## 5.1. Минералогический состав и микроструктура характерных разновидностей горелых пород

Преобладающий вещественный состав минералов, слагающих горелые породы, часто устанавливают визуально, путем простого осмотра.

Для отдельных глыбообразных кусков пород характерно или отсутствие типичного излома и формы — обычно это песчаниковые или алевролитовые разновидности, или, наоборот, наличие совершенно определенных морфологических признаков.

Плотные крупнослоистые сланцы аргиллитового типа зачастую характеризуются раковистым изломом роговикового вида, говорящим о высокой плотности и прочности (рис. 5.1).

В алевролитах часто наблюдаются прослойки разной окраски, подчеркивающие сланцеватую слоистую текстуру при крупной или мелкой лещадочности (рис. 5.2).

Наиболее исчерпывающее понятие о природе и характере составляющих горелых пород дает петрографическое исследование горелых пород под микроскопом при небольшом увеличении.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 5.1. Раковистый излом крупнослоистых аргиллитовых горелых | Рис. 5.2. Сланцевая слоистая текстура горелых пород |

Шлифы изготавливали из образцов горелых пород преимущественно во взаимно-перпендикулярных направлениях. Шлифы изучались под микроскопом в проходящем свете и при скрещенных николях (рис. 5.3), что позволило установить их структуру и вещественный состав (аргиллитово-алевролитовое происхождение) [ ]



Рис. 5.3. Микроструктура алевролитовой горелой породы.

Проходящий свет. х70

Тонкозернистое строение аргиллитов можно наблюдать в шлифах отвальных горелых пород шахт № 13 Киселевскугля и им. Димитрова, хотя они также содержат некоторые примеси алевролитов, но более уплотненных и мелкозернистых.

При этом, минералогические составляющие горелых пород можно подразделить на кластогенные минералы (кварц, полевые шпаты) и пелитовые продукты метоморфизации глинистой массы, измененные в процессе самообжига.

Петрографическим исследованием было установлено, что содержание кластическго материала, в породе довольно велико и доходит до 35-48%, в результате воздействия высоких температур изменяется незначительно, но зерна кварца иногда слегка видоизменены по контуру и показывают характерное волнистое угасание [ ].

Единичные зерна из группы акцессорот - циркон, рутил и другие - фиксирующиеся до самообжига, в горелых породах не улавливаются, т.к. после термической диссоциации они сливаются с пелитовой массой.

Минералы - примеси, в основном железистые: пирит и сидерит, а также кальцит и доломит - подвергаются термической диссоциации и частично входят в реакции с глинистой частью обжигаемой породы, образуя участки, ярко окрашенные железистыми соединениями в оранжевые и красные тона.

Глинистая масса горелой породы имеет под микроскопом вид стекловидной изотропной массы бурого цвета с низким показателем преломления (N < l,54).

В нескольких образцах аргиллитового происхождения (порода шахты им. Димитрова) просматриваются редкие включения тончайших игольчатых кристаллов муллита [ ]. У алевролитовых разновидностей горелых пород (природных - шахты Зиминка и Красные горы) отмечается меньшее содержание пелитового материала (рис. 5.4).

 

Рис. 5.4. Микроструктура аргиллитовой горелой породы. Проходящий свет. х70

В горелых породах с террикона шахты 9/15 видны изменения текстуры местами до ячеистой (в наружных зонах) и глинистый цемент в этих участках частично превратился в темно-бурое стекло (N = 1,54).

Так же, как и в исходных породах, после самообжига можно видеть поры или пустоты слегка удлиненной формы, правильно ориентированные в плоскостях напластования, оставшиеся после выгорания углистых частиц.

Там, где углистые включения не сгорели - в шлифах таких включений обнаружено до 2 %, - они имеют строение, близкое к графиту.

Плотность горелых пород выше плотности исходных сланцев за счет усадки глинистых составляющих при обжиге.

Распределение их в аргиллитовых разновидностях обычно равномерно рассеянное, а в алевролитах (помимо рассеянной массы) наблюдаются скопления в виде групп и прослоек, подчеркивающих сланцеватую текстуру пород.

На многих месторождениях природных горелых пород аргиллитовые пласты чередуются с песчаниковыми, чаще всего с мелкозернистыми уплотненной структуры. Такое сложение мощного массива пород наблюдается, например, на месторождении Дальние горы.

Обожженные алевролиты этих пород обычно окрашены в яркие цвета. Кирпично-красная окраска обусловлена значительной примесью окиси железа.

В шлифе порода имеет разнозернистую структуру и полосчатую текстуру, обусловленную неоднородностью окраски цемента, а также частичной ориентацией обломков. Базальный цемент составляет 80 % породы и состоит главным образом из обожженного, частично остеклованного пелита [ ].

Обломочный материал в породе представлен остроугольными обломками кварца с преобладающим размером 0,05 мм. Одиночные зерна имеют размер 0,08 мм, изредка встречаются обломки полевого шпата размером до 0,03 мм.

Минералогический состав горелой породы [ ]: обожженный незначительно остеклованный пелит – 80%, кварц - 15%, обожженый биотит 3%, полевой шпат - 2%.

Обожженные мелкозернистые песчаники месторождения Дальние горы в шлифе разнозернистые и сложены угловатыми зернами с преобладающим размером 0,1 мм (отдельные из них имеют размер 0,3 мм). Песчаники состоят из обломков кварца (90%), разбитых тонкими трещинами, полевого шпата (до 5%), имеются зерна яшмы, микрозернистых кремнистых пород и биотита.

Цемент породы буроватого цвета составляет 60% шлифа и состоит из алевролитовых частичек и незначительно остеклованного пелита. Окраска цемента обусловлена рассеянной примесью окиси железа. Иногда при сильном увеличении резкой границы между цементом и кластическим материалом не наблюдается, а заметно некоторое растворение обломков с краев и частичная ассимиляция их цементирующей массой (волнистое угасание кварца). В цементе наблюдаются одиночные зерна вторичного карбоната и эпидота.

## 5.2. Месторождения природных горелых пород

Технологический термин горелые породы - понятие собирательное, объединяющее разновидности с различными физико-химическими свойствами. Их главным отличием от зол и шлаков является пониженное содержание стеклофазы (Книгина, 1966). Наиболее ценным промышленным сырьем являются продукты крупномасштабных природных угольных пожаров. Их месторождения расположены в Кузбассе, Башкирии, Восточной Сибири, Средней Азии. Они равномерно обожжены и признаны кондиционным полезным ископаемым, их запасы разведаны и учтены балансами.

Свыше 50 млн. м3 разведанных и изученных месторождений природных горелых пород выявлены в Южном Кузбассе в Прокопьевско-Киселевский районе.



Рис. 5.5. Карта исследованных горелых пород Кузбасса

Перечень крупнейших месторождений отвальных и природных горелых пород Кузбасса содержит свыше 30 терриконов мощных шахт и примерно столько же месторождений природных горелых пород (рис. 5.5).

Сопки и гряды сопок горелых пород в этом районе вытянуты в направлении преобладающего простирания угленосных отложений балахокской свиты, которые образовались в результате древних каменноугольных пожаров этих пластов. Горение сопровождалось обжигом вмещающих пород, (главным образом - кровли). Главным образом интенсивные пожары происходили при горении мощных угольных пластов: IV Внутреннего, Горелого и Мощного. Однако близлежащие пласты тоже нередко подвергались горению.

При формировании рельефа поверхности Прокопьевско-Киселевского района обожженные породы обладали стойким сопротивлением к выветриванию и образовали ряд возвышенностей [ ]. Собственные названия имеют наиболее высокие сопки горелых пород, например - на Тугайском участке сопки [ ]: Плешивая с абсолютной высотой 413 м, Двойная - 391 м, Соколиная - 389 м, Сонная - 371 м; на Тайбинском участке сопки; Тихонова - 388 м, Утес - 375 м и т.д.

На горном отводе шахты Зиминка-Капитальная сосредоточены богатейшие запасы полностью обожженных и высокоактивных -горелых пород по пласту IV Внутреннему, который на севере шахты выгорел на глубину до горизонта +220 м и по простиранию на 900 м [ ]. Вертикальная высота пласта колеблется от 60 до 140 м, а мощность горелых пород в пределах 14-40 м при угле падения пласта 6 -75°. Запасы горелых пород нетронуты до горизонта + 270 м и составляют 1,117 млн. м3.

На поле шахты Тайбинская по пласту Мощному также имеются огромные запасы природных горелых пород, частично выходящих на дневную поверхность и образующих отдельные сопки и группы сопок [ ]: Тихонова, Поварнихинская, Церковная, Красные горы, Акчурла, Дальние горы, Пасека.

Характер залегания горелых пород данного месторождения среди выходов пластов угля по нескольким разведочным линиям представлен геологическим разрезом (рис. 5.6).

На массивах горелых пород, приуроченных к залеганию пластов Горелого, Прокопьевского и Мощного, шахты Дальние горы, 4-6, 1-2, Суртаиха, Коксовая, III, им. Калинина организованы и работают закладочные карьеры шахт [ ].



Рис. 5.6. Схема геологического разреза залегания кузнецких горелых пород [ ]:

1 - разведанный выход пласта угля; 2 - предполагаемый выход пласта угля; 3 - горелая порода; 4 - нарушение

В богатейшем и обширном вновь освоенном Том-Усинском районе из природных горелых пород сложена гора Ольжерас и многие пришахтные сопки.

## 5.3. Горелые породы угольных терриконов

"Демидовскит" - такое имя было дано в память известных уральских заводчиков новому минералу, обнаруженному на Южном Урале [Грамолин А.]. В составе этого минерала есть и кальций, и железо, и хлор, и множество других элементов, но в природе он, по утверждению специалистов Института минералогии Уральского отделения РАН, не встречается. Образовался "демидовскит" в отвалах угольных шахт при температуре 800-1000 0С.

Множество техногенных минералов возникает в отвалах, образующихся при складировании "пустой" породы при добыче угля или руды Грамолин А.]. В результате воздействия на материал отвала влаги, микроорганизмов, кислорода, углекислого газа и т.п. образуются новые химические соединения - минералы. Еще во время отсыпки в него углесодержащей массы она во многих местах разогревается и начинает гореть. Такое горение, а точнее, тление продолжается десятки лет с выделением большого количества различных горячих газов. Именно в местах выхода на поверхность террикона этих газовых струй и отлагаются не известные прежде минералы.

В составе горелых терриконов выделяется, по крайней мере, 4 группы образований, различающихся по физико-химическим и технологическим свойствам и степени экологического воздействия на ландшафт:

1) продукты обжига пелитов - химически наиболее инертная часть отвала;

2) продукты обжига карбонатных пород - источники цементных минералов, концентраторы S, F, Cl;

3) «черные блоки» — источники токсичных газов, содержащих S, F, N, Cl;

4) хлоридно-сульфатные коры, концентраторы (SO4)2-, Сl-, (NH4)+, - источник площадного загрязнения почв и вод (Чесноков, Щербакова, 1991).

