

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю. С. Полеховский, С. В. Петров

ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫЕ
ТВЕРДЫЕ
ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Учебное пособие



ИЗДАТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УДК 553
ББК 26.34
П49

Рецензент д-р геол.-минерал. наук, профессор В. А. Козлов (С.-Петербургский горный ун-т)

*Рекомендовано к публикации
Учебно-методической комиссией
Института Наук о Земле
Санкт-Петербургского государственного университета*

Полеховский Ю. С., Петров С. В.

П49 Общераспространенные твердые полезные ископаемые: учебное пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2018. — 222 с. ISBN 978-5-288-05787-8

В учебном пособии дается краткая характеристика основных видов полезных ископаемых, которые относятся к разряду общераспространенных. Для конкретных видов минерального сырья рассматриваются генетические и промышленные классификации месторождений, приводятся сведения об их ресурсах и запасах сырья, уровне добычи. Представлены подробный перечень областей применения минерального сырья, данные о требованиях к нему промышленности и строительства. Затрагиваются основные вопросы добычи, переработки и геолого-экономической оценки сырья. Особое внимание уделяется российской части комплекса.

Издание предназначено для студентов бакалавриата по направлению «Геология» в качестве пособия к курсам «Экономика минеральных ресурсов» и «Геология месторождений полезных ископаемых», а также для магистрантов, обучающихся по направлению «Геология», — к курсам «Экономическая геология», «Нетрадиционные и общераспространенные полезные ископаемые», «Геолого-экономическая оценка месторождений минерального сырья» и «Технологическая минералогия».

УДК 553
ББК 26.34

ISBN 978-5-288-05787-8

© Санкт-Петербургский
государственный
университет, 2018
© Ю. С. Полеховский,
С. В. Петров, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Песчано-гравийное сырье.....	10
Глава 2. Цементное сырье.....	19
Карбонатные породы.....	27
Известняки.....	30
Лёссовые породы.....	37
Глава 3. Глины и глинистые породы	50
Глины	54
Суглинки.....	75
Глава 4. Кварцевый песок.....	84
Глава 5. Облицовочные камни	103
Глава 6. Строительные камни и заполнители бетона.....	114
Глава 7. Минеральные краски	129
Глава 8. Торф.....	148
Глава 9. Сапропели.....	173
Глава 10. Диатомиты, трепелы, опоки	186
Глава 11. Перлиты.....	196
Глава 12. Шунгит.....	210
Заключение.....	219
Библиографический список	221

ВВЕДЕНИЕ

В последние двадцать лет в мире наблюдается устойчивый ускоренный рост мировой экономики, главным двигателем которого является ряд развивающихся стран Юго-Восточной Азии, Южной Америки и Индия. В этих странах отмечается колоссальный скачок современного промышленного и гражданского строительства, что привело к использованию огромных масс разнообразных горных пород в качестве строительных материалов или исходного сырья для их производства. По уровню использования нерудного минерального сырья данные страны вплотную приблизились к промышленно развитым странам (США, европейские государства, Япония).

Некоторые из полезных ископаемых, к которым в большей степени относятся разнообразные горные породы, после простейшей механической обработки (дезинтеграции, грохочения, промывки, классификации и др.) употребляются в качестве балластного, дорожного, бутового, стенового, облицовочного и иного строительного материала. Они используются в качестве крупных и мелких наполнителей бетонных изделий, применяются для изготовления вяжущих материалов и минерального технического сырья. Наконец, они могут использоваться как топливно-энергетическое сырье, употребляться в различных отраслях сельского хозяйства и пр. Такие полезные ископаемые доступны для добычи открытыми горными работами. Важной отличительной чертой данного типа сырья являются колоссальные объемы использования, измеряемые десятками и сотнями миллионов тонн в год, но, с другой стороны, это самые дешевые виды полезных ископаемых как по отпускным ценам, так и по себестоимости.

Другая характерная особенность указанных видов минерального сырья — практически повсеместная географическая распространенность. Они присутствуют практически везде, в любых географических и геологических условиях, поэтому такие виды сырья называются *общераспространенными полезными ископаемыми* (ОРПИ).

Определим основные свойства месторождений ОРПИ:

- географическая близость к потребителям, обеспечивающая низкие транспортные издержки;
- любые размеры и объемы перерабатываемой горной массы, необходимые для конкретного потребителя;
- относительная простота геологического строения и равномерность распределения полезного компонента в пределах промышленного объекта;
- отсутствие или крайне незначительное количество вскрышных пород, открытый карьерный способ отработки объектов;
- простота и дешевизна механических способов обработки сырья для достижения требуемых потребительских параметров;
- относительно низкий экологический ущерб от разработки объектов, возможность рекультивации или использования отработанных объектов в рекреационных, промышленных или сельскохозяйственных целях;
- низкая себестоимость добычи и переработки;
- низкие оптовые цены.

Указанные особенности общераспространенных полезных ископаемых свидетельствуют о весьма высокой их роли в развитии промышленной индустрии и строительства, без которых невозможно развитие современной цивилизации. При этом каждое сырье в отдельности обладает целым рядом специфических характеристик, которые для большей их части рассмотрены в этом учебном пособии.

В международной практике общераспространенными полезными ископаемыми признаются 24 вида полезных ископаемых:

- 1) алевролиты, аргиллиты;
- 2) ангидрит;
- 3) битумы и битуминозные породы;
- 4) брекчии, конгломераты;
- 5) магматические и метаморфические породы;
- 6) галька, гравий, валуны;

- 7) гипс;
- 8) глины (кроме бентонитовых, палыгорскитовых, огнеупорных, кислотоупорных, каолина);
- 9) диатомит, трепел, опока;
- 10) доломиты;
- 11) известковый туф, гажа;
- 12) известняки;
- 13) кварцит (кроме динасового, флюсового, железистого, абразивного);
- 14) мел;
- 15) мергель;
- 16) облицовочные камни (кроме высокодекоративных);
- 17) пески (кроме формовочного, стекольного, абразивного, содержащего рудные минералы в промышленных концентрациях);
- 18) песчаники (кроме динасовых, флюсовых);
- 19) песчано-гравийные, гравийно-песчаные, валунно-гравийно-песчаные, валунно-глыбовые породы;
- 20) ракушка;
- 21) сапропель;
- 22) сланцы (кроме горючих);
- 23) суглинки;
- 24) торф.

В России перечень общераспространенных полезных ископаемых утверждается правительством, что принято на XX пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств — участников СНГ (Постановление № 20-8 от 7 декабря 2002 г.). В российском законе «О недрах» (от 21 февраля 1992 г.) и в последней его редакции от 27 декабря 2009 года относительно ОРПИ указывается, что они находятся в полномочии органов государственной власти субъектов Российской Федерации (ст. 5).

В сфере регулирования отношений недропользования власти субъектов Российской Федерации имеют право:

- 1) формировать (совместно с государственными органами) региональный перечень полезных ископаемых, относящихся к ОРПИ;
- 2) устанавливать порядок пользования недрами в целях разработки месторождений ОРПИ;

- 3) предоставлять разрешения на разработку месторождений ОРПИ;
- 4) осуществлять контроль за использованием и охраной недр при добыче ОРПИ.

Схематически предоставление права пользования недрами в одном из субъектов Федерации представлено на рисунке 1.



Рис. 1. Порядок предоставления права пользования недрами по общераспространенным полезным ископаемым в Пермском крае

В качестве примера рассмотрим перечень ОРПИ в Республике Карелия, который утвержден распоряжением Министерства природных ресурсов РФ и Правительства Республики № 22-р/143р-п от 30 апреля 2009 года:

- 1) алевролиты, аргиллиты (кроме используемых в цементной промышленности, для производства минеральной ваты и волокон);
- 2) магматические и метаморфические породы (кроме используемых для производства огнеупорных, кислотоупорных материалов, каменного литья, минеральной ваты и волокон, в цементной промышленности);
- 3) галька, гравий, валуны;
- 4) глины (кроме бентонитовых, палыгорскитовых, огнеупорных, кислотоупорных, используемых для фарфорово-фаянсовой, металлургической, лакокрасочной и цементной промышленности, каолина);
- 5) диатомит, трепел, опока (кроме используемых в цементной и стекольной промышленности);
- 6) доломиты (кроме используемых в металлургической, стекольной и химической промышленности);
- 7) известняки (кроме используемых в цементной, металлургической, химической, стекольной, целлюлозно-бумажной и сахарной промышленности, для производства глинозема, минеральной подкормки животных и птицы);
- 8) кварцит (кроме динасового, флюсового, железистого, абразивного и используемого для производства карбида кремния, кристаллического кремния и ферросплавов);
- 9) облицовочные камни (кроме высокодекоративных и характеризующихся преимущественным выходом блоков 1-й и 2-й групп);
- 10) пески (кроме формовочного, стекольного, абразивного, используемого для фарфорово-фаянсовой, огнеупорной и цементной промышленности, содержащего рудные минералы в промышленных концентрациях);
- 11) песчаники (кроме динасовых, флюсовых, используемых для стекольной промышленности, производства карбида кремния, кристаллического кремния и ферросплавов);
- 12) песчано-гравийные, гравийно-песчаные, валунно-гравийно-песчаные, валунно-глыбовые породы;
- 13) сапропель (кроме используемого в лечебных целях);
- 14) сланцы (кроме горючих);
- 15) суглинки (кроме используемых в цементной промышленности);
- 16) торф (кроме используемого в лечебных целях).

В Пермском крае территориальным балансом ОРПИ учтены запасы 335 месторождений строительных материалов (распоряжение природных ресурсов РФ и Правительства края № 1-р/71-р от 7 декабря 2009 г.), в которых сосредоточено 1455 млн м³ сырья. Распределение сырья по видам следующее: гравийно-песчаная смесь (22%), строительный песок (17%), глина (12% — кирпичная и керамзит), строительный камень (39% — строительный щебень, бутовый камень, габбро-диабаз), строительный гипс и ангидрит (6%), облицовочный и пильный камень (2%), карбонатное сырье для обжига на известь (2%). Кроме строительного сырья в крае учтены 41 месторождение агроудобрений и 624 месторождения торфа.

При добыче общераспространенных полезных ископаемых полная сумма налога на добычу полезного ископаемого (НДПИ) подлежит уплате в доход бюджетов субъектов Российской Федерации. При этом общераспространенные полезные ископаемые, не числящиеся на государственном балансе, добытые индивидуальным предпринимателем и используемые им непосредственно для личного потребления (например, песок, добытый на собственном земельном участке и используемый при сооружении собственного дома), не признаются объектами налогообложения НДПИ.

Ставки НДПИ общераспространенных полезных ископаемых различаются в зависимости от вида сырья (в долях от стоимости добытого полезного ископаемого):

- торф — 4%;
- неметаллическое сырье, используемое в основном в строительной индустрии, — 5,5%;
- горнорудное неметаллическое сырье — 6%.

Глава 1

ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения. Песчано-гравийное сырье представляет собой рыхлые природные скопления более или менее окатанных обломков горных пород и минералов различного размера. Они образовались в результате разрушения различных горных пород природными процессами выветривания, переноса водными потоками, ледниками и неоднократного переотложения. В горном деле и промышленности строительных материалов фракции размером до 5 мм относят к пескам, 5–70 мм — к гравиям, крупнее 70 мм — к валунам. К песчано-гравийному сырью относят смеси (галечники, песчано-гравийные смеси — ПГС), содержащие не менее 10 % гравийных фракций и не менее 5 % песчаных (согласно ГОСТу 23735–79). К пескам относят смеси с содержанием гравийных фракций до 10 % (согласно ГОСТу 8736–93).

Песчано-гравийное сырье большей частью подвергают расसेву на стандартные фракции: рядовой гравий, фракционированный гравий и песок-отсев. Валуну и крупный гравий перерабатывают дроблением на щебень более мелких фракций. Наиболее высококачественные продукты получают на предприятиях после мойки стандартных фракций гравия и песка. Мытый гравий и песок — наиболее дорогие и ценные продукты, получаемые из песчано-гравийного сырья.

