности сельхозкультур (Седых).

Неутилизируемая часть отходов нефтедобычи, особенно Западной Сибири, размещается в шламовых амбарах. Последние (рис. 2.1) представляют собой копаные в теле буровых площадок или примыкающие к ним ямы, заполненные нефтеотходами, отходами бурения (буровыми растворами, нефтегрунтами текущего и капитального ремонта скважин, горными породами, глиной, цементом, водой и пр.).

Можно отметить следующие основные стадии жизненного цикла шламовых амбаров: снятие плодородного слоя почвы и складирование





**Рис. 2.1. Шламовые амбары**

обычно привозным, грунтом; возврат из временных отвалов и равномерное распределение плодородного слоя почвы на минеральный грунт.

К изложенному добавим, что консолидирующий материал должен обладать определенными вяжущими свойствами, обеспечивающими прочность на сжатие отвержденной смеси до 0,2 МПа через 28 суток. Засыпка минеральным грунтом отвержденных отходов производится на высоту, превышающую слой плодородной почвы в районе строительства скважины не менее чем на 1,0 м. Необходимо при этом соблюдение безопасного расстояния между дном амбара и наивысшим уровнем грунтовых вод (Безродный).

Применяют также упрощенную технологию захоронения отходов. В данном случае содержимое неотвержденных загущенных шламовых материалов амбара засыпают привозными грунтами. Однако, вследствие выжатия грунтами, загущенные материалы технологически невозможно захоронить в один прием. Через год, после подсушки, их приходится засыпать песком вторично.

Материалы в нефтешламовых амбарах относят преимущественно к четвертому классу опасности. Однако их значительное количество, а также технологические резервы и емкости, трубопроводный транспорт (доля в производственных объектах 15-20%) создают до 50% негативного воздействия на окружающую среду, обусловленного отходами нефтедобычи.

Рассмотренная технология рекультивации шламовых амбаров не всегда считается экономически оправданной. Взамен нее предлагается эколого-экономически выгодная, по мнению некоторых специалистов,

ее во временных отвалах на период строительства скважины; отрывку земляного котлована; возведение периметра обвалования котлована; гидроизоляцию дна и стенок котлована; складирование отходов в образовавшемся амбаре; расслоение в амбаре отходов на загущенную и осветленную фазы; удаление из амбара осветленной жидкой фазы; введение в загущенную фазу консолидирующего материала и их перемешивание; отверждение загущенной фазы; засыпку загущенной фазы минеральным,

технология так называемой «лесной рекультивации», предложенная Западно-Сибирским филиалом леса им. В.Н.Сукачева (Седых).

Новый метод рекультивации уже с конца 20 в. применяется на всех месторождениях нефти ОАО «Сургутнефтегаз» в Ханты-Мансийском автономном округе. Он предусматривает использование местных травянистых и древесных растений, из которых формируются сообщества, перспективные для рекультивации шламовых амбаров.

После проведения технической рекультивации — очистки пленки с поверхности водоема, уборки мусора и укрепления обваловок амбаров — на последних и в водоемах амбаров высаживают различные виды растений. Они становятся очагами растительности на амбарах и вблизи них и развиваются преимущественно по схеме формирования растительных сообществ в поймах местных рек.

Достоинство нового метода заключается в ускорении процесса заселения и формирования исходных растительных сообществ или создания новых, не менее продуктивных и биологически разнообразных. В частности, если естественное зарастание шламовых амбаров требует около 20 лет, то, по предварительным данным, технология лесной рекультивации позволит достичь таких результатов за 5-10 лет.

Масштабы образования газообразного отхода нефтедобычи (попутного нефтяного газа, или ПНГ) весьма внушительны. Только в газовых факелах Западной Сибири до недавнего времени из общего количества ПНГ около 30 млрд м<sup>3</sup> ежегодно сжигалось до 19 млрд м<sup>3</sup>.

Факелы отрицательно воздействуют на все компоненты окружающей среды: гибнут древостои, нарушается структура и соотношение биомассы различных видов живого почвенного покрова, сажей факелов загрязняются почвы, в атмосферу выбрасываются CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, канцерогенные и другие поллютанты.

Факелы — мощный источник тепла, оказывающий влияние на климат региона: выпадение дождей возрастает в 1,4 раза по сравнению с контрольными станциями, увеличивается частота туманных дней и гроз, снижается интенсивность солнечной радиации, продолжительность поступления прямых солнечных дней сокращается на 5% (Крупинин...).

В последние годы наметилась тенденция к существенному снижению масштабов сжигания ПНГ в факелах. В это же время его использование возросло до 83-89%.

Перспективный путь утилизации ПНГ — применение его в качестве топлива на атомных электростанциях малой и средней мощности с газотурбинными установками на базе газотурбинных двигателей. Достижимый при этом КПД составляет 35-40% при простом цикле и 90% в целом по теплофикационному режиму. Сроки строительства газотурбинных электростанций (ГТЭС) равны 1-2 годам при стоимо-

сти единичной установочной мощности, в 4 раза меньшей, чем угольных электростанций.

ГТЭС стали внедрять с 1999 г.: на Капитлорском (ОАО «Сургутнефтегаз») и Прилазломском (ОАО «Юганскнефтегаз») месторождениях. Мощность каждой из ГТЭС составила 24 МВт. К концу 2004 г. предполагалось ввести еще пять газотурбинных установок. Выбросы загрязнений при этом, с учетом уже двух имеющихся ГТЭС, могут быть снижены на 1365 тыс. т/год. Одновременно должны потушить «факелы» ПНГ. Произведенная энергия используется для собственных нужд нефтяников, избыток энергии направляется в ЕЭС России (Экологические...).

За рубежом ПНГ утилизируют закачкой его в продуктивный пласт, что увеличивает нефтеотдачу и извлечение дополнительных объемов газа.