При разработке перегоревших терриконов можно убедиться, что у основания находятся крупные перегоревшие куски, подчас снаружи прикрытые слоем осыпи (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Террикон

На 1964 г. подсчитанные запасы горелых пород шахтных терриконов в Кузбассе составляли более 20 млн. м3, а природных горелых пород -около 100 млн. м3 (в том числе - штольных запасов около 30 млн. м3).

Сотни тысяч кубометров горелых пород сосредоточены в терриконах шахт: Коксовая - 2, 3, 3-бис, им. Димитрова, Байдаевская, Редаково-Северная, 5/7 и 9/15, им. Кирова, им. Ярославского, «Пионерка»; миллионы кубометров глиежей находятся в месторождениях, прилегающих к шахтам Зиминка, Красногорская, Восточная, и Дальние горы.

## 5.4. Качество горелых пород в зависимости от содержания углистых примесей

Множество экспериментов ряда исследователей показали, что горелые породы, содержащие большое количество углистых примесей, не могут быть использованы не только в качестве основного сырья для производства безобжиговых строительных материалов, но также и в качестве заполнителей для бетонов и растворов [ ].

Это обусловдено тем, что при неполном обжиге горелые породы содержат ряд вредных составляющих, которые после гидротермальной обработки безобжиговых строительных материалов способны к существенным изменениям объема (вследствие изменения влажности и температуры среды, а также взаимодействия с активизатором или кислородом воздуха и водой, дающих новообразования увеличенного объема).

Особенно нежелательны составляющие горелых пород, обладающие высоким водопоглощением и равновесной влажностью, а также большим капиллярным всасыванием и гидрофильным характером поверхности.

Такими составляющими в горелых породах являются [ ]:

а) неполностью сгоревшие угольные частицы модификации, близкой к фюзенам;

б) колчеданы (пирит, марказит и др.), легко вступающие в реакции с кислородом и водой.

Визуальное исследование горелых пород (особенно имеющих сланцеватое, очень плотное тонкозернистое строение) показывает, что часто при нормальных ярких окрасках горелых пород снаружи внутри их содержатся восстановленные зоны, окрашенные в серые и черные цвета. При этом, наличие внутренней восстановленной зоны не характеризуется повышенным содержанием углистых примесей (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Содержание несгоревшего угля в различных зонах горелых пород

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Средний размер кусков в м | Содержание угля в вес. % на сухое вещество |
| Горелая порода | восстановленнаязона | наружная зона окислительного обжига | среднее в пробе |
| Природная шахты Восточная Отвальная шахт: | 1,5-1,7 | 1,23 | 0,37 | 1,15 |
| Шахта им. Кирова | 0,6-0,7 | 1,58 | 1,03 | 1,32 |
| 9/15 | 0,2-0,4 | 2,2 | 2,12 | 2,15 |

Степень самообжига горелых пород определяется в основном наличием примеси угля, которое в природных и отвальных горелых породах изменяется в широких пределах (табл. 5.2).

Так, в природных горелых породах содержание углистых примесей колеблется в пределах 0,3-5,1%, а в горелых породах шахтных терриконов оно намного больше и колеблется довольно широких пределах - от 0,3 до 20,6%.

Таблица 5.2

Содержание углистых примесей в горелых породах [ ]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Горелые породы | Микроописание породы по внешнему виду | Содержание угля в % на сухое вещество |
| Природные - из закладочных карьеров шахт:3-3-бис | Крупные (до 1,5 м) монолиты, кремнеподобные темно-красного цвета | 0,71 |
| Щебень (50-80 мм) твердый розового цвета | 0,3 |
| Щебень мелкий (20-50 мм) твердый с примесью темно-красной пыли | 1,19 |
| Зиминка | Крупные (до 1,6 ж) монолиты темно­красного цвета | 1,42 |
| Сланцевый щебень средней крупности серовато-красного цвета | 2,3 |
| Из терриконов шахт:им. Вахрушева (со стороны, обратной набросу породы) | Мелкий, твердый щебень интенсивного красного цвета, сцементированный в конгломераты | 0,3 |
| Мелкий сланцевый щебень розового цвета с примесью глинистых сланцев и пыли розового цвета | 7,48 |
| Щебень сланцевый средней крупности с примесью черной углистой пыли | 20,6 |
| им. Димитрова | Щебень сланцевый средней крупности светлого желто-розового цвета, неоднород­ный | 2,87 |
| им. Кирова | Щебень сланцевый крупный тускло-красного цвета с примесью мелкозернистого песчаника | 3,21 |
| 5/7 | Крупные куски (до 0,8 ж) песчаника с примесью сланцевого щебня ярко- и темно­красного цвета | 1,78 |
| Серые куски (до 0,3 м) песчаника с включением щебня кирпичного цвета | 11,7 |
| им. Ярославского | Серо-красный щебень с примесью угля | 18,63 |

Для выяснения колебаний содержания углистых примесей в горелых породах, взятых в пределах одного террикона, были обследованы 3 заброшенных террикона на шахтах Бабанаково и «Пионерка» треста Беловоуголь, с отбором большого количества укрупненных средних проб горелых пород (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Содержание углистых примесей в отвальных горелых породах шахт Бабанаково и «Пионерка» [ ]

|  |  |
| --- | --- |
| Терриконы шахт | Количество породы в вес. % при содержании углистых примесей в вес. % (на сухое вещество) |
| до 1 | 1-3 | 3-5 | 5-10 | более 10 |
| Бабанаково | 17 | 22 | 26 | 31 | 4 |
| «Пионерка» | 23 | 29 | 29 | 19 | - |

Если объединить результаты обследования терриконов 2-х крупных шахт Кузбасса, то 72,5% всего количества горелых пород содержит до 6% углистых примесей; 25% горелых пород от 5 до 10% угля и только 2,5% содержит свыше 10% угля [ ]. Однако даже 10% углесодержащих горелых пород в терриконе вполне достаточно, чтобы при валовой добыче без отборки и обогащения понизить качество и однородность всей массы горелых пород.

Горелые породы на месте добычи обогащают просевом (грохочением), так как углистые и глинистые примеси обладают пониженной механической прочностью по сравнению с твердым керамическим черепком обожженной части и частично измельчаются естественным путем уже в отвале, горелые породы на месте добычи обогащают просевом (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Характеристика фракционированных горелых пород [ ]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Размер фракции (мм) | Потери при прокаливании в % по весу | Содержание в вес. % на прокаленное вещество | Предел прочности при сжатии1 вн/м2\*105 |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 |
| Пылевидная < 0,15 | 6,17 | 67,4 | 15,13 | 3,67 | 185 |
| Среднезернистая 3-10 | 3,42 | 63,6 | 19,32 | 5,07 | 343 , |
| Крупная > 10-30 | 1,17 | 62,6 | 20,49 | 8,07 | 480 |
| 1 Образцы с 10 % извести получены на бегунах с пропариванием |

Кривые дифференциально-термического анализа отдельных фракций подтверждают наличие глинистых и углистых примесей в тонких фракциях и термическую инертность крупных фракций (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Термограммы фракционированных горелых пород (фракции в мм) [ ]:

1 - пылевидная (< 0,015); п.п.п. - 6,17 %; 2 – среднезернистая (3-10); п.п.п. - 3,42 %; 3 – крупная (10-30), п.п.п. - 1,17 %

Наибольшей атмосферо- и морозоустойчивости следует ожидать от горелых пород, содержащих углистые примеси в виде графитоподобных матовых ингредиентов (дюренов), частично переходящих в полукоксовые разновидности, что характерно для шахт, выдающих коксующиеся угли [ ].

Исследования поведения строительных материалов из различных горелых пород в условиях службы в стене под штукатуркой вполне подтвердили это положение (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Стойкость материалов в зависимости от модификаций углистых примесей [ ]

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид и размеры изделий (мм) | Марка при укладке в стену | Вид угля | Содержание угля в горелой породе | Срок службы в стене под штукатуркой (в годах) | Предел прочности при сжатии1 в *н/м2\*105* | Морозостойкость1  | Коэффициент размягчения1 |
| Камни пустотелые 390\*190\*140 мм | 35 | Графиты | 3,7 | 5 | 57 | 31 | 0,87 |
| Камни стеновые 250\*120\*140 мм | 35 | Фюзены | 6,8 | 5 | 37 | 15 | 0,7 |
| Кирпич вибропрессованный | 100 | Графиты | 6,2 | 6 | 134 | 28 | 0,93 |
| 1Изделий, извлеченных из стены |

Таблица 3.9

Результаты рентгенофазового анализа образцов отвальной горелой породы

[49]

|  |  |
| --- | --- |
| Фаза | Фракция горелой породы |
| < 0,63 мм | 2,5-5,0 мм | > 20 мм |
| мас. доля, % | d, нм | мас. доля, % | d, нм | мас. доля, % | d, нм |
| SiO2 кварц | 33,7 | 97 | 39,5 | 86 | 46,5 | 100 |
| CaHPO4∙2H2Oбрушит | 10,3 | > 500 | 0,55 | > 500 | 4,36 | > 500 |
| Fe2O3 гематит | 7,79 | 66 | 6,50 | 105 | 2,96 | 114 |
| NaAlSi3O8альбит | 8,8 | 58 | 2,3 | 20 | – | – |
| KAl4Si2O9(OH)3иллит | 39,4 | 25 | 51,1 | 25 | 46,1 | 25 |



Рис.3.17. Результаты рентгеновского микроанализа фракций отвальной горелой породы

[49]

Таблица 3.7

Процентное содержание оксидов элементов в образцах разных фракций горелой породы шахты «Ольховатская» и величина их модулей [49]

|  |  |
| --- | --- |
| Оксид | Массовая доля оксидов (%) во фракциях горелой породы (мм) по результатам анализа  |
| рентгенофазового | микрорентгеновского |
| < 0,63 | 2,5-5 | > 20 | < 0,63 | 2,5-5 | > 20 |
| SiO2  | 51,6 | 56,48 | 60,4 | 57,77 | 43,94 | 39,34 |
| Al2O3  | 21,92 | 26,65 | 23,63 | 14,06 | 21,96 | 18,09 |
| Fe2O3  | 7,79 | 6,5 | 2,96 | 12,00 | 15,17 | 23,14 |
| CaO | – | – | – | 0,31 | 0,69 | 4,29 |
| K2O | 4,65 | 6,03 | 5,44 | 1,10 | 4,28 | 2,36 |
| Na2O | 1,04 | 0,27 | – | 0,31 | 0,74 | 0,92 |
| MgO | – | – | – | 0,73 | 0,58 | 0,93 |
| SO3  | – | – | – | 1,18 | 4,30 | 3,08 |
| TiO2  | – | – | – | 0,90 | 1,53 | 1,22 |
| MnO | – | – | – | – | – | 0,22 |
| Модуль | Значение модулей для фракций горелой породы  |
| Мо  | – | – | – | 0,012 | 0,016 | 0,065 |
| Ма  | 0,42 | 0,47 | 0,39 | 0,24 | 0,50 | 0,46 |
| Мс  | 1,73 | 1,70 | 2,27 | 2,22 | 1,18 | 0,95 |
| Мг.ж.  | 0,58 | 0,59 | 0,44 | 0,45 | 0,85 | 1,05 |

Модуль активности (ма)

Ма = (al2o3) : (sio2)

Силикатный модуль (мс)

Мс = (sio2) : (al2o3 + fe2o3 )

Глинитно-железистый модуль (мг.ж.)