Месторождения песчано-гравийного сырья имеют широкое, хотя и не повсеместное распространение. В России их учтено более 1200 с запасами по сумме промышленных категорий почти 10 млрд м³. Разрабатывают около 600 месторождений с годовой добычей 130–190 млн м³ (т.е. около 200–250 млн т).

В северном регионе Европейской части России запасы сырья составляют 32 % от общероссийских, добыча — 36 %. На Северо-

Кавказский регион приходится около 15 % запасов и добычи сырья. В Уральском регионе сосредоточено 17 % запасов, добыча составляет 32 %. Всего в Европейской части России добывают более 80 % сырья (около 60 % запасов). В других странах СНГ запасы сырья составляют 72 % от общероссийских, добыча — около 60 %. Наибольшие объемы добычи (более половины) приходятся на Беларусь, Казахстан и Узбекистан.

В США ежегодно добывается около 900 млн т песка и гравия (*construction sand and gravel*) на сумму 7,2 млрд долларов, в стране работают 4100 компаний на 6300 месторождениях. Примерно половина месторождений относится к разряду малых объектов, их средняя производительность составляет всего около 10 тыс. т в год.

Области применения. Песчано-гравийное сырье в основной массе применяют в строительном производстве преимущественно после переработки (фракционирование, дробление). Природную ПГС используют в относительно небольших объемах (менее 10 %) для различных отсыпок, нивелировок, дамб, где не предъявляют строгих требований к качеству материала.

Гравий фракционированный выпускают в виде основных фракций: 5 (3) — 10; более 10 — 20; более 20 — 40; более 40 — 80 (70); 5 (3) — 20 мм.

Используют эти материалы преимущественно в качестве крупного заполнителя в бетонах и асфальтобетонах. В них вместе с мелким наполнителем — песком гравий составляет 70–80 % объема бетона.

Также используется и щебень, полученный дроблением крупного гравия, гальки и валунов. Недробленные валуны иногда находят применение в качестве бутового камня. Обогащенную ПГС или гравий применяют в качестве балластных дорожных отсыпок, балластировки железнодорожных путей, фильтрационных экранов и т. п.

В США около 45 % добытого строительного песка и гравия используется в качестве наполнителей бетонов; 25 % — для строительства дорожных оснований; 13 % — в составе асфальтобетона и других битумных смесей; 12 % — в качестве заполнителя в строительстве; 1 % — для производства строительных блоков, кирпичей, гипсовых и торкрет-песков, для посыпок дорог от снега и льда; оставшиеся 2 % — для фильтрации воды, отсыпок полей для гольфа, железнодорожного балласта, производства кровельных гранул и различных других применений.

Промышленные типы месторождений. Образование залежей песчано-гравийного сырья связано с деятельностью ледников и водных потоков. В процессе таяния ледника образовались различные приледниковые накопления плохо сортированного материала: камы — беспорядочно разбросанные конусовидные купола; озы — узкие, извилистые холмы, местами переходящие в купола; зандры — обширные конусы выноса (табл. 1).

Большинство месторождений песчано-гравийного сырья связано преимущественно с четвертичными, реже с неогеновыми, палеогеновыми и, как исключение, с более древними экзогенными образованиями.

Подразделяются месторождения по размерам запасов (млн м³):

очень крупные.....	более 30;
крупные.....	30–15;
средние.....	15–10;
мелкие.....	10–2;
очень мелкие.....	менее 2.

Природные типы песчано-гравийного сырья. Полезные технологические свойства песчано-гравийного сырья определяются размером, формой обломков, состоянием их поверхности и минералого-петрографическим составом обломков (песчинок).

В зависимости от соотношения размерных фракций различают разновидности пород (табл. 2).

По петрографическому составу в формировании сырья принимают участие несколько групп пород: стойкие, крепкие изверженные и метаморфические породы (граниты, диориты, габбро, диабазы, кварциты и др.); химически стойкие, но некрепкие (песчаники, глины, сланцы и др.); химически нестойкие, но крепкие (доломиты, известняки, кремнистые породы, кремни); слабые, выветрелые. Основной промышленный интерес представляет сырье, в котором преобладают породы первой группы.

Плотность песчано-гравийных материалов (кг/м³) составляет:

истинная.....	2620–2720;
средняя в массиве.....	2000–2600;
насыпная.....	1600–1700.

Таблица 1. Промышленные типы месторождений песчано-гравийного сырья [13]

Тип	Подтип	Форма залежей	Размеры залежей			Содержание гравия* (%)	Максимальные запасы (млн м ³)
			Длина (км)	Ширина (м)	Мощность (м)		
Водно-ледниковый	Камы	Беспорядочно расположенные группы тел купольной формы	До 1	До 800	5–25	10–40	30
			До 10–20	До 200	3–50		
	Озы и озовые гряды	Холмы и гряды	3–6	Сотни	2–15	10–50	30
			1–3	До сотен	5–15		
	Зандры	Плащеобразные пологие конусы выноса	1–3	200–500	1–16	20–40 (0–20)	40
			До 1	До 800	5–25		
	Дельты	Веерообразные плащи, ленты и линзы	До 10–20	До 200	3–50	20–50 (0–10)	30
			До 0,5–0,8	Сотни	2–30		
	Террасы	Линзовидные ленты, четки	До 10	Сотни	2–30	20–60 (0–20)	400
			До 10	Сотни	2–30		
Морены, друмлины	Холмистые валы и гряды	До 10–20	До 200	3–50	20–40 (60–80)	5	
		До 10–20	До 200	3–50			
Краевые гряды	Ленточно-линзовидные, гнездовые	До 10–20	До 200	3–50	20–50 (0–10)	30	
		До 10–20	До 200	3–50			
Валуны	Линзовидные, гнездовые	До 0,5–0,8	Сотни	2–30	20–40 (60–80)	5	
		До 10	Сотни	2–30			
Пойменный	Лентообразные, плащеобразные, линзовидные	До 10	Сотни	2–30	20–60 (0–20)	400	
		До 10	Сотни	2–30			

Тип	Подтип	Форма залежей	Размеры залежей			Содержание гравия* (%)	Максимальные запасы (млн м ³)
			Длина (км)	Ширина (м)	Мощность (м)		
Водно-ледниковый	Русловой (перекагный, плесовый, остроновый, осередковый)	Линзовидные, лентообразные, гнездовые. Сезонное перереформирование	До 15	Сотни	1–20	15–80	60
	Русловой (побочневый, косовой, пляжевый)	Четковидные, струевые, линзовидные. Сезонное перереформирование	До 10	Сотни	4–12	15–50 (0–20)	30
	Русловой (проток, староречий)	Лентообразные, шнуровые, линзы. Периодически перереформируются	1–30	Сотни	1,5–10	1,5–40 (0–20)	20
	Погребенный долины, террасовой	Плащеобразные, лентообразные, линзовидные	До 10	Сотни	До 30	13–78 (0–10)	27
Пролувиальный	Конусов выноса, предторных шлейфов	Веерообразные, плащеобразные. Возобновляются	До 15	Сотни	10–100	20–80 (12–40)	200 и более
Морской, озерный	Пляжей (береговых и подводных), валов, террас	Ленто- и линзовые. Гнездовые. Запасы динамичны	5–10	Десятки	1–15	2–80 (0–20)	200

* В скобках — содержание валунов.

Таблица 2. Размерные фракции песчано-гравийного сырья (%)

Порода	Песок	Гравий	Валуны
Песчаная	90–100	До 10	—
Гравийно-песчаная	10–90	10–90	До 5
Валунно-гравийно-песчаная	10–85	10–85	5–80

Разработка месторождений. Разработку месторождений песчано-гравийного сырья ведут открытым способом. В зависимости от горно-технических условий применяют гидравлический (гидромеханизированный), бульдозерно-скреперный и экскаваторный способы горных работ.

На подводных месторождениях применяют только гидродобычу с использованием плавучих земснарядов гидравлического и механического действия. Земснаряды обычно имеют производительность по породе от 100–210 до 2500 м³/ч при глубине разработки до 5–30 м. Минимальная мощность разрабатываемого пласта составляет 2,5–6,5 м в зависимости от производительности.

Добытый грунт грузят на баржи или по плавучему трубопроводу подают непосредственно на берег. Использование этих добычных средств возможно и при разработке наземных пойменных месторождений при высоком уровне грунтовых вод. Если вскрыша не обводнена, ее снимают бульдозерами или экскаваторами. Земснаряд проводят по прорабатываемому им же каналу от ближайшего русла реки. Для работы землесосов обеспечивают приток воды не менее 0,5 м³ на 1 м³ добытой породы. Землесосным снарядам доступны породы с содержанием валунов не более 4%. При большем их содержании применяют черпаковые снаряды.

Гидравлический способ добычи с помощью гидромониторов применяют редко — лишь при наличии естественного уклона залежи, обеспечивающего самотечную транспортировку разжиженной породы (пульпы).

Сухие и малообводненные месторождения разрабатывают экскаваторами различной мощности и класса, бульдозерами и скреперами. На крупных месторождениях с небольшим содержанием валунов используют роторные экскаваторы в комплексе с перегружателями и ленточными транспортерами. Глубина разработки достигает 30 м.

Во всех случаях, когда есть возможность выбора способа разработки, выполняют технико-экономический расчет для определения наиболее экономичного способа.

Промышленная переработка сырья. Переработку добытых песчано-гравийных материалов производят промывкой, грохочением и гидравлической классификацией. Промывку обычно совмещают с грохочением. Первоначально разделяют песок, гравий и валуны на ситах 5 (3) и 70 мм. Гравийную часть классифицируют на фракции в соответствии с требованиями потребителей.

Валуны, а часто и крупный гравий, подвергают дроблению и дополнительному рассеву на требуемые фракции с промывкой. Для такого дробленого материала характерно лучшее сцепление (адгезия) с вяжущим веществом, что обеспечивает более высокую прочность изделий.

Песок получают с применением классификаторов. Классификацию производят по крупности 0,05–0,1 мм. При гидромеханизированной добыче получают песок с более мелким гранулометрическим составом. Остальные фракции гравия и щебня по размерам аналогичны фракциям, получаемым при сухой добыче песчано-гравийного сырья.

В карьерах малых мощностей широкое распространение получили передвижные дробильно-сортировочные установки. Эти установки по производительности подразделяют на малые (12 т/ч), средние (40 т/ч) и большие (100–200 т/ч). Они представляют собой комплект технологических узлов дробильно-сортировочного и транспортного оборудования, монтируемых на тележках с пневмоприводом.

Показателями качественной оценки гравия и щебня из гравия для строительных работ являются: прочность, истираемость, морозостойкость, содержание примесей (пирит, галит, сильвин, апатит, фосфорит и др.) и содержание пылеватых и глинистых частиц.

Песок-отсев после отсева, дробления гравия и валунов оценивают по истинной плотности, зерновому составу, содержанию нормируемых остатков на ситах 5 и 0,16 мм, а также, как щебень и гравий, по содержанию вредных примесей.

Влияние добычи и переработки сырья на окружающую среду. Песчано-гравийное сырье оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду преимущественно в сухом состоянии в виде

пыли из природных мелких частиц и образующихся мелких фракций при дроблении. Основным составляющим загрязнения воздушной среды является кремнезем. Его предельно допустимые концентрации приведены в таблице 3.

Таблица 3. Предельно допустимая концентрация кремнезема в воздушной среде (мг/м³)

Массовая доля SiO₂ в сырье (%)	Разовая	Среднесуточная
Свыше 70	0,15	0,05
20–70	0,3	0,1
Ниже 20	0,5	0,15

Экологическую оценку разведваемой территории начинают с изучения всех природных условий среды:

- уровня радиации;
- качества и динамики подземных и поверхностных вод;
- климатических условий — температуры, осадков, розы ветров, изменения ее по временам года.