Мг.ж. = (al2o3 + fe2o3) : (sio2)

## 5.5. Дифференциально-термический анализ горелых пород

Исследование горелых пород с помощью дифференциально-термического анализа (ДТА) является одним из способов установления термической инертности материала, т.е. полноты прошедшего самообжига. Вместе с тем по форме кривых ДТА горелых пород можно до некоторой степени судить об их минералогическом составе (хотя для полной его расшифровки необходимо комплексное исследование).



Рис. 5.9. Термограммы природных горелых пород; потери при прокаливании в % по весу для проб [ ]:

1 - 1,29; 2 - 1,87; 3 - 2,03; 5 - 12,69; 6 - 1,43; 9 - 7.05

Группа кривых ДТА природных горелых пород, представляющих технологические пробы, отобранные при геологической разведке 2 крупнейших месторождений в Кузбассе, наглядно иллюстрирует сказанное выше (рис. 5.9).

Высокие величины потери при прокаливании, характеризующей в основном содержание несгоревших углистых примесей для проб 5 (13-14) и 9, вполне увязываются с наличием эндотермических температурных эффектов в области дегидратации глинистых минералов (500-600 °С), и при значительной величине п.п.п. наблюдается глубокий пик эндотермического эффекта [проба 5 (13-14)].

Хорошо обожженные горелые породы являются термически инертными и на кривых ДТА у них практически не отмечается температурных эффектов (пробы 1, 2, 3, 6).

Таким образом, метод дифференциально-термического анализа является при исследовании полноты самообжига горелых пород достаточно показательным и может применяться как самостоятельно, так и в комплексе с другими способами - химическим, петрографическим.

## 5.6. Адсорбционная активность горелых пород как показатель степени обжига

Исследование процессов адсорбции осуществляется рядом методов, зависящих от природы и степени дисперсности адсорбента. Различные материалы резко отличаются но своей дисперсности, характеризуемой удельной поверхностью [43].

Порошки, получаемые размолом твердых тел (шлаки, песок или цементный клинкер), имеют небольшую удельную поверхность, обычно не превышающую 2-3 тыс. см2/г.

Выражением адсорбционных свойств вещества является величина а (характеристика адсорбционной активности) [ ]:

a = С1 - С2/С2\*100%

где: С1 - начальная концентрация красителя;

С2 - концентрация красителя после обработки адсорбента.

При изменении концентрации красителя в узких пределах степень адсорбции можно определить, пользуясь значением величины оптической плотности окрашенных растворов.

По закону Бугера-Ламберта-Бера:

D = хСl,

где: D - оптическая плотность;

х - показатель поглощения па единицу концентрации;

С - концентрация красителя;

l - толщина слоя раствора.

Изучение данного вопроса осложняется тем, что уголь в отходах топливной и энергетической промышленности — горелых породах, шлаках и дисперсных золах ТЭЦ и ГРЭС — может находиться в различных модификациях в зависимости от условий и степени тепловой обработки вплоть до ококсованных частиц, а адсорбционная активность различных модификаций и видов различна (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Адсорбционная активность Кузнецких углей и их модификаций [ ]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Проба | Месторождение | Углехимическая характеристика | Оптическая плотность |
| Уголь№ 1 | Шахта Журинка, пласта № 3 | Ас=3,24%; ωр=5,23%;υр=44,60% | 0,044 |
| № 2 | Шахта Прокопьевская, пласт Горелый | Ас=4,23%; ωр=0,55%;υр=20,18% | 0,058 |
| № 2а | Шахта Прокопьевская, пласт Горелый | Ас=4,23%; ωр=0,55%;υр=20,18%  | 0,044 |
| № 3 | Шахта Киселевск-уголь, пласт Мощный | Ас=4,90%; ωр=3,25%;υр=25,72% | 0,23 |
| № 4 | Шахта имени Кирова, пласт Паленовский | Ас=4,23%; ωр=0,60%;υр=41,7% | 0,044 |
| Графит | - | - | 0,08 |
| Полукокс | Кузнецкий | - | 0,04 |
| Кокс | - | - | 0,251 |

Изменение оптической плотности по величине адсорбционной активности зависит от активности углистого компонента [ ]. По величине оптической плотности смеси (горелой породы, золы) трудно установить, в какой модификации находится уголь, так как AD для углистых ингредиентов очень разнообразна (табл. 5.7).

Из приведенных данных видно, что оптическая плотность углистых адсорбентов чрезвычайно разнообразна, хотя у большинства каменных углей она близка к оптической плотности среднеактивных цемянок 0,04-0,06, для свежеизмельченного графита она несколько выше - 0,08 и для некоторых проб угля и кокса она резко увеличивается до 0,23-0,251.

Таблица 5.7

Влияние модификации угля на адсорбционную активность [ ]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Адсорбенты | Добавка уг­листого ве­щества в вес. % | Оптическая плотность |
| Цемянка из клещихинских глин, обожженных при температуре в СС | Углистый | Цемянки | Углистойдобавки | Смеси |
|  | Уголь № 3 | 1 | 0,156 | 0,23 | 0,159 |
| 600 | Кокс | 1 | 0,156 | 0,251 | 0,171 |
|  | Графит | 1 | 0,156 | 0,037 | 0,153 |
|  | Уголь № 2 | 3 | 0,058 | 0,058 | 0,058 |
| 800 | Графит | 3 | 0,058 | 0,08 | 0,063 |
|  | Кокс | 3 | 0,058 | 0,04 | 0,058 |

**Адсорбционная активность горелых пород.** Исследование адсорбционной активности горелых пород Кузбасса методом фотоэлектроколориметрии воспроизводит результаты и зависимости, полученные для цемянок из железистых закварцованных глин [44].

Данные для большого количества проб отвальных и природных хорошо обожженных горелых пород многих шахт Кузбасса при содержании углистых от 0,35 до 6,14% нанесены на кривые (рис. 5.10) и при некотором разбросе повторяют очертание эталонной кривой, полученной для цемяночно-углистой смеси.



Рис. 5.10. Изменение оптической плотности при адсорбции в зависимости от содержания углистых примесей []:

1 - кривая для демяночно-углистых смесей; 2 - кривая для горелых пород

Методом адсорбционного анализа при помощи фотоэлектроколориметра было установлено:

1) адсорбционная активность железисто-алевритовых цемянок и горелых пород Кузбасса прямо пропорциональна оптической плотности растворов МГ;

2) по величине разности оптических плотностей исследованные адсорбенты подразделяются на определенные группы (в соответствии с табл. 5.8);

3) адсорбционная активность горелых пород, зависит от содержания углистых примесей, повышаясь с их увеличением;

4) адсорбционная активность цемянок и горелых пород зависит от температуры тепловой обработки адсорбента.

Таблица 5.8

Классификация адсорбентов по оптической плотности [ ]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Адсорбенты | Активностьадсорбента | Пределы изменения |
| разность оптических плотностей ∆ D раствораМГ | емкости поглощения Е в мг-экв |
| Угли, цемянки обжига при 800-1000°С | Низкая | 0-0,025 | 0-6 |
| Горелые породы и цемянки обжига при 300-600° С, графит | Средняя | 0,025-0,07 | 6-14 |
| Цемянки обжига при 500-600° С  | Высокая | 0,07-0,15 | 14-30 |
| Угли, кокс | Оченьвысокая | 0,15-0,25 | 30-50 |

Вполне естественным было бы предположение, что величина адсорбционной активности горелой породы прямо пропорциональна количеству глинистых и углистых примесей, но различная активность углей не дает возможности сделать этот вывод.

Большое количество проведенных исследований показывает, что для большинства горелых пород (особенно для глиежей), величина Еадс может служить непосредственной характеристикой степени самообжига, но иногда встречаются отклонения, необъяснимые без глкбокого изучения природы материала и примесей. Обычно они связаны с наличием тонкодисперсных глинисто-сланцевых пород и адсорбционно-активных модификаций угля (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Адсорбционная активность глиежей и степень самообжига [ ]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Потеря при прокаливании в вес. % на сухое вещество | Адсорбционнаяактивность | Потеря при прокаливании в вес. % на сухое вещество | Адсорбционнаяактивность |
| 0,69 | 7,63 | 2,27 | 24,2 |
| 0,73 | 3,06 | 2,5 | 10,72 |
| 0,96 | 4,55 | 2,74 | 25,02 |
| 1,17 | 5,9 | 5 | 14,68 |
| 1,28 | 11,15 | 5,02 | 12,44 |
| 1,43 | 1,5 | 5,4 | 22,28 |
| 1,51 | 4,05 | 7,06 | 19,82 |
| 1,87 | 6,82 | 8,15 | 12,46 |
| 1,98 | 2,56 | 12,62 | 12,44 |
| 1,99 | 8,11 | 13,1 | 24,31 |
| 2,02 | 5,94 | 14,6 | 20,16 |
| 2,09 | 20,69 |  |  |
| Примечание. Результаты исследования 23 проб глиежей порядке возрастания величины потери при прокаливании: менее более 5 %.расположены в по- 2о/(ь от 2 до 5с/в и |

Если п.п.п. менее 2 %, адсорбционная активность для большинства проб меньше 6 мг-экв, а почти для всех проб, имеющих п.п.п. более 2 и 5 %, адсорбционная активность значительно выше 10 мг-экв и колеблется в широких пределах.

## 5.7. Химический состав горелых пород

Характеристика горелых пород по химическому составу на основании данных валового химического анализа, проведенного также, как и для легкоплавких глин, не является исчерпывающей для объяснения свойств горелых пород и оценки их качества.

По данным исследования влияния углистых и негидратированных глинистых примесей к горелым породам относятся только такие разновидности, потери при прокаливании в которых не превосходят 3% для кремнеземистых разновидностей и 5% для глинистых.

Таблицы 5.10 и 5.11 содержат результаты валовых химических анализов природных и отвальных горелых пород крупнейших угольных бассейнов и месторождений СНГ.