Во избежание нанесения вреда сельскохозяйственным угодьям буровые работы на них проводят в зимнее время. Горные выработки (канавы, шурфы) ликвидируют с восстановлением почвенного слоя. В результате разведочных работ получают данные, позволяющие определить характер и степень воздействия на окружающую среду разведки и разработки месторождения, оценить стоимость природоохранных и рекультивационных мероприятий. В связи с этим вскрышные и вмещающие породы опробуют не только в качестве попутных полезных ископаемых, но и для использования их при осуществлении рекультивационных природоохранных мероприятий.

Разработка подводных аллювиальных месторождений во избежание порчи нерестилищ требует согласования с рыбоохраной. Подводную добычу обычно сопровождает временное повышение мутности воды, иногда обрушение берегов.

Особенно уязвимыми являются прибрежно-морские залежи песчано-гравийного сырья, которые защищают берега от разрушения волнами, поэтому изъятие значительных количеств песчано-гравийного материала из прибрежной полосы всегда ведет к усилению абразии берегов, иногда к разрушению береговых сооружений.

К аналогичным результатам приводит и изъятие песчано-гравийного материала из русел впадающих в море рек, поскольку они постоянно пополняют естественную убыль этих материалов из береговой полосы.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите области применения песчано-гравийного сырья.
2. Какие существуют разновидности песчано-гравийного сырья?
3. Перечислите промышленные типы месторождений песчано-гравийного сырья.

Глава 2

ЦЕМЕНТНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения. Цемент — это общее название порошкообразных вяжущих веществ, которые при смешивании с водой образуют пластичную массу, приобретающую затем камневидное состояние. Если в эту пластичную массу добавляются песок, мелкоизмельченный шлак и т. п., то получается строительный раствор; если же заполнителями являются гравий, щебень, галька и другие достаточно крупные частицы, то после затвердевания такой массы образуется бетон.

Под цементным сырьем понимаются горные породы и отходы промышленности, в результате технологической переработки которых получают вяжущий материал — цемент, являющийся одним из основных материалов для строительного производства.

В зависимости от того, в каких условиях вяжущие вещества способны затвердевать, они разделяются на две большие группы: воздушные и гидравлические. Воздушные вяжущие вещества после затворения их водой (реагентом) способны твердеть и набирать прочность только на воздухе, при увлажнении они теряют свою прочность. К их числу относятся воздушная известь, гипсовые и магниевые вяжущие, кислотоупорный цемент. Гидравлические вяжущие вещества обладают способностью твердеть как на воздухе, так и в водной среде, но максимальной прочности они достигают только в условиях постоянного увлажнения.

Среди множества различных типов, сортов и марок цементов, исчисляемых тысячами и различающихся своими свойствами, важнейшим водным (т. е. затвердевающим с водой) вяжущим материалом являются портландцемент, его разновидности, глиноземистый цемент, а также гидравлическая известь и романцемент.

Для производства 1 т цементного клинкера (полупродукт, получаемый при обжиге тонкоизмельченной смеси известковых и глинистых пород) расходуется 1,7–2,1 т основного минерального сырья средней влажности, причем 76–82 % составляет карбонатный компонент, 18–25 % — глинистый. Все другие виды сырьевых материалов (железистые добавки, флюорит, фосфогипс, кремнефтористый натрий) используются в значительно меньших количествах.

Из природных образований в качестве добавок при помолу цемента широко применяются осадочные и вулканические горные породы, а также искусственные гидравлические добавки (доменные гранулированные шлаки, золы уноса сланцев и углей при сжигании в топках электростанций). В качестве карбонатных пород используются известняк, мел, мергель; из глинистых — глины, глинистые сланцы, аргиллиты. В качестве добавок применяют породы осадочного (диатомит, трепелы, опоки) и вулканического (пеплы, туфы, пемзы) происхождения.

Мировое производство цемента как абсолютно необходимого вяжущего строительного материала постоянно возрастает, составляя в настоящее время около 4,2 млрд т, а ежегодный прирост потребности в нем оценивается в 30 млн т. На долю европейских государств приходится около 22 % от мирового производства, а крупнейшим его производителем является Китай (2,5 млрд т).

Разведанные запасы цементного сырья на территории стран СНГ сосредоточены в основном в районах регионального распространения карбонатных и глинистых пород. Всего разведано более 300 месторождений, суммарные запасы которых по промышленным категориям составляют около 18 млрд т карбонатных, более 4 млрд т глинистых и около 1 млрд т гидравлических песчаных добавок.

Основная масса разведанных запасов цементного сырья среди стран СНГ сосредоточена в России (около 57 % карбонатных и 55 % глинистых пород), на Украине (13 % карбонатных и 14 % глинистых пород) и в Казахстане (13 % карбонатных и 12 % глинистых пород). Добыча цементного сырья в странах СНГ производится на более чем 160 месторождениях и составляет более 170 млн т карбонатных и 30 млн т глинистых пород, 7 млн т гидравлических добавок. В России производство цемента осуществляется более чем на 50 предприятиях и составляет около 70 млн т в год.

Области применения. Цемент входит в десятку наиболее важных видов продукции. Портландцемент стал основным материалом строительной индустрии благодаря многим своим ценным качествам, таким как универсальность и простота использования, возможность надежного обеспечения необходимой прочности бетонов и строительных конструкций, возможность целенаправленного регулирования свойств. Различные виды цемента находят широкое применение не только в строительной, но и в горнодобывающей, нефтехимической и газовой отраслях промышленности. Цемент является основным материалом для строительства высокоскоростных автодорог и взлетно-посадочных полос аэродромов. Он используется также для производства асбоцементных кровельных покрытий (шифер), канализационных труб, подземных коллекторов и водоводов. Особенно широко его применение в жилищном, промышленном и транспортном строительстве. Способность затвердевать и приобретать высокую прочность в воде определила ведущее положение цемента в современном гидротехническом строительстве.

Например, в США около 70 % продаж цемента идет на производство товарного бетона, 11 % — на производство строительной продукции (трубы, железобетонные изделия и пр.), 8 % — на производство дорожного покрытия, по 4 % используется при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Основным видом выпускаемого промышленностью цемента является портландцемент — продукт тонкого измельчения клинкера.

Пластифицированный портландцемент применяют для приготовления растворов и бетонов, которые благодаря этому приобретают повышенную подвижность и удобоукладываемость.

Гидрофобный портландцемент, обладающий пониженной гигроскопичностью, не теряет активности при длительном хранении и дальних перевозках, а растворы и бетоны на его основе также обладают повышенной пластичностью.

Портландцемент с умеренной экзотермией предназначается для наружных зон массивных конструкций гидротехнических сооружений, работающих в условиях многократного замораживания и оттаивания.

Портландцемент пуццолановый получают при введении 30–40 % активных минеральных добавок. Он отличается весьма высокой

водостойкостью и придает конструкциям повышенную водонепроницаемость. Такой цемент противостоит сульфатной коррозии и применяется в гидротехническом строительстве. Вместе с тем он обладает пониженной экзотермией и менее пригоден для работ в условиях низких температур.

Шлакопортландцемент получают при совместном помолу клинкера и гранулированного доменного или электротермофосфорного шлака (вводимого в количестве от 20 до 80 %). Этот цемент применяется при изготовлении бетонных изделий, подвергаемых пропарке, для монолитных надземных, подземных и подводных конструкций, подвергающихся воздействию пресных и минерализованных вод.

Сульфатостойкий портландцемент обладает повышенной стойкостью к сульфатной агрессии не только в постоянных условиях, но и в условиях попеременного увлажнения или замораживания.

Быстротвердеющие портландцемент и *шлакопортландцемент* обладают интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения. Через трое суток они набирают 50–60 % конечной прочности. Портландцемент, в который добавлено не более 15 % гранулированного шлака, используют для бетона дорожных и аэродромных покрытий.

Для цементирования нефтяных, газовых и других буровых скважин применяют *тампонажный портландцемент*.

На основе глиноземистого и высокоглиноземистого цемента, отличающегося от портландцемента пониженным содержанием кремнезема и высоким — глинозема (80 % и более), приготавливают *быстродействующий и жаростойкий бетон*, предназначенный для аварийно-ремонтных работ. Кроме того, такие бетоны устойчивы в агрессивной сернокислотной среде.

Производство портландцемента. Первоначально портландцемент изготавливался из богатых глиной известняков, так называемых *мергелей-натуралов*, имеющих близкое к требуемому отношение оксида кальция к кремнезему. Широко известными источниками такого сырья являются месторождения штата Огайо (США), района Регби-Лейстер (Центральная Англия) и Новороссийские месторождения в России. Однако в связи с резким повышением спроса на портландцемент и истощением месторождений мергелей-натуралов для его производства стали использовать глины и известняки других месторождений.

Производство портландцемента является многоэтапным процессом (рис. 2). Вначале исходное сырье (известняк, глина) размалывается и перемешивается. Затем эта смесь обжигается во вращающейся печи. Температура поднимается медленно: в интервале 100–110 °С удаляется вся гигроскопическая вода, приблизительно при 600 °С начинает удаляться гидратная и гидроксильная вода, около 800–850 °С начинает разлагаться карбонат кальция: $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ и происходит распад алюмосиликатов. Это является началом клинкер-процесса, при котором оксид кальция вступает в реакции с алюмосиликатами и силикатами с образованием клинкерных минералов.

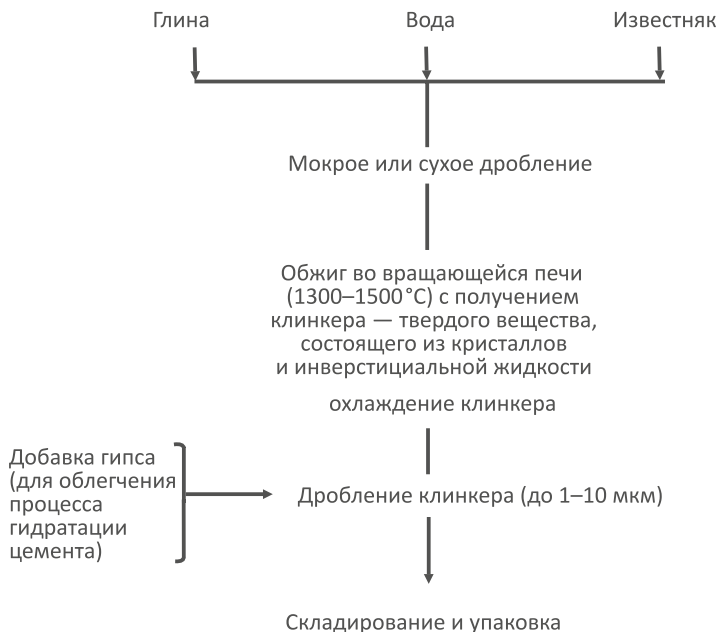


Рис. 2. Схема процесса изготовления портландцемента [7]

При 1300–1500 °С происходит частичное плавление этих минералов с появлением двух- и трехкальциевых силикатов и расплава. Последней стадией формирования клинкера является кристаллизация расплава и его реакция с кальциевыми силикатами. Окончательно

состав клинкерных минералов формируется при охлаждении до 1000 °С.

Клинкер состоит из четырех главных искусственных соединений-минералов (в порядке их значимости):

- β -дикальциевого силиката β - Ca_2SiO_4 — *белит*;
- трикальциевого силиката Ca_3SiO_5 — *алит*;
- трикальциевого алюмината $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$;
- кальциевого алюиноферрита $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$.