Таблица 5.10

Химический состав природных горелых пород (глиежей) [ ]

|  |  |
| --- | --- |
| Месторождение | Содержание в вес. % на сухое вещество |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | MnO | SO3 | п.п.п. |
| Кузнецкий угольный бассейн |
| Шахта № 3 (закладочный карьер) | 71,269,2767,2 | 19,3520,6117,72 | 3,23,998,33 | 2,12,53 | 1,631,421,66 | 0,810,5 | 0,230,230,32 | 1,690,781,64 |
| Шахта восточная | 70,775,42 | 20,714,11 | 4,84,79 | 0,861,6 | 0,90,91 | 0,50,5 | —— | 1,362,32 |
| Сопка Караул | 73,16 | 17,91 | 3,19 | 1,8 | 0,65 | 0,48 | — | 2,75 |
| Шахта Зиминка | 67,2662,6465,6 | 14,4820,2120,54 | 11,385,997,59 | 2,456,41,3 | 1,652,141,09 | 0,620,550,43 | ——0,14 | 2,311,753,16 |
| Красные горы | 73,25 | 19,41 | 3,59 | 1,35 | 1,2 | — | 0,14 | 0,68 |
| Поварнихинский лог | 67,15 | 16,01 | 4,19 | 6,1 | 1,5 | 0,75 | 1,02 | 3,01 |
| Сопки: |
| Тихонов камень | 60,25 | 22,01 | 8,49 | 2,12 | 0,4 | 0,95 | 0,22 | 3,88 |
| Церковный лог | 69,3 | 21,3 | 2,88 | 1,22 | 0,48 | 1,18 | 0,3 | 1,38 |
| Афонинская | 75,02 | 15,82 | 1,63 | 0,95 | 0,65 | 1,02 | 0,76 | 1,6 |
| Киселевская | 77,74 | 15,6 | 3 | 0,63 | 0,85 | 0,4 | 0,1 | 1,6 |
| Топкая | 69,05 | 15,13 | 5,77 | 0,91 | 0,68 | 0,5 | 0,6 | 3,6 |
| Шахта центральная Кемерово | 66,53 | 25,52 | 0,88 | 2,59 | 1,19 | 0,3 | 0,28 | 0,52 |
| Гора Ольжерас, Томь-Усинский район | 70,56 | 20,6 | 4,01 | 0,95 | следы | 2,25 |
| Дальние горы | 74,9178,0974,7673,7475,270,2566,6969,269,0868,5468,34 | 18,3116,4519,0118,2619,6918,0218,0118,1818,118,0217,17 | 3,4723,393,091,016,789,476,287,987,914,73 | 0,550,780,70,60,70,70,6——1,052,8 | 0,990,3811,650,5711,65——1,311,55 | ——————————— | ————0,77————0,390,62 | 0,91,411,111,081,091,641,180,811,081,271,39 |
| Латышевский угольный разрез | 68,862,81 | 14,4511,52 | 3,477,53 | 4,247 | 1,151,21 | 0,10,2 | 2,814,85 | 5,778,15 |
| Кемеровское |
| Хорошеборский участок № 1 | 73,6573,22 | 16,420,37 | 4,251,15 | 1,050,7 | 0,650,4 | —— | 0,240,28 | 0,732,5 |
| Хорошеборский участок № 2 | 69,8667,865,862,376,973,765,960,76 | 11,8812,3113,322,9112,4415,316,1416,13 | 7,726,947,15,74,815,46,3611,77 | 5,9577,281,42,940,771,611,61 | 2,681,672,821,191,190,922,641,09 | ———————— | 0,880,941,610,940,570,890,990,67 | 1,291,872,035,021,471,935,47,05 |
| Хорошеборский участок № 3 | 68,6772,6 | 21,3617,7 | 3,472,57 | 0,840,7 | 0,80,56 | —— | 0,20,22 | 1,170,95 |
| Кедровый участок № 1 | 64,5968,268,1267,8768,5461,62 | 21,8719,0717,2518,9217,0823,26 | 6,185,165,056,115,928,59 | 1,191,263,150,980,911,75 | 1,270,831,411,540,580,59 | —————— | 0,240,390,240,270,240,43 | 1,441,991,911,2852,27 |
| Кедровый участок № 3 | 67,272,88 | 17,7814,47 | 6,094,83 | 1,211,69 | 1,020,74 | —— | 2,932,02 | 3,041,89 |
| Новобалахонский участок | 67,8666,89 | 17,8419,04 | 6,536,14 | 1,441,17 | 0,991,5 | —— | 2,241,84 | 0,61,25 |
| Латышевскийучасток | 70,0873,54 | 16,3213,77 | 6,054,29 | 0,891,62 | 0,810,64 | —— | 1,061,17 | 2,022,09 |
| Различные угольные районы СНГ |
| Маячное, Башкирское  | 70,470,169,266,6 | 22,924,326,311,3 | 3,13,32,714,2 | 2,21,51,22,7 | 1,20,60,61,8 | ———— | Следы»0,20,5 | 0,91,312,1 |
| Кызыл-кийское, Кыргызстан | 71,1280,9285,2974,3879,6476,16 | 21,4411,595,7814,9612,5515,35 | 1,22,253,944,73,213,45 | ———0,40,28— | ———1,060,79— | ——Следы»—— | 0,030,521,571,010,160,78 | 0,171,041,011,241,642,2 |
| Ангренское, массив Джигиристан- Сай, Узбекистан | 63,469,158,2258,3265,4865,02 | 28,2924,3818,461723,2626,01 | 3,211,173,635,130,743,39 | 0,490,2810,3610,575,263,29 | 0,250,452,853,11,370,5 | Следы————— | 0,27—0,280,170,61— | 2,362,41,682,3631,8 |
| Ирша-Бородинское, Красноярский край | 7167 | 16,519,1 | 2,84,7 | 0,750,96 | 1,53,3 | —— | —— | 1,61,4 |

Таблица 5.11

Химический состав горелых пород из терриконов

|  |  |
| --- | --- |
| Месторождение | Содержание в вес. % на сухое вещество |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | MnO | SO3 | п.п.п. |
| Кузнецкий угольный бассейн |
| Шахты: |
| Имени Ворошилова | 72,5670,35 | 18,8119,91 | 3,994,79 | 2,652,6 | 0,990,5 | 0,290,43 | —— | 0,670,76 |
| Зиминка | 70,2169,5472,3 | 20,7118,8118,68 | 5,195,192,32 | >,21,81,69 | 1,391,231,41 | 0,230,68Следы | —0,290,3 | 0,562,421,23 |
| Имени Димитрова | 6467,36 | 21,1922,16 | 6,165,99 | 0,981,7 | 1,881,91 | 0,430,20 | 4,31— | 1,140,45 |
| Имени Кирова | 66,4167,3 | 19,7118,71 | 5,014,79 | 4,25,25 | 2,51,48 | Нет» | —0,33 | 2,121,9 |
| Имени Ярославского | 66,38 | 16,92 | 7,58 | 4 | 2,35 | » | Нет | 2,52 |
|  5/7 | 67,8 | 19,53 | 5,7 | 3,25 | 1,53 | 0,52 | 0,33 | 1,23 |
| 9/15 | 67,6662,27 | 19,8119,7 | 5,195,81 | 44,92 | 1,641,62 | 0,380,86 | 0,70,2 | 0,344,45 |
| Бабанаково | 63,45 | 19,58 | 5,79 | 2,6 | 2,15 | 1,71 | — | 2,61 |
| № 13 | 68,76 | 20,71 | 5 | 2,8 | 2,7 | Следы | — | 0,52 |
| «Комсомолец» | 67,21 | 19,62 | 5,41 | 3,2 | 1,31 | 0,51 | 0,24 | 2 |
| Центральная | 72,02 | 15,51 | 5,76 | 1,07 | 1,52 | 1,24 | 0,1 | 1,88 |
| Различные угольные районы СНГ |
| Донецкий угольный бассейн | 6354,2453,1463,7955,6260,5973,55853,1 | 24,5925,0223,0527,9126,3324,5414,2224,9525,9 | 6,717,1912,185,557,547,986,086,089,9 | 0,270,91,490,972,41,931,62,053,21 | 1,862,31—0,821,032,781,231,625,01 | 0,270,3——————— | 0,871,62—0,472,251,480,840,72,8 | 0,926,147,060,34,52,072,521,844 |
| Подмосковный угольный бассейн | 48,6751,5868,2259,7171,0464,6260,55 | 38,9236,3622,1127,422,426,9726,37 | 4,234,133,824,593,984,26,13 | 0,621,683,412,251,061,31,12 | 0,23———0,070,38— | ——————— | 1,05———0,911,4— | 6,272,772,091,580,61,593,35 |
| Сланцевые горелые породы поселка Горного, Саратовская область | 37,5 40,8 1 43,09 | 13,0213,4518 | 3,981,753,8 | 2421,6419,21 | 1,11,560,9 | ——— | 2,27,754,1 | 18,159,89,2 |
| Тваркчелуголь, Грузия | 55,0154,27 | 30,9731,89 | 3,412,94 | 8,9710,01 | 0,130,27 | — | 0,590,97 | 0,810,63 |
| Карагандинский угольный бассейнКазахстан | 52,9953,9451,2152,67 | 30,7224,5633,3929,81 | 6,87,545,226,1 | 6,073,843,834,73 | 1,421,520,881,48 | 0,21——— | 0,660,40,570,71 | 1,325,24,882,07 |

Колебания содержания окислов в указанных группах глиежей представлены в табл. 5.12.

Таблица 5.12

Содержание главных окислов в глиежах [ ]

|  |  |
| --- | --- |
| Глиежи | Содержание в вес. % на сухое вещество |
| Si02 | А1203 | Fe203 |
| Кремнеземистые | 60,25-85,29 | 11,52-25,52 | 1,15-11,38 |
| Глинитные маложелезистые | 58,32-70,1 | 17,00-28,29 | 0,74-5,13 |

Горелые породы шахтных терриконов могут относиться к различным группам по перечисленным классификационным признакам, что подтверждает необходимость комплексного подхода при определении рационального направления их использования.

## 5.8. Пути промышленного использования горелых пород терриконов

Возможности применения горелых пород в промышленном производстве весьма разнообразны.

При этом для выбора конкретного направления использования каждый вид горелых пород должен пройти несколько уровней оценки по различным критериям [1]:

* агрегатному состоянию;
* физико-механическим свойствам;
* химико-минералогическому составу;
* объемам образования;
* по токсичности.

В настоящее время выделяют несколько направлений промышленного использования горелых пород (табл. 5.13).