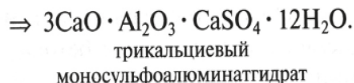
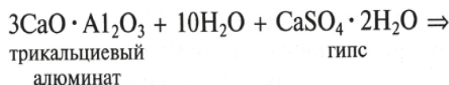
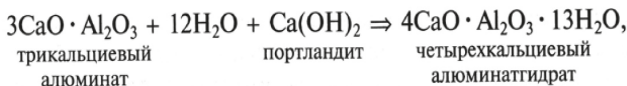
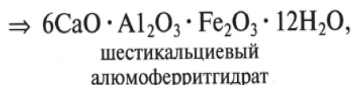
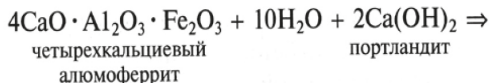
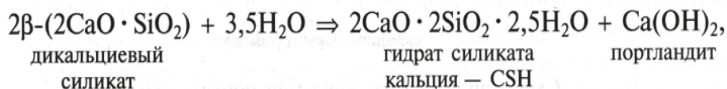
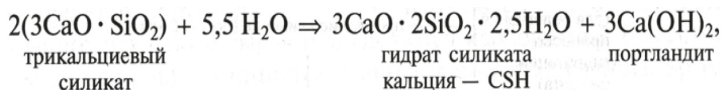
Частицы цементного клинкера с заданным соотношением этих соединений поступают на мельницу, где к ним добавляется до 3% гипса для регулирования процесса гидратации цемента при его использовании.

Помимо гипса в цемент могут вводиться так называемые активные добавки; они не нарушают его способности твердеть и схватываться, но улучшают прочность, способность к гидратации и другие полезные свойства. В качестве таких добавок выступают кремниевые и кремнийсодержащие материалы, диатомиты, трепелы, опоки, цеолитизированные туфы или промышленные отходы — зольная пыль, доменный шлак и др.

Когда портландцемент смешивается с водой, то его первично безводные компоненты вступают с ней в химическое взаимодействие с образованием гидратов. Приведем некоторые наиболее типичные реакции гидратации главнейших соединений-минералов, входящих в состав цемента [7].

Одновременно происходит множество реакций, продукты которых могут вступать в последующие реакции с начальными или новообразованными компонентами среды. Начальная гидратация, достаточная для затвердевания цементного теста, составляет несколько часов, но реакции гидратации продолжаются месяцы и даже годы.

Главным продуктом гидратации портландцемента является коллоидный гель $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ переменной стехиометрии в виде пленок, пластинок, розеток и т. п., образующих спутанную микроструктуру, которая в сочетании с другими факторами придает, как полагают, прочность затвердевшему продукту. На ранней стадии гидратации может происходить образование гелевых оболочек вокруг клинкерных частиц, что замедляет процесс полной гидратации.



В настоящее время промышленность выпускает несколько типов портландцемента, различающихся в основном соотношением основных клинкерных соединений-минералов. О многообразии использования различных видов портландцементов свидетельствуют, в частности, следующие его разновидности: *обыкновенный, пластифицированный, гидрофобный, быстротвердеющий, тампонажный, сульфатостойкий, жаростойкий, дорожный и др.* (табл. 4).

Качество цемента, определяемое в основном соотношением его главных клинкерных компонентов и наличием загрязняющих примесей, зависит, таким образом, от химического состава исходной смеси карбонатных и глинистых пород (шихта), а также от вводимых в цементный клинкер гипса и других добавок.

Если в шихте резко преобладает оксид кальция CaO, то при гидратации цемента образуется минерал *портландит* Ca(OH)₂, легко вымываемый из бетона, что понижает прочность последнего, разрушая его (так называемая белая смерть бетона). При избытке

Таблица 4. Классификация цементов [15]

Основные принципы классификации	Вид	Разновидность
Виды клинкера	Портландцементные клинкеры	Без активных добавок
		Цементы с активными добавками — не менее 20 %
		Цементы с гранулированными шлаками (до 20%) — шлакопортландцементы
		То же, но более 20 % добавок
	Портландцемент	
Глиноземистые клинкеры	Глиноземистый, высокоглиноземистый и гипсоглиноземистый	
Прочность твердения	Высокопрочные	Марки 550, 600 и выше
	Повышенной прочности	Марка 500
	Рядовые	Марки 300 и 400
	Низкомарочные	Марки ниже 400
Скорость твердения	Медленно схватывающиеся	—
	С началом схватывания 1,52	—
	Нормально схватывающиеся	Начало схватывания от 45 мин

в шихте кремнезема SiO_2 в гидратированной массе появляется инертный минерал *геленит* — $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, также снижающий прочность изделия. При попадании в шихту оксида магния MgO (например в виде примеси доломита) при обжиге может образоваться периклаз, гидратация которого продолжается многие годы. Кроме того, переход MgO в $\text{Mg}(\text{OH})_2$ сопровождается увеличением объема уже после отвердения цементной массы, что может привести к разрушению бетона, поэтому содержание MgO в шихте ограничено.

Небольшое количество щелочей допустимо и даже полезно, поскольку снижается температура плавления клинкера, но при их заметных количествах образуются соединения, искажающие картину гидратации цемента и затвердение бетона.

При составлении шихты контролируется максимальное содержание ряда компонентов в карбонатных и глинистых породах соответственно: 4 и 6 % MgO; 1,3 и 5 % SO₃; 1 и 3,5–4 % (K₂O+Na₂O); 0,4 и 0,6 % P₂O₅; 2 % TiO₂ (в глинистых породах). В карбонатной составляющей содержание CaO обычно более 44–45 %; состав глинистых пород: 50–65 % SiO₂; 15–20 % Al₂O₃; 6–10 % Fe₂O₃. Валовый состав шихты: 60–67 % CaO; 21–24 % SiO₂; 4–7 % Al₂O₃; до 2,5 % Fe₂O₃. Одновременно должны учитываться величины коэффициента насыщения (*Kn*), силикатного (*n*) и глиноземного (*p*) модулей:

$$Kn = [(CaO_{\text{общ}} - CaO_{\text{св}}) - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3)] / 2,8(SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{св}}) = 0,82 - 0,95;$$

$$n = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 1,2 - 3,5;$$

$$p = Al_2O_3 / Fe_2O_3 = 1 - 2,5.$$

Регулировка шихты по этим модулям обычно производится добавкой высококремнистых пород (диатомитов, трепелов, опок, кварцевого песка, маршаллита и др.), высокожелезистых продуктов (железных руд, пиритовых огарков и др.), бокситов.

Общими требованиями к качеству цементного сырья являются его однородность, выдержанность химического состава и отсутствие крупных включений других пород и минералов. При оценке месторождений этого сырья важно учитывать их близость и удобство транспортировки к заводу-потребителю, достаточность запасов для длительной (десятки лет) эксплуатации, возможность отработки открытым способом, экологические последствия разработки.

Карбонатные породы

Карбонатные породы, т. е. образования, сложенные главным образом карбонатами кальция, магния и в меньшей степени железа, широко распространены в земной коре, составляя более 15 % ее массы. Это в первую очередь различные известняки, мергели и мраморы, а также травертины, известковая гаж, жильные карбонатные породы, карбонатиты, карбонатные пески и другие образования. В их составе помимо собственно карбонатов в подчиненном количестве нередко присутствуют глинистые частицы, углистое веще-

ство, кварц, полевые шпаты, сульфиды, сульфаты, хлорит, глауконит и многие другие минералы.

Породы характеризуются разнообразием структур и текстур; помимо господствующих осадочных образований среди них имеются представители метаморфического (мраморы), магматического (карбонатиты), гидротермального (карбонатные жилы выполнения, травертины) и гидротермально-метасоматического (доломиты) генезиса.

Осадочные карбонатные породы могут быть образованы в морских, лагунных и озерных условиях хемогенным и кластогенным путем.

Наибольшее значение для цементной промышленности имеют распространенные карбонатные породы, *входящие в состав двух рядов*: известняк CaCO_3 — доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, и карбонатная порода — глина.

В первом ряду между крайними членами фиксируется большое количество переходных разновидностей, отличающихся содержанием MgO (табл. 5), *во втором* — наблюдается не менее широкое разнообразие сочетаний карбонатной и глинистой составляющих породы (табл. 6), причем карбонатная может быть представлена любыми членами ряда известняк — доломит, что приводит к появлению переходных между глинами, известняками и доломитами пород.

Поскольку содержание оксида магния MgO в цементной шихте ограничено, доломиты и даже доломитовые известняки (см. табл. 5) малопригодны в качестве цементного сырья, но зато представляют больший интерес для металлургии как огнеупоры.

Таблица 5. Группировка известково-доломитовых пород

Порода	Массовая доля (%)	
	Кальцит CaCO_3	Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Известняк	95–100	0–5
Доломитистый известняк	75–95	0–25
Доломитовый известняк	50–75	25–50
Известковый доломит	25–50	50–75
Известковистый доломит	5–25	75–95
Доломит	0–5	95–100

Таблица 6. Группировка карбонатно-глинистых пород в цементной промышленности

Порода	Массовая доля (%)	
	CaCO ₃	CaO
Известняк	100–95	56,0–53,2
Известняк мергелистый	95–90	53,2–50,4
Мергель известковистый	90–75	50,4–42,0
Мергель	75–40	42,0–22,4
Мергель глинистый	40–20	22,4–11,2
Глина мергелистая	20–5	11,2–2,8
Глина	5–0	2,8–0

Карбонатно-глинистые образования, объединяющие оба главных компонента цементной шихты, представляются самым хорошим сырьем для цементной промышленности. Особого внимания заслуживают мергели (см. табл. 6), химический состав которых может полностью соответствовать требуемой цементной шихте (*мергели-натуралы*).

Среди большого разнообразия месторождений карбонатного сырья для цементной промышленности выделяют *три основных геолого-промышленных типа*:

- 1) субгоризонтальные пласты, линзы и горизонты мела, мергелей, известняков и доломитов большого площадного распространения мощностью в метры — десятки метров в разрезах платформенных карбонатно-терригенных толщ пород различного возраста (Вольские и другие многочисленные месторождения Русской платформы, месторождения Сибирской и других платформ);
- 2) круто- и пологопадающие пласты, линзы и пачки ритмичного чередования мергелей, известняков и карбонатных глин мощностью в десятки метров в разрезах складчатых карбонатно-терригенных флишевых толщ большой мощности (Новоросийские месторождения);
- 3) слабонаклонные, быстро выклинивающиеся пластовые, линзовидные и сложной формы залежи доломитов и органогенных известняков с мелом и мергелями неравномерной, меняющейся мощности в десятки метров в составе карбонатных

рифогенных, соленосных, терригенных и угленосных толщ краевых и межгорных прогибов и внутренних впадин (Еленовское месторождение в Донбассе, месторождения штатов Огайо, Индиана и Иллинойс в США).

Известняки

Общие сведения. Известняк — одна из наиболее распространенных карбонатных пород. Переходные разности между известняками и доломитами составляют не более 28 % от общего количества карбонатных пород (табл. 7).

Таблица 7. Компонентный состав известняков (%) [11]

Порода	Кальцит CaCO ₃	CaO	MgO	Доломит CaMg(CO ₃) ₂	Глинистый материал
Известняк	100,0–85,5	56,0–50,9	0–2,2	0–10,0	0–5,0
Известняк доломитистый	90,0–71,25	53,3–47,5	2,1–5,5	9,5–25,0	0–5,0
Известняк доломитовый	75,0–47,5	49,2–35,1	5,2–11,0	23,7–50,0	0–5,0
Известняк глинистый	95,0–67,5	53,2–39,4	0–2,1	0–9,5	5,0–25,0
Известняк доломито-глинистый	85,5–37,5	50,2–29,1	1,6–10,4	7,5–47,5	5,0–25,0

В известняках обычно присутствуют гидрослюды, монтмориллонит и другие минералы. Породу, в которой содержание глинистых минералов превышает 25 %, называют мергелем. В известняках нередко примеси песчано-алевритового материала. Иногда встречаются тонкорассеянные включения (халцедон, глауконит, пирит, марказит, органическое вещество).

Окраска известняков изменяется от белой и серой (иногда с зеленым, желтым и другими оттенками) до черной в зависимости от состава и содержания примесей: органического вещества, гидроксидов железа и марганца, пирита, глауконита и т. п.

Известняки отличаются структурно-текстурным многообразием. Среди них характерны три структурных типа: кристаллически-зернистые, биогенные и оолитовые.

Кристаллические зернистые структуры подразделяют по размеру зерен (мм):

грубокристаллические.....	более 1;
средне-крупнозернистые.....	1–0,5;
мелко-среднезернистые.....	0,5–0,1;
мелкозернистые.....	0,1–0,01;
пелитоморфные.....	менее 0,01.

Весьма многообразны биогенные структуры, которые различаются как по размеру фрагментов (детритовые, органогенно-обломочные, цельнораковинные), так и по видовому составу организмов. Специфичны оолитовые и отрицательные оолитовые структуры.

Большинство залежей известняков образовались в морских, реже в континентальных условиях. Известны также пролювиальные известняковые конгломераты в предгорных конусах выноса. Разновидности известняков: мел, известковый туф (травертин), гажа (мел озерный). Метаморфизованные разновидности известняков — мраморы. Карбонатные породы развиты во всех осадочных образованиях от архея до кайнозоя. В осадочной оболочке Земли карбонатные породы составляют около четверти ее объема. Почти половина этого количества приходится на известняки.

Запасы известняков (не считая мела и мрамора) в России составляют по промышленным категориям около 12 млрд м³ в более чем 800 месторождениях. Свыше половины запасов приходится на европейскую часть страны, около 22 % — на Уральский регион и 20 % — на азиатскую часть.

В России добывается около 80 млн м³ известняков. Наиболее крупные потребители карбонатного сырья — Китай, Индия, США, Япония, Германия.

Области применения. Одним из емких направлений использования известняков является строительство: жилищное, производственное, дорожное, гидротехническое и т. п. Преобладающую часть сырья используют в качестве строительных камней: щебень, бут, штучные камни, также минеральный порошок, пыльные (стеновые) и облицовочные камни.

Значительные объемы известняков используют для производства портландцемента, воздушной и гидравлической извести. Известняки (и известь) используют как основной флюс и технологический

продукт при выплавке чугуна, стали и цветных металлов. Необходимы известняки и при комплексной переработке нефелинового сырья для производства глинозема, портландцемента и соды. В химической промышленности большую часть известняков используют для производства соды и карбида кальция. Известняки применяют при производстве хлорной извести и хлористого кальция, азотных и фосфорных удобрений — преципитата, суперфосфата. В пищевой промышленности известняки употребляются при производстве сахара и лимонной кислоты. Используют их также в целлюлозно-бумажной промышленности, при производстве стекла и в ряде других отраслей промышленности: для очистки и нейтрализации нефтепродуктов, обессеривания кокса, обезжиривания кожи, полировки изделий и т. п. Сельское хозяйство является емким потребителем известняков в качестве химического мелиоранта для понижения кислотности оподзоленных почв, при производстве комбикормов и для минеральной подкормки животных и птицы.

Структура потребления известняка в России и за рубежом мало отличается: около 50 % используется в качестве строительных материалов, примерно 15 % расходуется на производство портландцемента, 11–14 % — в качестве флюса, по 5 % — на производство извести и в сельском хозяйстве, 2 % — в химической промышленности.

Промышленные типы месторождений. Залежи известняков связаны с многообразными формациями: карбонатными, карбонатно-терригенными, пестроцветными и др. В зависимости от геотектонической обстановки залежи характеризуются разной морфологией:

- 1) значительная мощность, линейная ориентировка, дислоцированность — в складчатых областях;
- 2) ограниченная мощность, но широкое площадное распространение, спокойное залегание — в платформенных областях.

Основная масса месторождений известняков имеет морское происхождение различных фаций. Преобладающим промышленным типом являются пластовые и пластообразные месторождения (табл. 8). Размеры залежей в плане измеряются обычно сотнями метров и километрами, мощность — десятками метров. Месторождения характеризуются хорошо выдержанным составом и свойствами. Платформенные залежи имеют спокойное, субгоризонтальное залегание (углы падения до 10°). В орогенных областях залегание

Таблица 8. Характеристика некоторых месторождений известняков [11]

Месторождение	Возраст	Залегание	Мощность (м)	Запасы (млн м ³)	Химический состав (% мас.)				Средняя плотность (г/см ³)
					SiO ₂	R ₂ O ₃	CaO	MgO	
Дербентское (Дагестан)	N ₁	Горизонтальное	< 6	11	1,0–1,8	0,9–1,1	49,5–51,8	1,9–3,4	1,79–2,05
Шах-Тай (Башкортостан)	P ₁	Риф	>50	78	0,5	0,4	54,4	1,1	2,64
Афанасьевское (Московская обл.)	C ₂	Горизонтальное	< 12	135	5,6	2,5	49,6	2,1	2,33
Богдановичское (Свердловская обл.)	C ₁	Наклонное	< 80	43	2,8	2,8	52,2	2,8	2,4–2,8
Ново-Пашийское Пермская обл.)	D ₃	20–90°	< 60	48	1,2	0,3	54,8	0,5	–
Карачинское (Кемеровская обл.)	D ₂	65–85°	< 310	144	0,7	0,3	54,7	0,6	–
Мазульское (Красноярский край)	Є	Дислоциро- ванное	>180	107	0,9	0,5	54,5	0,5	2,7
Билотинское (Бурятия)	PR ₂	20–80°	300	38	0,7	0,3	54,8	0,7	2,6
Гомонское (Сахалинская обл.)	PR ₂	70°	>500	26	0,5	0,4	54,8	0,5	2,74
Слодянское (Иркутская обл.)	AR	60°	140	80	–	0,2–2,0	49,8–54,6	1,1–3,5	2,68–2,95

Примечание: N₁ — нижний неоген, P₁ — нижний палеоген, C₁ — нижний карбон, C₂ — средний карбон, D₂ — средний девон, D₃ — верхний девон, Є — кембрий, PR₂ — верхний протерозой, AR — архей.

чаще наклонное (до 45°), крутое (до 90°), залежи значительно дислоцированы.

Второй тип месторождений штокообразный, связан с рифовыми массивами или, что реже, с отторженцами. Размеры обычно составляют многие сотни метров, слоистость отсутствует. Строение достаточно однородное, нередко зональное.

Крайне малое развитие имеют мелкие месторождения известняков линзо- и гнездообразной формы, связанные с небольшими биогермами, отторженцами и т. п.

Природные и технологические типы известняков. Природные типы известняков весьма многообразны и определяются двумя факторами: вещественным составом и структурно-текстурными особенностями. Технологические типы известняков не менее многообразны и зависят от сочетания названных выше факторов с производственными приемами их переработки и требованиями к качеству сырья.

Для строительных и пильных камней они определяются структурно-текстурными особенностями и связанными с ними физико-механическими свойствами, специфичными для каждого месторождения. Ценность облицовочных камней определяется прежде всего их фактурой. Карбонатные породы для производства цемента и извести подразделяют по химическому составу (табл. 9).

Оценка качества сырья. Оценка качества известняков и возможностей их практического использования производят на всех стадиях геологоразведочных работ с последовательным углублением и уточнением. Оценка качества сырья осуществляют применительно к требованиям различных отраслей промышленности, регламентируемых соответствующими ГОСТами и техническими условиями.

Полный комплекс лабораторных испытаний проб включает минералого-петрографическое описание и определение истинной и средней плотности, пористости, водопоглощения, предела прочности при сжатии в сухом состоянии, химические определения SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO и ряд дополнительных определений для разных отраслей (R_2O , P, S, Cu, As, Pb и др.).

В доменном, сталеплавильном и ферросплавном производствах минимальное содержание CaO установлено в 49–52 %, предельное содержание нерастворимого остатка ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) — 2–4 %.

Таблица 9. Технологические типы карбонатных пород для производства портландцемента и строительной извести (% мас.) [11]

Содержание глинистого материала	MgO									
	0-1,2			1,2-4			4-10			
	Цементное сырье	CaO	Известь кальцевая	Цементное сырье	CaO	Известь маломагнезиальная	CaO	Известь магнезиальная		
2-5	Известняк высококарбонатный	56,0-53,5	Воздушная жирная	Известняк доломитистый	54,6-50,2	Воздушная жирная	51,3-43,2	Воздушная жирная		
		54,9-51,8	Воздушная обычная	Известняк высококарбонатный	53,5-48,5	Воздушная	50,2-40,9	Воздушная		
5-10	Известняк глинистый	52,6-50,1	Воздушная тощая	Известняк доломитистый	51,2-46,8	Воздушная тощая	48,0-39,8	Воздушная тощая		
		51,5-49,0	Слабогидравлическая	Известняк доломитистый глинистый	50,1-45,7	Слабогидравлическая	46,8-38,7	Слабогидравлическая		
21-22	Мергель высокий	50,4-42,3	Гидравлическая	Мергель доломитистый высокий	49,0-39,6	Гидравлическая	45,7-32,5	Гидравлическая		
22-25	Мергель натуральный	43,7-40,6	-	Мергель доломитистый натуральный	42,3-37,3	-	-	-		
60 и более	Мергель низкий	42,0-21,0	-	Мергель доломитистый низкий	40,6-17,7	-	-	-		

Во флюсовых известняках для цветной металлургии должно быть (%):

CaO.....	не менее 52;
MgO.....	не более 1,5;
SiO ₂	не более 3.

Известняк для производства флюса должен содержать (%):

CaO.....	не менее 52,5–53,5;
SiO ₂	не более 1,4–2,8;
R ₂ O ₃	не более 1,5;
фосфора.....	не более 0,06;
серы.....	не более 0,09.

В химической промышленности большую часть известняка используют для производства соды и карбида кальция. Известняк для этих производств должен иметь прочность не менее 10–15 МПа и кусковатость 40, 100 и 160 мм. В нем должно быть содержание CaO не менее 53–54,5 %, MgO — не более 1–1,7 %, SiO₂ — не более 0,5–2 % (для соды иногда допускается 4 % и более), R₂O₃ — не более 0,8–2 %.

При производстве хлорной извести гашеная известь насыщается хлором. Содержание CaO в сырье должно быть не менее 54 %, MgO — не более 0,8 %, Al₂O₃ — не более 0,3 %, Fe₂O₃ — не более 0,2 %, серы — не более 0,3%; кусковатость — 70–150 мм.

Схожие требования предъявляются при производстве азотных и фосфорных удобрений, а также в других процессах химической переработки. Несколько менее строги требования к сырью при производстве хлористого кальция.

В стекольном производстве наиболее вредной примесью в сырье является оксид железа, содержание которого ограничено пределами 0,05–0,3 %, и только для темного бутылочного стекла допускают 0,5–1 %. При этом CaO не должно быть менее 51,5–54 %.

В пищевой промышленности при очистке свекловичного сока применяются известь и углекислый газ, получаемые при обжиге известняка. Известь должна быть максимально чистой, кальциевой. Известняк должен содержать CaO не менее 48–53 %, MgO — не более 0,9 % (допускается 3–7 %, но избыток MgO придает сахару серый оттенок). Вредными примесями являются также кремнезем, нерастворимый осадок которого засоряет аппаратуру (не более 2,5 %), щелочи, которые влекут потерю сахара в полупродукте — меляссе (не более 0,25 %).

Значительные количества карбонатной муки используют в сельском хозяйстве для известкования кислых подзолистых почв. Сумма карбонатов Са и Mg при этом составляет не менее 85%. Основная фракция муки (природной или молотой) — не менее 0,25 мм.

При производстве комбикормов для животных и птицы применяется более крупный помол — в основном менее 3 мм. Для непосредственной подкормки птицы не менее половины материала должно быть крупностью не более 1 мм. Минимальное содержание кальция установлено в 32%. Это ограничивает степень доломитности породы (муки) пределом в 12,5% от суммы карбонатов. Ограничивается также доля нерастворимого в соляной кислоте остатка — 5%, невредных примесей (Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др.) не должно быть больше 8%. Особенно важны ограничения содержания ядовитых примесей: предельное содержание фтора — 0,15%, мышьяка — 0,006%, свинца — 0,002%.