Таблица 5.13

Направления использования горелых пород [ ]

|  |  |
| --- | --- |
| **Направления** | **Возможные эффекты** |
| Дорожное строительство | Повышение прочностных свойств |
| Вяжущее в бетоне | Повышение истираемости |
| Заполнитель бетона | Повышение моростойкости |
| В асфальтовых и полимерных композициях | Повышение сульфатостойкости |
| Строительство сооружений | Повышение жаропрочных свойств |
| Фильтрационный материал | Повышение воздухостойкости |
| Сорбент | Повышение адсорбционной активности |

Горелые породы находят широкое применение в дорожном строительстве преимущественно при устройстве оснований [13]. В Донбассе, например, горелые породы используются при устройстве нижнего слоя двухслойных оснований под асфальтобетонные покрытия.

Одним из основных направлений использования горелых пород является их применение в качестве альтернативного материала в покрытиях и подоснове автомобильных дорог*.* Существующие технологии позволяют комплексно утилизировать как горелые, так и сырые отходы угледобычи, благодаря чему достигается полная очистка территории. В Испании в 1993 году начал работу завод по переработке террикона Рейкастро. Его основная продукция - гранулированный материал для грубой подосновы дорог(Cafiibano,1995). Автомобильные дороги, в покрывающих и подстилающих слоях которых использован весь спектр отходов угледобычи, углеобогащения и углепереработки, включая золы, в настоящее время построены в Японии, США, ФРГ, Англии, Испании, Румынии.

Практическое отсутствие современных автомобильных дорог в Южноуральском регионе позволяет рассматривать это направление как чрезвычайно перспективное. Главным препятствием использованию этого материала в данном случае могут оказаться не столько технологические сложности, сколько местная традиция - закладывать вблизи строящейся дороги очередной карьер, ставить там дробилку и возить на дорогу щебень. Решение о приоритетном использовании в области вторичных ресурсов по сравнению с коренными кристаллическими породами должно быть закреплено законодательно.

В продолжение «дорожной» темы следует сделать некоторые дополнения. Хотя раздел об использовании силикатной составляющей терриконов и был начат со слов о традиционном применении этого материала в производстве строительных материалов, но, если не кривить душой, то самой популярной областью «утилизации» горелых отвалов на просторах бывшего СССР следует признать их вываливание на грунтовые дороги, строительные площадки, железнодорожные насыпи, а также в провалы, овраги, на топкие участки ферм и подсобных хозяйств. В этом случае горелая порода, перемалываемая колесами транспорта, является долгоживущим источником огромного количества силикатной и цементной пыли.

При этом конструкция дорожной одежды следующая [13]: асфальтобетонное покрытие — 4—9 см, щебеночное или шлаковое основание — 12—20, подстилающий слой из горелой породы — 10—18 см.

К горелым породам как материалу для оснований дорог предъявляются следующие требования [13]: плотность в куске — не менее 2 г/см3, водопоглощение — не более 5%, износ в полочном барабане — не более 35%, содержание пылевидных частиц — не более 3%.

При удовлетворительных физико-механических свойствах горелые породы используют не только для нижних, но и для верхних слоев оснований, а также нижнего слоя покрытия.

При обжиге пород в массивах терриконов в алюмосиликатных минералах происходят довольно глубокие изменения (прежде всего в каолините), что во многом определяет их последующие физико-механические свойства и химическую (гидравлическую) активность горелых пород [13]. Так, в зависимости от модуля М горелые породы делят на четыре группы активности.

Поэтому горелые породы применяют в качестве активных минеральных добавок для известково-глинитных и сульфатно-глинитных вяжущих [13].

Известково-глинистые вяжущие содержат 10—30% извести в зависимости от активности горелой породы и до 5% гипса [13]. Для обеспечения достаточной воздухостойкости применяют породы с содержанием А1203 не менее 14%, а содержание извести повышают до 50%. По прочности на сжатие известково-глинитные вяжущие обычно соответствуют маркам М50 и М100.

При нормальной температуре их прочность растет медленно, увеличиваясь к 2-месячному возрасту в 1,3— 2 раза, к 3-месячному — в 2—3 раза по сравнению с 28-суточной [13]. При пропаривании прочность увеличивается по отношению к 28-суточному возрасту в 1,5—3 раза, при обработке паром под давлением 0,8 МПа - в 4-5.

Сулъфатно-глинитные вяжущие представляют собой композиции из двуводного гипса (50—65%), горелой породы (15—40%) и активизатора — портландцементного клинкера (10—20%).

Безобжиговые сульфатно-глинистые вяжущие относятся к группе гидравлических вяжущих веществ, твердение которых обусловлено химическим взаимодействием гипсового камня, портландцементного клинкера и горелой породы, а также процессами перекристаллизации двуводного гипса [13].

При воздушном твердении прочность этих вяжущих невелика и достигает при испытании образцов из теста нормальной густоты 5—7 МПа, причем к 60 суткам ее нарастание прекращается [13]. Во влажных условиях наблюдается длительный и сравнительно интенсивный рост прочности, достигающей к 28-суточному возрасту 20 МПа, а к годичному— примерно 40 МПа. Прочность вяжущих сульфатно-глинитного типа также повышает тепловлажностная обработка.

Прогрев при температуре более 100 °С, приводящий к дегидратации двуводного гипса, нежелателен.

Горелые породы (прежде всего - обожженные глинистые материалы) обладают повышенной активностью по отношению к извести и поэтому используются как гидравлические добавки в вяжущих известково-пуццоланового типа, портландцементе, пуццолановом портландцементе и автоклавных материалах [13].

Горелые породы содержат активный глинозем в виде радикалов дегидратированных глинистых минералов, а также активные кремнезем и железистые соединения [13]. В отличие от шлаков и зол, они почти не содержат стекловидных компонентов.

Дегидратация каолинита и других гидроалюмосиликатов, присутствующих в глинах, приводит к образованию продуктов, интенсивно взаимодействующих с гидроксидом кальция [13].

Активность дегидратированных глинистых минералов зависит от строения кристаллической решетки и убывает от каолинита к гидрослюдам. Для горелых пород, как и других силикатно-алюминатных материалов, она не полностью выражается поглощением оксида кальция [13]. Наряду с гидравлической активностью, характеризуемой поглощением извести, горелые породы характеризуют величиной адсорбционной активности.

Максимальную активность имеют породы, обожженные при 500—600 °С, повышение температуры до 800— 1000 °С ее резко снижает [13].

Повышению активности горелых пород способствуют микропоры и микротрещины.

Высокая адсорбционная активность и адгезия к высокомолекулярным соединениям позволяют отнести горелые породы к лучшим наполнителям в асфальтовых вяжущих, бетонах и полимерминеральных составах [13]. Композиции с активными наполнителями имеют высокие физико-механические свойства при незначительных расходах полимеров.

Молотую горелую породу можно использовать взамен части портландцемента, при производстве пуццоланового цемента или в качестве пуццолановой добавки к бетонным смесям.

К настоящему времени уже накоплен положительный опыт применения широко распространенной разновидности горелых пород — глиежей — как гидравлических добавок к портландцементу и пуццолановому портландцементу [13].

Минимальная активность по поглощению извести глиежами, вводимыми в цементы, составляет 30 мг СаО на 1 г добавки. Реакционная способность добавок возрастает по мере повышения их дисперсности [13]. Как и золы, глиежи вводятся в пуццолановый портландцемент в количестве 35—55 %. Однако они в меньшей степени, чем другие добавки осадочного происхождения, увеличивают водопотребность цемента и соответственно водопотребность бетонных смесей, деформации усадки и набухания бетона.

Однако, для использования отходов угледобычи при производстве вяжущих рекомендуется использовать только хорошо перегоревшую породу.

В то же время, известно, что даже в пределах одного террикона степень обжига породы крайне неоднородна, что значительно ограничивает объемы ее утилизации.

В специальной литературе практически отсутствуют сведения о влиянии содержания различных вредных примесей в шахтных породах (сернистые соединения, глина, несгоревшие мольные частицы) на свойства вяжущих на их основе. О степени обжига лучше всего судить по результатам дифференциально-термического анализа.

При использовании горелых пород как песков для растворов и бетонов гидротермального твердения особенно ярко проявляется их физико-химическая активность, что повышает прочность материалов.

Необходимо также учитывать то, что при хорошем обжиге все разновидности горелых пород (как природных месторождений, так и из терриконов) вполне морозостойки. Это относится и к тем хорошо обожженным горелым породам, у которых при испытаниях наблюдается значительное «раскрытие» трещин, но потерь в весе не происходит.

При плохом обжиге породы выдерживают от 5 до 10 циклов «замораживания – оттаивания».

Но это не отражает действительной прочности, которая зависит от трещиноватости горелой породы. Мелкие фракции полученные при дроблении трещиноватых горелых пород, не должны уступать прочности таких же фракций из плотных пород, т.к. трещины разных размеров в горелых породах не являются следствием выветривания, а образовались при обжиге.

Подтверждением такого заключения может быть твердость трещиноватой породы, которая по любым плоскостям одинакова.

Кроме того, трещиноватость хорошо обожженных горелых пород не отражается на их морозостойкости. У плохо обожженных горелых пород предел прочности при сжатии значительно меньше, чем у пород с хорошим обжигом. К тому же плохо обожженные породы под действием атмосферных факторов со временем разлагаются, и теряют вообще свойства камня.

Щебень и песок из желтого и розового горельника могут служить не только активными минеральными добавками в составе вяжущих, но и выполнять функции заполнителей. На их основе эффективно изготавливать кладочные растворы, особенно для возведения фундаментов в агрессивных средах, и мелкозернистые легкие автоклавные бетону с пределом прочности на сжатие до 2—5 МПа и средней плотностью до 1800 кг/м3 [13].

От обычных инертных заполнителей их отличают гидравлические свойства, способность самовакуумироваться, капиллярно всасывая влагу и цементный клей в процессе твердения. Бетоны можно изготавливать как на портландцементе, так и на известково-шлако-глинитном цементе из горелых пород с заполнителями из этих же пород.

Перегоревшая шахтная порода, в большинстве случаев, содержит небольшой процент угля (0,9...2,6 %), серы и других органических примесей [1]. Эти примеси находятся в основном в мелочи, которая может отсеиваться через сито с отверстиями 5 мм.

Таким образом, хорошо перегоревшую породу после дробления и классификации можно использовать в качестве крупного заполнителя бетонов. При этом в качестве щебня предпочтительнее применять горелые породы, имеющие в основе алевролиты, мелкозернистые песчаники и твердые сланцы.

Установлено также, что чем выше содержание кремнезема в щебне, тем выше его марка по прочности, истираемости и морозостойкости [7]. Заполнители из горелых пород имеют среднюю плотность от 800 до 1450 кг/м и предел прочности при сжатии в цилиндре до 40 МПа, что позволяет применять их в производстве бетонов марок Ml00...200.