Многочисленные потребители известняков (технологической извести) в бумажной, кожевенной, текстильной, каменноугольной промышленности и в других отраслях применяют свои нормативы оценки сырья, достаточно близкие к изложенным выше.

Лёссовые породы

В научную литературу термин «лёсс» впервые был введен в 1823 году Карлом Цезарем фон Леонгардом. С этого времени началась дискуссия по поводу происхождения термина, природы специфических свойств и, прежде всего, просадочности.

Общие сведения. Лёсс — неслоистая, однородная известковистая осадочная горная порода светло-желтого или палевого цвета. Преобладают частицы 0,01–0,05 мм. Глинистые частицы менее 0,005 мм составляют 5–30%. Некоторое количество частиц 0,01–0,05 мм представлено агрегатами, образовавшимися при коагуляции коллоидной части породы. Пористость лёсса составляет 40–55%, он пронизан тонкими канальцами (макропорами, следами растительных остатков). По своему составу лёсс относится обычно к суглинкам, реже к супесям. Крупные частицы в лёссе состоят преимущественно из кварца и полевого шпата, в меньшем количестве — из слюд, роговой обманки и т. д.; в отдельных прослоях изобилуют зерна вулканического пепла, переносившегося ветром на

сотни километров от места извержения. Тонкие частицы в лёссе состоят из различных глинистых минералов (гидрослюда, каолинит, монтмориллонит). В нем иногда встречаются известковистые конкреции (местные названия: «журавчики», «дутики», «погремыши»), раковины наземных моллюсков и кости млекопитающих, особенно грызунов и мамонтов.

Типичные лёссы отличаются от прочих лёссовых пород характерными особенностями: преобладающей светло-палевой окраской; супесчаным, легко- или среднесуглинистым составом с преобладанием элементарных пылеватых зерен (типичные однородные алевриты); общей пористостью 40–50 % и более; активной (15–20 %), выраженной макропористостью; воздушно-сухим состоянием; просадочностью от собственного веса при замачивании.

Отличить лёссовидные породы от типичных лёссов можно по окраске — светло-палевой, светло-желтой, желтовато-бурой и др. При пылеватом в целом составе в этих породах наряду с элементарными алевритовыми зернами присутствуют в различных количествах микроагрегаты глинистых частиц (ложная пыль). Общая пористость лёссовидных пород — обычно меньше 45 %, активная — 15 %. Большая часть лёссовидных пород просадочна только при приложении внешнего давления, но есть разновидности, которые непросадочны. Некоторые лёссовидные породы естественно увлажнены и даже могут быть водонасыщенными.

Распространение, мощность и строение тощ, лёссовых пород. Лёссовые породы встречаются на всех континентах, но наиболее широко они распространены в Европе, Азии и Америке. При средней мощности лёсса 10 м общая площадь, занятая лёссовыми породами на земном шаре, составляет 19 млн км². Северная граница распространения лёссов опускается в Европе до 60° с. ш., в Азии она проходит гораздо севернее, а южная граница достигает 28° с. ш. В тропических и субтропических областях лёссы не встречаются.

На территории стран СНГ площадь, покрытая лёссовыми породами, составляет около 34 % континентальной части СНГ. Лёссы лежат сплошным покровом на большей части Украины (до 80 %) и юге европейской части России. Большие площади покрыты лёссовыми породами в Средней Азии, Казахстане, Восточной, Южной и Западной Сибири. Довольно часто они встречаются в Белоруссии, Поволжье, Якутии и других регионах.

Лёссы — это молодые отложения четвертичной системы, возникшие в недавнее геологическое время (не более 1,5 млн лет тому назад), а в определенных физико-географических условиях они могут образовываться прямо на глазах человека, например в результате пыльных бурь. По условиям залегания лёссовые породы повсеместно занимают покровное положение. Между лёссовой толщей и подстилающими породами может наблюдаться или четко выраженная граница, или постепенный переход.

Для лёссовых толщ характерно наличие достаточно разнообразных прослоев и включений. Среди них наибольшим распространением пользуются так называемые погребенные почвы, под которыми понимаются как собственно почвы, находящиеся в ископаемом состоянии, так и переотложенные почвы и гумусированные прослои, образовавшиеся в результате аккумуляции органического вещества. В лёссовых толщах отмечаются прослои песка и гравийно-галечниковых пород, мощность которых колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Мощность лёссовых пород колеблется от нескольких сантиметров до десятков и даже сотен метров. В северных районах, где лёссовые толщи развиты спорадически, их мощность обычно составляет 5–10 м. В районах сплошного распространения (юг Украины, Северный Кавказ) она повышается до 30–50 м и более. Наиболее мощные толщи лёссовых пород (до 100–130 м) обнаружены в Средней Азии в межгорных впадинах. В пределах равнинных областей мощность лёссовых толщ возрастает от первой надпойменной террасы к междуречным (водораздельным) пространствам. Для предгорных и горных районов, наоборот, характерно увеличение мощности лёссовых пород по мере приближения к долинам рек: здесь наиболее мощные толщи приурочены к депрессиям.

Генезис лёссовых пород. Проблема происхождения лёссовых пород существует более 130 лет. Уже на первых этапах ее развития было предложено большое количество различных гипотез, причем почти каждая из них стремилась объяснить происхождение всех лёссов каким-нибудь одним способом. Все разнообразие гипотез о происхождении лёссов можно свести к трем группам [8].

К первой группе относятся гипотезы, объясняющие происхождение лёсса золотым путем. К числу ее виднейших сторонников относятся Ф. Рихтгофен, И. В. Мушкетов, В. А. Обручев и др. Во вторую

группу можно объединить гипотезы, которые рассматривают лёсс как породу, отложившуюся в водной среде. К числу ученых, придерживающихся такой точки зрения, относятся П. А. Кропоткин, В. В. Докучаев, С. С. Неуструев и др. В третью группу гипотез включены высказывания, в соответствии с которыми пылеватый материал может накапливаться любым способом, а превращение его в лёсс как породу, обладающую определенной суммой признаков, происходит в результате процессов выветривания и почвообразования. Впервые мысль об образовании лёсса в процессе вторичного выветривания высказал Н. М. Сибирцев. Эти положения, а также высказывания В. В. Докучаева о возможности элювиального образования лёссовых пород были использованы Л. С. Бергом при разработке *почвенно-элювиальной гипотезы происхождения лёссов*.

Каждая из существующих гипотез не в состоянии объяснить образования всех лёссовых пород и в то же время может быть вполне принята при рассмотрении отдельных лёссовых толщ.

Лёссовидные породы, безусловно, являются полигенетическими образованиями. Что же касается лёссов — пород, очень однородных по литологическому составу и обладающих одним чрезвычайно специфическим свойством — просадочностью, то их генезис представляется менее ясным. Решение вопроса о генезисе лёссов может быть получено лишь после того, как будут выяснены основные закономерности формирования их просадочных свойств не только в общем аспекте, но и конкретно в том или ином разрезе. Из большого многообразия гипотез происхождения лёссов наиболее вероятной окажется та гипотеза, которая объяснит возникновение их просадочности.

Гранулометрический состав. По гранулометрическому составу лёссовые породы представляют собой разнообразные грунты, начиная от пылеватых песков и заканчивая лёссовидными глинами. Для всех их разновидностей характерно высокое содержание пылеватых частиц (как правило, более 50 %).

Наиболее однородными по гранулометрическому составу являются *лёссы*. Во всех районах они характеризуются высоким содержанием крупнопылеватых частиц (0,05–0,01 мм), ничтожным количеством частиц крупнее 0,25 мм и небольшим содержанием глинистой фракции (не более 16 %).

Лёссовидные породы характеризуются более разнообразным гранулометрическим составом. Среди них выделяются лёссовидные

пески, лёссовидные супеси, лёссовидные суглинки и даже лёссовидные глины. В природных условиях лёссовые породы находятся в агрегированном состоянии. Данные микроагрегатного анализа указывают на абсолютное преобладание пылеватого материала в составе рассматриваемых пород. Содержание глинистых частиц составляет в этом случае обычно не более 1–2 %.

Исследование агрегированности указанных пород показывает существенное различие между лёссами и лёссовидными породами. У первых преобладают первичные пылеватые (главным образом крупнопылеватые) частицы, а агрегаты пылеватого размера хотя и имеются, но в сравнительно небольшом количестве. В связи с этим при гранулометрическом анализе отмечается только небольшое снижение содержания песчаных и крупнопылеватых и небольшое увеличение выхода глинистых фракций.

У лёссовидных пород наряду с первичными пылеватыми частицами содержится большое количество агрегатов пылеватого размера, состоящих из глинистых и коллоидных частиц; поэтому гранулометрический анализ таких лёссовых пород показывает достаточно низкое содержание частиц пылеватого размера и увеличенный выход глинистых частиц.

Высокая истинная пылеватость, сильная агрегированность глинистых и коллоидных частиц создают благоприятные условия для развития просадочных явлений в лёссовых породах.

Химико-минералогические особенности. Лёссовые породы — породы полиминеральные. В их состав входит большое число минералов. В состав крупных фракций лёссовых пород (частицы крупнее 5 мкм) входит более 50 различных минералов. Из них лишь 10–15 минералов являются порообразующими, а остальные относятся к акцессорным. 99–99,8 % всех этих минералов представлены минералами легкой фракции (удельный вес менее 2,75 г/см³). Среди этой сравнительно большой группы минералов главная роль принадлежит кварцу и полевым шпатам; второстепенная — карбонатам, слюдам, гипсу, а другие минералы содержатся в значительно меньшем количестве.

Для крупных фракций лёссовых пород, несмотря на их полиминеральность, характерно удивительное сходство в качественном и количественном отношении минеральных ассоциаций разных образцов, отобранных в различных достаточно удаленных друг от друга районах.

Лёссовая порода каждой области может быть минералогически обособлена. Например, в лёссовых породах областей предгорий и склонов гор кварц и полевые шпаты содержатся примерно в равных количествах, а в лёссовых образованиях низменных равнин кварц всегда преобладает над полевыми шпатами. Подобные различия наблюдаются и в тяжелых фракциях минералов.

В тонкодисперсных фракциях лёссовых пород встречается до 25 коллоидно-дисперсных минералов. Среди них наиболее распространенными, формирующими основную часть тонких фракций лёссовых пород являются гидрослюды, кварц, кальцит, монтмориллонит и каолинит. Остальные коллоидно-дисперсные минералы имеют второстепенное значение и присутствуют обычно в виде незначительных примесей.

Самое большое различие в ассоциациях коллоидно-дисперсных минералов наблюдается между лёссовыми породами низменных равнин, с одной стороны, и предгорий и склонов — с другой. Так, в пределах низменных равнин в глинистой фракции лёссовых пород главной составной частью являются гидрослюды, монтмориллонит и каолинит, а в горных и предгорных областях — гидрослюды и кварц (монтмориллонит и каолинит встречаются гораздо реже). Для отдельных районов отмечаются также различия в составе и содержании второстепенных коллоидно-дисперсных минералов. Однако эти различия не имеют практического значения для определения свойств лёссовых пород.

В лёссовых породах наряду с минеральными веществами содержится и гумус. Приурочен он к гумусированным прослоям и погребенным почвам, где его содержание не превышает 1,2 %. В лёссах, залегающих между погребенными почвами, содержание гумуса всегда меньше 1 %.

Одной из наиболее характерных черт лёссовых пород является их карбонатность. В лёссовых породах европейской части России количество карбонатов колеблется от 0,1 до 20 %. Суммарное содержание углекислой извести ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) в лёссах Западной Европы изменяется от 0 до 35 %, причем около 10 % из них составляет MgCO_3 . В лёссах Средней Азии содержание карбонатов обычно составляет 15–25 %.

Содержание карбонатов изменяется в соответствии с географическими условиями местности: наименьшее их количество содержится

в лёссовых породах районов повышенного увлажнения и, наоборот, наиболее высокое — в лёссовых породах засушливых районов.

Карбонаты находятся в различных гранулометрических фракциях лёссовых пород. Исследования показали, что в пылевой фракции лёссов содержится от 59 до 84 % (лёссы бассейна Днепра) общего количества карбонатов в этих грунтах, причем большая часть этих карбонатов сосредоточена в крупнопылевой фракции. Абсолютное содержание карбонатов в тонкодисперсных фракциях невелико, но относительное содержание в глинистой и пылевой фракциях значительное — до 30–40 % их состава представлены карбонатами.

Очень важным является вопрос об участии карбонатов в формировании прочности лёссовых пород. Многочисленные данные свидетельствуют о наличии взаимосвязи между прочностью породы и содержанием карбонатов. Это становится понятным, если учесть, что карбонаты, особенно высокодисперсные, создают достаточно прочные, слаборастворимые кристаллизационные связи между отдельными частицами в лёссовых породах. Кроме того, они обуславливают значительную насыщенность поглощающего комплекса лёссов кальцием, что приводит к агрегации глинистой и коллоидной фракций.

В лёссовых породах наряду с труднорастворимыми карбонатами содержатся и другие водорастворимые соединения. Из средне- и легкорастворимых солей в них наиболее широко распространены гипс и хлористый натрий. Кроме того, встречаются Na_2SO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2 , NaNO_3 и Na_2CO_3 , являющиеся легкорастворимыми солями.

Общее количество водорастворимых солей, характеризующее плотным остатком водных вытяжек, в лёссовых породах России обычно изменяется от 20 до 2600 мг на 100 г породы (или от 0,02 до 2,6 % породы). В ряде районов Средней Азии содержание легкорастворимых солей достигает 5 %. В целом засоленность лёссовых пород уменьшается по мере удаления от засушливых районов и морских побережий.

Изучение реакции среды лёссовых пород показало изменение рН в пределах 6,7–8,9. Это свидетельствует о многообразии химических условий среды в различных типах лёссовых пород, что легко объясняется разнообразным их генезисом, условиями залегания и другими факторами. Установлено, что рН лёссовых пород верхней части разреза тесно связан с современным климатом: наибольшая

щелочность среды характерна для засушливых районов; в областях со значительным количеством осадков реакция среды приближается к нейтральной или в ряде случаев становится слабокислой.

Естественная влажность лёссовых пород. Данный показатель изменяется в широких пределах — от 1 до 40 %. Наиболее часто он колеблется от 5 до 20–25 %. Величина естественной влажности лёссовых пород зависит от климатических и гидрогеологических условий местности. В засушливых районах с глубоким залеганием грунтовых вод (Средняя Азия, юг Украины, Ставрополье) лёссовые породы имеют, как правило, небольшую естественную влажность (3–20 %). В областях с большим количеством атмосферных осадков и неглубоким залеганием грунтовых вод (центр европейской части России, север Украины, Западная Сибирь) влажность лёссовых пород (16–35 %) обычно выше влажности нижнего предела пластичности.

Структурные особенности лёссовых пород. Большую роль в формировании прочностных свойств лёссовых пород играет взаимное размещение структурных элементов, формирующих мезоструктуру рассматриваемого типа грунта. Доказано, что в лёссовых породах песчаные и крупнопылеватые частицы как бы плавают в общей коллоидно-дисперсной массе, не контактируя друг с другом. Чем ближе друг к другу располагаются песчаные и пылеватые частицы, чем меньше расстояние между ними, тем выше просадочность пород глинистых пленок.

Высокая пористость лёссовых пород наряду с другими причинами способствует проявлению просадочных свойств при смачивании. При этом наибольшее значение имеет межчастичная пористость: величины дополнительной осадки при смачивании и межчастичной пористости тесно связаны между собой.

Свойства лёссовых пород. Необходимо иметь в виду, что лёссовые образования, являющиеся полидисперсными, полиминеральными образованиями с различными типами структур, формируются в результате различных генетических, диагенетических и эпигенетических процессов.

Большое разнообразие факторов, действующих в условиях континентальной поверхности, неизбежно приводит к разнотипности лёссовых пород как по составу и строению, так и по их инженерно-геологическим свойствам.

Удельный вес лёссовых пород, распространенных в пределах Российской Федерации, колеблется от 2,54 до 2,84 г/см³, чаще всего он составляет 2,6–2,75 г/см³. Среднее значение удельного веса — 2,67 г/см³. Наиболее низкие значения этого показателя свойственны гумусированным лёссовым породам (2,54–2,6 г/см³).

Объемный вес лёссовых пород колеблется от 1,33 до 2,03 г/см³. Его величина, зависящая от влажности, является в известной степени величиной зональной: в засушливых районах объемный вес имеет меньшее значение по сравнению с гумидными областями. Объемный вес скелета лёссовых пород колеблется от 1,12 до 1,79 г/см³, наиболее часто он составляет 1,4–1,6 г/см³. Его величина во многих районах увеличивается с глубиной. Величина объемного веса лёссовых пород коррелируется с их просадочностью: имеется общая тенденция к понижению просадочности при объемном весе скелета лёссовых пород более 1,4 г/см³. Однако в целом ряде районов лёссовые грунты с более высоким объемным весом скелета также оказались просадочными.

Отсутствие прямой зависимости между объемным весом лёссовых пород и их просадочностью можно объяснить тем, что объемный вес отражает лишь общую пористость (общую плотность упаковки зерен и агрегатов) лёссовых пород и совершенно не дает представления о качественной характеристике пористости. Между тем разные типы пористости играют далеко не одинаковую роль в формировании просадочных свойств рассматриваемого типа грунтов.

Лёссовые породы характеризуются невысокой пластичностью. Число пластичности лёссов обычно колеблется в пределах между 4 и 10, лёссовидных суглинков — между 7 и 18; лишь у лёссовидных глин, развитых сравнительно нешироко, число пластичности выше (до 25–30). Невысокая пластичность большей части лёссовых пород хорошо увязывается с особенностями их химико-минералогического состава и дисперсностью.

Одним из наиболее характерных признаков лёссовых пород является их низкая водопрочность. Она выражается в их быстром размокании и значительной размываемости. Именно эти свойства благоприятствуют развитию оврагов в районах распространения лёссовых толщ.

Между водопрочностью и просадочностью лёссовых пород существует определенная взаимосвязь. Так, лёссовая порода с объемным

весом 1,44–1,45 г/см³ при размокании в воде в течение 15–45 секунд обладала значительной просадочностью, а при размокании в течение 45–120 секунд — гораздо меньшей просадочностью. Если же время размокания было больше 5–10 минут, то порода, как правило, оказывалась непросадочной.

Водопроницаемость лёссовых пород изменяется в широких пределах: коэффициент фильтрации колеблется от 0,001 до 8,5 м/сут.

Лёссовые породы обладают двумя характерными чертами, определяющими особенности инфильтрации воды в их толщах: 1) анизотропностью в распределении водопроницаемости в горизонтальном и вертикальном направлениях; 2) изменением коэффициента фильтрации во времени.

Анизотропность фильтрационной способности зависит от состава и структурности пород. Колебания значения коэффициента фильтрации в лёссовых породах в горизонтальном и вертикальном направлениях составляют 1,5–15 раз, а иногда и больше. Кроме того, установлено изменение коэффициента лёссовых пород во времени, которое в основном объясняется двумя причинами: набуханием глинистой части пород, перекрывающей ход воде, и явлением кольматации.

Сжимаемость лёссовых пород изменяется в широких пределах: величина коэффициента сжатия в интервале нагрузок 1–2 кг/см² колеблется от 0,005 до 0,067 см²/кг. Она теснейшим образом связана с влажностью пород, а также с их структурными особенностями.

Лёссы и лёссовидные грунты, имеющие небольшую естественную влажность, обладают незначительной сжимаемостью; осадка их под нагрузкой очень невелика. Увеличение влажности, а тем более насыщение пород водой резко снижает их сопротивление сжатию.

Сжимаемость лёссовых пород с зернистой мезоструктурой при увеличении влажности до 15–18% возрастает незначительно, и лишь при больших влажностях она резко увеличивается. В лёссовых породах с агрегативной мезоструктурой сжимаемость в большей степени зависит от влажности.

Величина модуля деформации лёссовых пород, характеризующая, как и коэффициент сжатия, деформационные свойства, изменяется от 23 до 520 кг/см². Наиболее высокие значения модуля деформации свойственны породам с влажностью ниже 17–18%. Модуль деформации сильно увлажненных лёссовых пород (с влажностью более 20–25%), как правило, ниже 150 кг/см². У пород в водонасыщенном

состоянии его величина оказывается в большинстве случаев меньше 45–50 кг/см².

Соппротивление сдвигу лёссовых пород определяется их физическим состоянием: в сухом состоянии его величина значительная, при увлажнении пород она сильно снижается. Величина угла внутреннего трения лёссовых пород в зависимости от приложенного нормального давления и влажности изменяется от 5 до 31°, а сцепление — от 0 до 0,42 кг/см². Одной из характерных особенностей лёссовых пород является значительное снижение их сопротивления сдвигу в момент замачивания: угол внутреннего трения уменьшается на 4–8°, величина сцепления также значительно падает.

Условия залегания. Условия залегания лёссовых толщ различны. В зависимости от возраста, происхождения и фациальной принадлежности выделяют:

1. *Эоловые лёссовые породы*, которые пламеобразно перекрывают повышенные элементы рельефа: плато, водоразделы, высокие террасы, разные породы, венчая собой разрез четвертичных отложений. Граница эоловых и подстилающих отложений хорошо выражена. Мощности эоловых толщ различны. Строение их монотонное, выдержанное, чаще неслоистое. Пористость повышенная, макропоры округлые или чечевицеобразные.

2. *Делювиальные лёссовые породы*, которые залегают на склонах, образуют шлейфы, иногда перекрывают надпойменные террасы речных долин, небольшие древние конусы выноса (сухие дельты), заполняют овраги. Они венчают четвертичный разрез. Мощности делювиальных толщ различны. Границы этих толщ с подстилающими лёссовыми породами не всегда можно определить. В делювиальных лёссовых породах присутствуют прослой гумусированного материала, песка, иногда гравия, дресвы и щебня. Выражена слоистость. Пористость различна. Макропоры чаще щелевидной формы.

3. *Пролювиальные лёссовые породы*, формирующие предгорные равнины, предсклоновые пояса, шлейфы, конусы выноса, причем наиболее тонкие по гранулометрическому составу разности отлагаются на периферии этих элементов рельефа, а более грубые — ближе к горам. Мощности толщ пролювия могут достигать 100 м и более. Граница пролювия с подстилающими коренными и аллювиальными породами разного состава обычно выражена. Пролювиальные

толщи неслоисты или сложены мощными пластами, но в подошве толщи часто прослеживается тонкая слоистость, имеются включения, прослой и линзы песка, гравия, гальки, щебня. Пористость пролювиальных лёссовых пород повышенная. Макропоры чаще имеют округлую форму.

4. *Аллювиальные лёссовые породы*, формирующие надпойменные террасы речных долин. Мощность толщ достигает 20 м и более. Граница лёссового аллювия с подстилающими песками, гравием, галечниками, коренными породами выражена, но в подошве аллювиальной толщи имеются линзы и прослой нелёссовых пород. Толщи аллювиальных лёссовых пород слоисты и иногда содержат прослой песка и гравия. Пористость пониженная. Макропоры щелевидные и округлые.

5. *Флювиогляциальные и озерные лёссовые породы*, чаще залегающие по периферии зандровых полей в толщах небольшой мощности, обычно слоистых, с прослоями песка. Переход между этими и подстилающими породами постепенный. Пористость пониженная. Макропоры щелевидные.