Большинство минералов заполнителя представлено алюмосиликатами, и находящийся на их поверхности обменный ион алюминия с водой образует комплексы, способные проявлять шталитичёскую активность и интенсифицировать коагуляционное и кристаллизационное структурообразование поверхности раздела «заполнитель - вяжущее».

Фракции горелой породы с размером 0,16...5 мм можно использовать в качестве мелкого заполнителя бетонов.

Использование подобных заполнителей, получившихся в результате самовозгорания давно лежащих отвалов, имеет уже место на Дальневосточных углеразработках.

Естественно обжигаемые в недрах земли или в терриконах угольных шахт горелые породы — аргиллиты, алевролиты и песчаники — имеют керамическую природу и могут применяться в производстве жаростойких бетонов и пористых заполнителей.

Однако широкое использование горелых пород затрудняется их неоднородностью, в них может содержаться некоторое количество (до 2—3%) несгоревшего топлива.

Получаемый из таких отвалов продукт по пористости напоминает котельный шлак и употребляется для монолитного шлакобетонного строительства, представляя собой переход к искусственным пористым заполнителям.

Установлена более высокая активность известково-горелопородных вяжущих в растворах с горелопородным песком по сравнению со стандартным Вольским песком. Это объясняется более развитой поверхностью и активностью горелопородного заполнителя, в результате чего повышается адгезия, а также происходит вакуумное всасывание теста вяжущего в капилляры зерен горелой породы, образующиеся в результате выгорания углистых примесей.

Наиболее эффективно используется горелая порода после обработки органическим вяжущим.

Высокая адсорбционная активность и сцепление с органическими вяжущими позволяют применять их в асфальтовых и полимерных композициях.

Наличие очень хорошего сцепления битумов с горелыми породами позволило исследовать возможность применения горелых пород для приготовления асфальтобетонов.

Исследовались горячие и холодные крупно-, средне- и мелкозернистые асфальтобетоны с минеральным порошком из молотой породы и пылевидных частиц из терриконов.

Так, щебень и песок приготовлялись путем дробления горелых пород. Опыт показал, что хорошо обожженные горелые породы из терриконов шахт 9/15 и 5/7, «Капитальная-1» и Хорошеборского природного месторождения вполне пригодны в качестве всех минеральных составляющих асфальтобетона [14]. Полученные из горелых пород асфальтобетоны удовлетворяют существующим требованиям.

Необходимо отметить, что сульфатостойкость глиеж-цементов зависит не только от минералогического состава клинкера, но и от содержания растворимого глинозема в добавке, взаимодействующего с гидроксидом кальция при твердении цемента и образующего дополнительное количество гидроалюмината.

Количество растворимого глинозема определяется его выщелачиванием 6%-ным раствором соляной кислоты. Содержание растворимого А12О3 в сульфатостойком пуццолановом портландцементе не должно превышать 2%. Растворимость глинозема в глиежах и других обожженных глинах снижается с повышением температуры их обжига до 1000 °С.

Среди перспективных направлений переработки горелых пород можно выделить производство керамических стеновых материалов на их основе. Обладая высокой теплотворной способностью (2500...9200 кДж/кг), они используются также в качестве исходного сырья или выгорающей добавки при производстве искусственных пористых заполнителей бетона, например, аглопорита [1].

Некоторые физико-механические свойства горелых пород (прежде всего – повышенная активная пористость), наряду со специальными химическими свойствами (повышенная активность) позволяют производить из них высокоэффективный фильтрующий материал. Суммарный износ, которого составляет менее 0,25 % в год, при пористости 58 %.

Другие фильтрующие материалы менее устойчивы к воздействию воды, их износ значительно выше, в пределах от 3,5 % до 5 %, при пористости менее 52 %.

Основную массу любого горелого отвала слагают породы желтого и розового горельника, обладающие низкой механической прочностью. Их использование без дополнительной термообработки для производства строительных материалов малоэффективно. Г.И. Книгина (1966) рассматривает их как естественную составную часть цемента. Будучи тонкоразмолотыми и смешанными с известью они образуют цемент, подобным глинитному, - известный человечеству древнейший вид гидравлического вяжущего. Гидравлическая активность горелых пород обусловлена наличием в них: алюминатного и кремнеземистого и железистого активных компонентов. Они способны набухать при взаимодействии с известью с образованием гелеобразных соединений, склонных к последующему отвердеванию.

Производство из горельников соответствующей продукции может быть успешно реализовано только в том случае, если составные части этой смеси будут тонко измельчены. Поэтому все технологии непременно включают процедуру мелкого дробления силикатных горелых пород, отделения пылеватой фракции, обогащенной цементными минералами, и ее вторичное складирование (Книгина, 1966). Такой подход был обычен в 1960-е годы, но не может считаться экологически безопасным в наши дни. Тем не менее перечислим те области стройиндустрии, в которых этот продукт потенциально может найти применение.

При этом стоимость изделий на основе горелопородного сырья не превышает 30...50 % стоимости таких же изделий из обычного бетона, кирпича или дерева. По данным ВНИИОМПромжилстроя стоимость горелопородного цемента даже при вибропомоле составляет только 60 % стоимости шлакопортландцемента [8].

Ориентировочные расчеты показывают, что применение горелых пород в дорожных основаниях и покрытиях может привести к снижению стоимости строительства в 10 раз по сравнению с применением привозных каменных материалов.

Исследования горелых пород угольных бассейнов Донецка, Кузнецка, Москвы, Караганды и др., проведенные институтом ВНИИОМПромжилстрой (г. Киев), показали возможность их использования при производстве местных вяжущих, песка и щебня [8], а институтом ЦНИИС (г. Москва) определена номенклатура изделий, которые могут быть изготовлены на основе горелопородного заполнителя: лотковые элементы, элементы заборов, фасадная плитка, перегородки и другие изделия.

Материал горелых терриконов может быть использован также для производства несущих бетонных конструкций.

Основными факторами, обеспечивающими качество бетонных и железобетонных изделий на основе горелых пород средней кондиции, являются состав сырьевых смесей, дисперсность компонентов, водо-вяжущее отношение, способы механического перемешивания, характер уплотнения и гидротермальной обработки.

В угленосных регионах бывшего СССР осуществлялись попытки комплексной переработки отвальных пород. Так, в Донбассе, согласно налаживалось опытное производство бетонов на основе горелой породы на Алчевском шлакоблочном заводе.

Особенно ценное свойство вяжущих из горелых пород - их химическая устойчивость по отношению к агрессивным средам, что делает их пригодными для подземного шахтного строительства. Дерево в этих условиях гниет, металл корродируется, а бетон на портландцементе постепенно разрушается. Известково-глинитные вяжущие устойчивы по отношению к целому ряду сильных химических агрессоров, в частности, к свободному СO2.

Шахтах «Стахановец», «Криничная Южная», «Михайловская №12», «Мария-Глубокая» 1-2 им. Свердлова и др. такие бетоны использовали для крепления подземных выработок. Обследование бетонной крепи через 10... 15 лет показало, что изделия находятся в хорошем состоянии.

В то же время увеличению объемов производства бетонов, а также расширению номенклатуры изделий на их основе препятствует ряд факторов, среди которых первостепенное значение имеет крайняя неоднородность состава и свойств пород шахтных отвалов.

Широкие пределы изменения содержания различных оксидов и минералов свидетельствует о том, что для оценки горелых пород как технологического сырья необходим индивидуальный (по каждому террикону) подход.

Таким образом, не исключается возможность получения такого рода горелых пород и путем искусственного сжигания или самовозгорания шахтных терриконов.

**Силикатные горелые породы.** Близкое сходство фазового, химического состава и механических свойств прокаленных глинистых пород с различными видами технической керамики предопределило их использование прежде всего в *производстве строительных материалов* (Якунин, Агроскин, 1978). Обстоятельные научно-исследовательские работы в области их использования в строительной индустрии были выполнены в 1953-1966 гг. в лаборатории Новосибирского инженерно-строительного института под руководством Г.И. Книгиной (1966). Освоение горелых пород терриконов началось в 1938-1940 гг. в Донбассе и заключалось в их мокром помоле совместно с известью и портландцементом. Этот способ известен под названием «пробуждение» и перенесен из технологии переработки шлаков. Внедрение его в промышленность сыграло огромную роль - с этого времени, по существу, начинается освоение колоссальных резервов техногенного строительного сырья в виде шлаков, зол и горелых пород.

Наиболее ценным компонентом горелой массы при производстве строительных материалов, безусловно, является клинкер - продукт, прошедший стадию высокотемпературного обжига, остеклования и новообразования кристаллических фаз, прежде всего тонкоигольчатого муллита, армирующего породу и повышающего ее прочностные характеристики.

Породы такого рода нашли следующее применение. Крупный щебень (>50 мм) используется в производстве бетона, мелкий щебень (>22 мм) и песок - при производстве блоков*.* Хорошо прогоревшая порода (класса 22-50 мм) совместно с известью идет на изготовление горелопородного цемента.

Клинкер, сложенный в основном тонко- и скрытокристаляическими агрегатами высокопрочных минералов (муллит, кордиерит, тридимит, гематит, иногда анортит) и стекла, представляет собой твердый, прочный, химически и термически устойчивый материал. При его дроблении могут быть получены остроугольные обломки с высокой абразивной способностью и высокой степенью сцепления с текучими материалами. Эти свойства выдвигают его в ряд материалов значительно более ценных, нежели рядовой щебень.

Самым ценным компонентом горелой массы является клинкер, прошедший высокотемпературный обжиг, остеклование и содержащий тонкоигольчатый муллит, армирующий породу. Эти породы нашли применение в *производстве бетона, блоков, горелопородного цемента* и *шлакоблоков.* Данная область утилизации является наиболее материалоемкой и не требует сложных процедур переработки (Якунин, Агроскин, 1978).

Клинкер представляет собой твердый, прочный, химически и термически устойчивый материал. При его дроблении получаются остроугольные обломки с высокой абразивной способностью и высокой степенью сцепления с текучими материалами. Эти свойства выдвигают его в ряд материалов значительно более ценных, нежели рядовой щебень. Однако содержание клинкера даже в интенсивно горевших отвалах не превышает 25 %. Поэтому нецелесообразно организовывать «перетряхивание» огромного неоднородного террикона и извлекать из него прочные фрагменты прокаленных аргиллитов лишь затем, чтобы превратить их в щебень.

Имеющийся литературный материал заставляет признать, что из всех конструкционных материалов только в производстве кирпичадо сих пор удавалось использовать рядовые горелые силикатные породы и получать при этом качественный продукт. В этом случае горелая масса играла роль добавки к сырым отвальным породам, либо вводилась как отощитель в пластичные глины. Опытные партии изделий из таких масс были получены в лаборатории строительных материалов Объединения Кузбассгипрошахта, а также на предприятиях Закавказья (Якунин, Агроскин, 1978).

С 1993 года на упомянутом заводе в Астурии (Canibano, 1995) реализуется оригинальный проект использования силикатной составляющей терриконов в качестве грунта для выращивания томатов и декоративных растений методом гидропоники*.* После соответствующей проверки рядовая масса прокаленных аргиллитов может найти применение в тепличном хозяйстве в качестве влагопоглотителя.

Б.В. Чесноков и Е.П. Щербакова (1991) обращают внимание на высокую пористость и прочность клинкера и рассматривают его как потенциальный *фильтрующий материал,* в 1.5-2 раза превосходящий кварцевый. В этом случае клинкер должен пройти строгий биохимический контроль.

Близкое сходство минерального состава, химических особенностей и механических свойств прокаленных глинистых пород с различными видами технической керамики надолго предопределило их использование прежде всего в производстве строительных материалов*.*

В СССР первое масштабное производство строительных материалов из горелых пород шахтных отвалов было организовано в 1945 году на базе колоссальных терриконов Донбасса (Якунин, Агроскин, 1978).

Наиболее обстоятельные научно-исследовательские и опытно-производственные работы в области использования природных и техногенных пород в строительной индустрии были выполнены в период 1953-1966 годов в лаборатории Новосибирского инженерно-строительного института группой специалистов под руководством Г.И. Книгиной. Обобщенные материалы были опубликованы в виде монографии «Строительные материалы из горелых пород» (Книгина, 1966), где приведены технологические схемы, различных производственных процессов, начиная от разборки терриконов и кончая производством конкретных видов продукции.

Самым простым и оптимальным способом утилизации участков «черных блоков» терриконов является их сжигание в топкахТЭЦ,оснащенных фильтрами для улавливания вредных выбросов. Это использование основано на отличительной особенности химического состава отвальной массы в пределах «черных блоков» заключать в себе высокое содержание углерода (до 15-20%), основная доля которого приходится на тонкодисперсное вещество типа газовой сажи, образующегося в ходе термической диссоциации СО2, освобождающегося при высокотемпературном разложении карбонатов. Помимо этого, куски угля, прокаленные без доступа воздуха, превращаются в шунгитоподобное вещество, органический материал унифицируется. Вследствие этих процессов материал «черных блоков» существенно обогащается различными формами углерода и фактически представляет собой нетрадиционное низкокалорийное топливо.

Но поскольку составляющие компоненты «черных блоков» содержат высокие концентрации вредных примесей, основным моментом при их утилизации должно стать селективное извлечение и безопасное уничтожение этого материала. Крайне нежелательным является использование его совместно с прочей горелой массой и особенно при засыпке дорог, как это делается сейчас. Пагубно для территории, граничащей с отвалами, и для работающего здесь населения вскрытие «черных блоков» экскаваторными забоями, поскольку свободный доступ кислорода и влаги интенсифицирует процессы синтеза токсичных газообразных соединений.

Традиционной областью использования тонких фракций горельника является строительная индустрия. Они находят широкое применение в производстве портландцемента, массивного, силикатного и ячеистого бетона, силикатного и керамического кирпича, искусственных заполнителей.

Непосредственно тонкие фракции горелых пород способны заменять до 50% цемента в тампонажных растворах.Эти материалы прошли практическую апробацию при строительстве шахт. Водонепроницаемость, коррозийная стойкость, седиментационная устойчивость у них выше, чем у тех, которые были получены на основе чисто цементных растворов. Применение горелых пород значительно снижает и стоимость продукта. (Физико-химические основы.., 1980).

Не исключено, что мелкодисперсные фракции горельников могли бы найти широкое применение в качестве известковых удобренийна полях и в лесах для понижения уровня кислотности и улучшения структуры почв.

# Заключение

Отобранные геологоразведочные пробы с террикона были объединены в три гранулометрические сопряженные зоны: крупноблоковая, среднеблоковая, мелкоблоковая.

Установлено, что средний литологический состав терриконов отражает состав угленосной толщи. Это аргиллиты (60-80%), алевролиты (10-30%), песчаники (4-10%), известняки (редко до 6%, обычно меньше), а также значительные примеси угля (6-20%).

Также установлено, что отвальная масса изученных шахтных терриконов имеет зольность в пределах 57-99%, составляя в среднем 88,5%.

Это кристаллизация из горячих газовых струй серы, хлоридов, сульфатов и даже сульфидов, процессы застывания лав с образованием базальтов, вулканического стекла (обсидиана) и других минералов и пород.

Значительно более распространенными, чем природные пирометаморфические комплексы, являются их техногенные аналоги, возникновение которых связано с процессами спонтанного возгорания углистого материала в различного рода терриконах.

# Литература

1. Касимов Н.С., Воробьев А.Е. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза, г. Москва изд. МГГУ 2002 г, 394 с.

2. Воробьев А.Е., Лоцев Г.В. Подземная разработка угольных месторождений: учебное пособие для горных специальностей ВУЗов и СПУЗов. г. Ош 2006 178 с.

3. Максимова Н.В. Продукты пирогенного преобразования углевмещающих пород из горелых терриконов и золоотвалов ТЭС Южного Урала / Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Новосибирск 2001 г.

4. Мещанинов Ф.В. Геолого-структурные и термобарогеохимические условия формирования террикоников – техногенных месторождений угольного ряда Восточного Донбасса (на примере Краснодонецкого углепромышленного района) / Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, / 2002 г.

5. Нигматулина Е.Н. Минералогия техногенных парабазальтов из горелых терриконов Челябинского угольного бассейна / Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Новосибирск 1999 г.

6. Магsсhаll Е. A. The orientation of anisotropie particles in the electrical field, Transaction of the Farady society, v. XXVI, 1930.

7. Горбачева Е.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния породных отвалов угольных шахт. - Донецк, ДонНТУ – 2012

8. Проскурня Ю.А. Диссертационная работа на соискание степени кандидата геологических наук на тему: «Минералогия породных отвалов угольных шахт Донбасса (на примере Донецко-Макеевского промышленного района). ДонГТУ, Донецк, 2000. 165 с.

9. <http://donrise.ru/handsmade/terricons/tabid/402/Default.aspx>

10. Потапов С. С., Паршина Н. В., Максимович Н. Г. Минералого-экологические последствия разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи (на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов) // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. – Миасс: Имин УрО РАН, 2007. - С.12-34.

11. Яблоков В. С. Строение угольных пластов ерунаковской свиты Кузбасса. Труды ИГН АН ССР. Вып. 136. Госгеоливдат, 1957.

12. Горбачева Е.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния породных отвалов угольных шахт. - Донецк, ДонНТУ – 2012

13. <http://www.ggd.nsu.ru/iso/ecogis/ecoproblems/ft/fp2.htm>

14. Научная библиотека диссертаций и авторефератов, Федорова С.В. Исследование физико-химических факторов самовозгорания углей и профилактика эндогенных пожаров в условиях криолитозоны :На примере Кангаласского буроугольного месторождения 2001 г.

15. Потапов С.С., Максимович Н.Г. К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. – Миасс, 2006. – С.56-67.

16. <http://www.pojarobezopasnost.ru/?Sklady_uglya>

17. Ф.А. Голынская, Журнал "Маркшейдерия и недропользование" № 5 - 2011г.

18. Потапов С. С., Паршина Н. В., Максимович Н. Г. Минералого-экологические последствия разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи (на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов) // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. – Миасс: Имин УрО РАН, 2007. - С.12-34.

19. Сребродольский Б. И. Тайны сезонных минералов. М.: Наука, 1989. 144 с.

20. <http://plate-tectonic.narod.ru/hydrootgonka13aphotoalbum.html>

21. <http://geoblog.rgo.ru/blog/305.html>

22. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 70 с.

23. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза и минерально-сырьевые комплексы Урала. Свердловск, 1988. С. 5-31.

24. Чесноков Б. В., Щербакова Е. П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.

25. Алехин В.И., Мигуля П.С., Проскурня Ю.А. Минералого-петрографические и эколого-геохимические особенности пород терриконов Донбасса (на примере Донецко-Макеевского промышленного района) // Сб. научн. тр. НГА Украины. – Днепропетровск. – 1998. – Т. 5, №3. – с. 35-39.

26. Алехин В.И., Проскурня Ю.А. Экологические аспекты геохимии породных отвалов шахт// Сб. мат. конф. ”Актуальные проблемы геологии Украины”. – Киев. – 1998. – 53 с.

27. Изучение шахтных терриконов Донецко-Макеевского района как новых видов минерального сырья / Панов Б.С., Алехин В.И., Мигуля П.С. и др. // Отчет по НИР. – Донецк: Фонды ДонГТУ. – 1993. – 70 с.

28. Зборщик М.П., Осокин В.В. Предотвращение самовозгорания горных пород. – К.: Техніка, 1990. – 176 с.

29. Зборщик М.П., Осокин В.В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – 178 с.

30. Панов Б.С. Некоторые вопросы экологической минералогии Донецкого бассейна // Минералогический журнал. – 1993. – Т. 15, №6. – с. 43-50.

31. поменял

32. Веселовский В.С., Алексеева Н.Д., Виноградова Л.П. Самовозгорание промышленных материалов. – М.: Наука, 1964. – с. 242.

33. Саранчук В.И. Окисление и самонагревание угля. – К.: Наук. Думка, 1982. – 168 с.

34. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. – М.: Углетехиздат, 1954. – 387 с.

36. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 602 с.

37. А. Б. МАКАРОВ Техногенные месторождения минерального сырья, УГГГА, Екатеринбург 2000 г.

38. И.Г. Михайлов, Т.Ф. Михайлова геологические экскурсии  по челябинской области, Челябинск 2010

39. Эффективность использования промышленных отходов в строительстве / под ред. Я А. Рекитара. - М.: Стройиздат, 1978. -172 с.

40. Глушнсв С.В. Использование отходов угольной промышленности в дорожном строительстве . С.В. Глушнев. - М.: ЦНИЭИУголь, 1983 - 218 с.

41. <http://ammonit.ru/foto/25401.htm>

42. Мигуля П.С. Забытая экологическая катастрофа // Газ. “Донецкий политехник”, 1998. - №4. – С. 5.

43. Адам Н. К. Физика и химия поверхностей. Гостехтеоретиздат, 1947.

44. Книгина Г. И. Исследование адсорбционной активности горелых пород и цемянок методом фотоэлектраколориметрии. Известия МВО СССР, сер.: «Строительство и архитектура» № 2, Новосибирск, 1962.

45. Воронов К. Передвижка горяших пород террикоников и меры борьбы с этими явлениями. Кемерово, 1959.

46. <http://n-techn.ru/index.php/program/mikro>.

47. Загорская Н.Г., Яшина З.И., Слободин В.Я., Левина Ф.М., Белевич А.М. Морские неоген-четвертичные отложения низовьев реки Енисея // Труды НИИГА. Том 144, М. «Недра». 1965. 92 с.

48. Методическое руководство по изучению и оценке техногенных минеральных объектов, представляемых на государственную экспертизу недр // Министра энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан// 2008 г.

49. <http://www.myshared.ru/slide/212140>.

50. Силин А.А., Выборов С.Г., Проскурня Ю.А. Экологические последствия структурно-вещественных преобразований отвальных пород терриконов // Сборник тезисов Международной геолого-экологической конференции 08-10 сентября 2009 года. - Донецк, ДонНТУ, 2009.

51. Осипов В.И., Соколов В.H., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. академика Е.М. Сергеева —M.: Недра, 1989. - 211 с.

52. Багринцева К.И., Дмитриевский А.Н., Бочко Р.А. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. - М.: Наука, 2003. - 264 с

53. Puura E. Техногенные минералы в породных отвалах эстонский сланцевых шахт и их использование для прогнозирования воздействия на окружающую среду отходов // Источник: <http://www.eap.ee/public/oilshale/Puura.htm>.

54. Усов М.А. Геология каустобиолитов (уголь, нефть, графит и алмаз). Томск. 1920.

60. Стадников Л.Г. Самовозгорающие угли и породы, их геологическая характеристика и методы опознавания. – М.: Углетехиздат, 1956. – 478 с.

70. Дубровский Е.М. Организация породного хозяйства угольных шахт. – М.: Недра, 1979. – 112 с.

Bauer, R, Trent, B, DuMontelle, P (1993). Mine subsidence in Illinois: Facts for homeowners. *Environmental geology*, *144.*

Deng C., Wang J., Wang X., Deng H. (2010). Spontaneous coal combustion producing carbon dioxide and water. *Mining Science and Technology, 20,* 82-87.

Light D., Simon D., Nadon G.C., Stoertz M.W. (2001). Coal mine subsidence and stream capture using GIS, *Environmental, Engineering and Hydrogeology*, Illinois State University, conference-paper.

Medek J., Weishauptová Z. (2003). Mechano-activation as Initiation of Self-ignition of Coal. *Energy Fuels, 17(1),* 159-163.

Satmari A. (2008). Geo-systemic analyze of Anina town urban area. Eurobit Eds., 225 p.

Zhang X., Xi G. (2008). New experimental technique to determine coal self-ignition duration. *Energy Power Eng. China, 2(4),* 479-483.

Грамолин А. Минералогия техногенеза // Нау[ка и жизнь](http://www.nkj.ru/) №5, 1999.

Силин А.А., Выборов С.Г., Проскурня Ю.А. Экологические последствия структурно-вещественных преобразований отвальных пород терриконов // <http://ref.rushkolnik.ru/v36219>.

1. Аблесимов Н.Е. Физико-химические процессы фазообразования в неравновесных системах разного масштабного уровня // Принципы и процессы создания неорганических материалов: Сб. науч. тр. Хабаровск: Дальнаука, 1998. — С. 24-25.

4. Анализ минерального сырья / Под ред. Ю.Н.Книпович, Ю.В.Морачевского. 3-е изд., стереотипное, исправленное. — Ленинград: Гос. Научно-техническое изд-во химической литературы, 1959. — С. 127-128.

5. Афонин В.П., Гуничева Т.Н., Пискунова Л.Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. — Новосибирск: Наука, 1984. 227 с.

6. Белянкин Д.С., Иванов Б.В., Лапин В.В. Петрография технического камня. М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 583 с.

7. Болдырев В.В. Реакционная способность твердых веществ. — Новосибирск: Изд.СО РАН, 1997.-487 с.

8. Бондарев Л.Г. Ландшафты, металлы, человек. М.: Мысль, 1976. — 72 с.

9. Будников П.П., Гистлинг А.М. Реакции в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат, 1971. - 546 с.

10. Веселовский B.C. Физические основы самовозгорания углей и руд. М.: Наука, 1972.- 178 с.

11. Вильяме X., Тернер Ф., Гилберт Ч. Петрография. Т. 2. Введение в изучение горных пород в шлифах. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. - 301 с.

13. Гапеев A.A. Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты). Учеб. для геол.-развед. вузов. М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1949. - 335 с.

14. Гегузин Я.Е. Физика спекания. - М.: Наука, 1967. 167 с.

15. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. В 12 т. Т.4: Угольные бассейны и месторождения Урала / Под ред. И.И.Аммосова и др. М.: Недра, 1967. -476 с.

16. Годовиков A.A. Минералогия. М.: Недра, 1975. - 519 с.

24. Калугин В.М., Шелепаев P.A. Частичное плавление аргиллитов и образование гранитных расплавов // Геология и геодинамика Евразии: Материалы XVIII Всероссийской молодежной конференции (19-23 апреля 1999 г.). Иркутск, 1999. С. 17-18.

25. Калугин И.А., Третьяков Г.А., Бобров В.А. Железорудные базальты в горелых породах Восточного Казахстана. Новосибирск: Наука, 1991. - 80 с.

26. Кизилыдтейн Л.Я. Геохимия тяжелых металлов в углях: экологический аспект // Геохимия 1998. - № 8. — С. 848-853.

28. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. - 207 с.

30. Козлова О.Г. Рост и морфология кристаллов. М.: Издательство МГУ. - 1980. 357 с.

31. Кольцов К.С., Попов Б.Г. Самовозгорание твердых веществ и материалов и их профилактика. М.: Химическая промышленность, 1978. - 184 с.

32. Коробецкий И.А., Шпирт М.Я. Генезис и свойства минеральных компонентов углей. Новосибирск: Наука, 1988. - 227 с.

33. Крашенинников Г.Ф. Условия накопления угленосных формаций СССР. М.: Изд-во МГУ, 1957. - 294 с.

35. Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Программный комплекс РМА89 для количественного рентгеноспектрального микроанализа на микрозонде Камебакс Микро // Журн. аналит. химии. 1991. - 46, № 1. - С. 67-75.

37. Лотова Э.В., Нигматулина E.H. Генетические особенности кордиеритов из горелых пород//Геология и геофизика. 1989. -№ 5. - С. 70-77.

44. Перепелицын В.А. Основы технической минералогии и петрографии. М.: Недра, 1987. - 255 с.

45. Петролого-минералогические особенности пород и технических камней / АН СССР, Институт геологии руд. Месторождений, минералогии, петрографии и геохимии; Отв. ред. В.П. Петров. -. М: Наука, 1979. 271 с.

48. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. Пер. с англ. М.: Мир, 1979. - 424 с.

49. Ринардсон Х.М. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. М.: Мир, 1965. - 599 с.

50. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов / Под ред. В.А.Франк-Каменецкого. Л.: Недра, 1975. - 399 с.

52. Саранчук С.И., Баев Х.А. Теоретические основы самовозгорания. М.: Недра, 1976.- 112 с.

53. Симонова В.И. Атомно-адсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. Новосибирск: Наука, 1986. - 216 с.

54. Соболев B.C. Введение в минералогию силикатов. Львов: Изд-во Львовского государственного университета, 1949. - 330 с.

57. Сокол Э.В., Ларина И.А., Максимова Н.В. Фазовые преобразования пелитов в процессах пирогенеза (на примере горельников Челябинского угольного бассейна) // Минералогия техногенеза 2001: Сб. науч. тр. - Миасс: Изд-во ИМин. УрО РАН, 2001. - С. 193-212.

59. Справочник по геохимии / Г.В.Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г Прохоров. М.: Недра, 1990. - 479 с.

60. Сребродольский Б.И. Тайны сезонных минералов. М.: Наука, 1989. - 144 с.

63. Титов Н.Г. Физико-химическая характеристика углей Челябинского месторождения // Челябинские угли. Материалы первой конференции по углехимическим вопросам Челябинского бассейна / Под общей ред. А.Е. Ферсмана. М., Л.: АН СССР, 1935. т1. C. 45-52.

66. Ферсман А.Е., Караваев Н.М. Итоги и выводы // Челябинские угли. Материалы первой конференции по углехимическим вопросам Челябинского бассейна / Под общей ред. А.Е .Ферсмана. М., Л.: АН СССР, 1935. - С. 133-134.

72. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник / Сост. Ю.Н. Жаров и др., Ред. В.Ф. Череповский. М.: Недра, 1996. - 238 с.

73. Чесноков Б.В. Высокотемпературная хлорсиликатная минерализация в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна // Докл. РАН. 1995. - 343, № 1. — С. 94-95.

74. Чесноков Б.В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение десятое обзор результатов за 1982-1996 гг.) // Уральский минералогический сборник № 7. -Миасс: Имин. УрО РАН, 1997. - С. 5-32.

75. Чесноков Б.В. Опыт минералогии техногенеза 15 лет на горелых отвалах угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик Южного Урала // Уральск, минерал, сборн. № 9. - Миасс, 1999.-С. 138-167.

76. Чесноков Б.В. Хлор и фтор в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна // Уральский геол. журнал. 2000. - № 3. - С. 153-163.

77. Чесноков Б.В. Фундаментальные характеристики минерализации горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза 2001: Сб. науч. тр. - Миасс: Изд-во ИМин. УрО РАН, 2001. - С. 9-15.

78. Чесноков Б.В., Щербакова Е.П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. - 152 с.

79. Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Нигматулина E.H., Лепезин Г.Г., Калугин В.М., Френкель А.Е. Минералогия и петрография техногенных парабазальтов Челябинского буроугольного бассейна // Геология и геофизика. 1999. - № 6. - С. 896-917.

81. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986. - 255 с.

82. Щербакова Е.П. Низкотемпературные минерализации горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (Южный Урал): Автореф. дис. . канд. геол.- мин. наук. - Свердловск, 1989. - 16 с.

85. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1968.-214 с.

86. Якунин В.П., Агроскин А.А. Использование отходов обогащения углей. М.: Недра, 1978. - 167 с.

Панов Б.С., Проскурня Ю.А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // <http://terrikon.donbass.name/ter_s/290-model-samovozgoraniya-porodnyx-otvalov-ugolnyx-shaxt-donbassa.html>.

Горбачева Е.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния породных отвалов угольных шахт // <http://masters.donntu.edu.ua/2012/feht/gorbachova/diss/index.htm>.

Силин А.А. Факторы и процессы негативного влияния породных отвалов г. Донецка на окружающую среду при их формировании, захоронении и последующей разработке // <http://masters.donntu.edu.ua/2009/ggeo/silin/diss/index.htm>.

Акулова В.В., Худоногова Е.В. Терриконы как объект исследования современных эпигенетических изменений техногенных отложений // Геология, поиски и разведка ископаемых и методы геологических исследований : материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Геонауки", посвящ. 80-летию фак. геологии, геоинформатики и геоэкологии. – Иркутск, 2010. – Вып. 10. – C. 150-152.