6. *Элювиальные лёссовые породы*, развитые на небольших плато, верхних частях пологих склонов на ограниченных площадях, защищенных от денудации и привноса материала. Из этих пород формируются толщи небольшой мощности. Породы неслоисты и постепенно переходят в подстилающие материнские отложения, причем в лёссовом покрове появляется все больше включений каменного лёсса, алевролита, аргиллита, мергеля, известняка и др. Мощности толщ — от долей метра до нескольких метров. Пористость чаще повышенная. Форма макропор различна.

Толщи лёссовых пород могут быть проявлены, т.е. длительно замочены постгенетическими процессами (оврагообразованием, естественной переориентацией поверхностного и подземного стока) либо техногенными воздействиями (на массивах орошения, в местах подтопления грунтовыми водами, на участках застройки и т.п.). Такие породы отличаются от своих генетико-фациальных прообразов меньшей пористостью, сжатием части макропор, иногда повышенной влажностью, появлением линз и прослоев оглеения, горизонтов верховодки и грунтовых вод.

Особенностями строения толщ лёссовых пород, помогающих отличить их от других грунтов, являются наличие вертикальных

канальцев и скрытой тонкой трещиноватости, столбчато-призматическая текстура, присутствие погребенных гумусовых прослоев, рыхлость сложения, т. е. макропористость.

Разработка и области применения лёссовых пород. Разработка месторождений производится преимущественно открытым способом, вне зависимости от размеров перекрывающих пород, мощности залежи. Добыча производится бульдозерами-скреперами, экскаваторами и бурильно-крановыми машинами.

Лёсс является материнской породой черноземных и сероземных почв. Он используется для изготовления кирпича (сырец, саман) и цемента, для отсыпки тела дамб и плотин. Хороший саман прочен, не разбивается при падении с высоты 2 м и не размокает в воде в течение 1–2 суток. После увлажнения лёсс под давлением собственного веса или веса сооружений часто уплотняется, происходят просадки грунта, что может вызывать аварии сооружений.

Применяются лёссовые породы при строительстве самых различных зданий. Особенно они актуальны в жилищном строительстве, строительстве общественных и социальных заведений, таких как школы, детские сады, церкви и промышленные корпуса. Обоженные огнём лёссы становятся прочными, почти как кирпич.

Контрольные вопросы и задания

1. Что вы знаете о цементном сырье?
2. Как производят портландцемент?
3. Какова классификация цементов?
4. Какие существуют природные и технологические типы месторождений известняков?
5. Перечислите промышленные типы месторождений известняков.
6. Что вы можете рассказать о лёссовидных породах?
7. Каков генезис лёссовых пород?
8. Как осуществляется разработка лёссовых пород, и каковы области их применения?

Глава 3

ГЛИНЫ И ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

К глинам принято относить тонкодисперсные горные породы с преобладающим пелитовым (до 1 мкм) размером частиц, сложенные преимущественно различными глинистыми минералами с подчиненным количеством обломков горных пород, кварца, полевых шпатов, амфиболов, пироксенов, слюд и других минералов, а также органического вещества и аутигенных зерен карбонатного, сульфатного, фосфатного состава и др.

Большинство глин являются пластичными, т. е. способными образовывать с водой пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную ему форму и становящееся камнеподобным после обжига. Однако существуют и неразмочающиеся, так называемые сухарные глины, или флинтклей, а также аргиллиты и глинистые сланцы, которые, подобно глинам, обладают тонкодисперсным строением, близким минеральным и химическим составом. Вместе с глинами они объединяются в глинистые породы. Промежуточными образованиями между глинами и карбонатными породами являются мергели, на 50–70 % состоящие из карбонатов.

По размерам слагающих породу частиц преобладающей фракции различают крупно-, средне- и тонкозернистые (коллоидные) глины, с размерами зерен 5–1 мкм, 1–0,2 мкм и менее 0,2 мкм соответственно.

Глинистые минералы, слагающие основную массу породы, представляют собой относительно стабильные водные силикаты алюминия, железа и магния слоистой, слоисто-ленточной и смешанослойной структур, отличающиеся от других силикатов высокой дисперсностью, гидрофильностью, способностью к сорбции и ионному обмену.

В основе их кристаллического строения лежат два типа двумерных структурных элементов: тетраэдрическая кремнекислородная

сетка и октаэдрическая сетка, в углах элементарного октаэдра которой находятся ионы кислорода и гидроксила, а в центре — алюминия, железа или магния. Совокупность таких сеток образует элементарный слой, который может состоять из двух (октаэдрической и тетраэдрической), трех (двух тетраэдрических и одной октаэдрической) и более сеток, соответственно обозначенных 1:1; 2:1 и т. д. (табл. 10).

Таблица 10. Важнейшие глинистые минералы: состав, структура, свойства [7]

Тип структуры	Минеральная группа	Минерал	Плотность (г/см ³)	Удельная поверхность (м ² /г)	Емкость катионного обмена (мг-экв)
Слоистый 1:1	каолинита	Каолинит,	2,60–2,68	8–20	3–15
		диккит,	2,60–2,68	–	–
		накрит,	2,60–2,68	–	–
		галлуазит	2,00–2,56	35–70	5–40
2:1	смектитов	Монтмориллонит,	2,35–2,70	600–800	80–150
		нонтронит,	2,20–2,70	–	110–150
		сапонит,	–	–	–
		бейделлит	–	–	–
2:1	гидрослюд	Вермикулит,	2,40–2,70	70–500	100–150
		иллит,	2,60–3,00	30–180	10–40
		гидробиотит,	–	–	–
		глауконит	2,60–2,96	80	10–40
2:2:1	хлоритов	Хлорит	–	–	–
Слоистоленточный	пальгорскита	Пальгорскит (аттапульгит),	–	150–300	20–30
		сепиолит	2,08–2,36	–	20–30
Смешанослойный	смешанослойная	иллит-монтмориллонит, хлорит-вермикулит, хлорит-иллит, монтмориллонит-хлорит, монтмориллонит-вермикулит			

Все многообразие глин и их свойства определяются составом глинистых минералов, прямо связанным с ним химическим составом, а также размером частиц.

Содержание главных химических компонентов глин варьирует в широких пределах: 30–70 % SiO₂; 10–40 % Al₂O₃; 5–15 % H₂O;

подчиненными компонентами являются TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , SO_3 , CO_2 , P_2O_5 , S, C и др. Помимо химического состава (основной показатель при решении вопроса о пригодности глин в качестве цементного сырья) к числу главнейших свойств, определяющих промышленную ценность глин, относятся их пластичность, связность, вспучиваемость, набухаемость, воздушная усадка, огневая усадка (при обжиге), огнеупорность, спекаемость, адсорбционная способность и гигроскопичность, способность к ионному обмену.

Все эти свойства, определяемые по специально разработанным методикам, позволяют классифицировать глинистое сырье с учетом возможных областей его использования.

Согласно стандартной промышленной классификации России, принятой для глин, они подразделяются следующим образом:

- 1) по химическому составу (содержание Al_2O_3): высокоосновные (более 40%), основные (30–40%), полукислые (15–20%), кислые (до 15%);
- 2) по огнеупорности (температура плавления): огнеупорные (более 1580 °C), тугоплавкие (1350–1580 °C), легкоплавкие (до 1350 °C);
- 3) по цвету черепка, полученного при обжиге: беложгущиеся, светложгущиеся и темножгущиеся.

Несмотря на широкое распространение глинистых пород, некоторые из них являются дефицитным сырьем. Достаточно редки высококачественные глины со специфическими свойствами: палыгорскитовые (аттапульгитовые) глины — фуллерова земля, сепиолитовые и сапонитовые глины, ограниченно развиты высококачественные каолины и щелочные бентониты.

Мировой уровень добычи глинистого сырья составил около 600 млн т, причем на долю каолинов приходилось более 17 млн т, бентонитов — более 7 млн т, аттапульгитовых и сепиолитовых глин — около 2 млн т. Наибольшее количество этого сырья было добыто в США: свыше 50 млн т, включая 7 млн т каолина, 4,5 млн т аттапульгита и сепиолита.

Состав глинистых пород разнообразен. Среди них присутствуют как гипогенные (гидротермальные), так и гипергенные (осадочные, инфильтрационные, остаточные, обломочные и др.) продукты. Особое место занимают инфильтрационные и метаморфизованные глинистые осадки — аргиллиты и глинистые сланцы, в которых гли-

нистые минералы большей частью превращены в слюды и хлориты. Большая часть широко распространенных легкоплавких глин — это продукт осаждения в морских и озерных условиях, а также характеризуется делювиальным и моренным происхождением. Бентонитовые глины в одних случаях являются результатом подводного разложения вулканических туфов, в других — переотложения продуктов выветривания мафических горных пород. Отмечены случаи их образования путем отложения из гидротермальных растворов и метасоматического замещения вулканических пеплов с участием подземных вод.

Выветривание главным образом силикатных пород (гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев и др.) приводило к образованию каолинов, широко развитых среди продуктов древних линейных и площадных кор выветривания. При этом элювиальные залежи принято называть первичными, а переотложенные делювиальные и аллювиальные — вторичными. Каолин гидротермального генезиса помимо каолинита содержит диккит и накрит, ассоциируя с сульфидами цветных металлов и баритом.

В специфических условиях седиментации (озерно-болотных, дельтовых, лагунных, карстовых полостях) за счет размыва и переотложения каолиновых кор выветривания происходило накопление огнеупорных и тугоплавких глин. Их образование могло происходить также в процессе обезжелезивания бокситов с одновременным обогащением кремнеземом.

В качестве глинистого сырья для цементной промышленности помимо наиболее выгодных глинисто-карбонатных пород — мергелей — наиболее существенны месторождения морских легкоплавких глин, глинистых илов, аргиллитов и глинистых сланцев. Все они представляют пластовые линзовидные залежи мощностью в метры — десятки метров и, как правило, имеют широкое по площади распространение (многочисленные четвертичные и более древние месторождения глин Московской, Ленинградской областей и других регионов страны; месторождения глинистых сланцев и аргиллитов Западной Сибири, Дальнего Востока, а также Грузии и Казахстана).

Глины

Общие сведения. В российской классификации полезных ископаемых глины (кроме бентонитовых, палыгорскитовых, огнеупорных, кислотоупорных и каолиновых) отнесены к группе общераспространенных полезных ископаемых. Следовательно, из четырех технологических типов глин, которые обычно рассматриваются, — палыгорскитовые и бентонитовые (общего назначения), огнеупорные и легкоплавкие — только последние относятся к ОРПИ. Однако мы сохраним преемственность описания и дадим характеристику всех типов глинистого сырья.

Палыгорскитовые глины (другие названия — фуллерова земля, сукновальная глина, аттапульгит) — это дисперсные породы с ярко выраженными сорбционными свойствами. Мономинеральные их разновидности представляют собой легкую трепеловидную породу светлого-серого цвета с кремовым или зеленоватым оттенками, легко разламывающаяся на угловатые обломки с шероховатым изломом. При сильном увлажнении они образуют гелевидную массу. Реже встречаются разновидности тонкопластинчатого (фанеровидного) или длинноволокнистого облика.

Палыгорскитовые глины характеризуются гидрофильностью, но не разбухают в воде, для них обычны пептизация и размокание. Лучше диспергируются монтмориллонит-палыгорскитовые разновидности глин, при этом одинаково хорошо как в пресной, так и в соленой воде независимо от концентрации солей и степени обработки их химическими реагентами.

Структура потребления палыгорскитовых глин в России (%):

сельское хозяйство (включая пестициды).....	55;
нефтедобыча и нефтехимия.....	20;
пищевая промышленность.....	15;
буровые растворы.....	10.

Буровые растворы на основе палыгорскитовых глин, солевой и высокоминерализованные, применяются при проходке соленосных отложений.

Основные области использования палыгорскитовых глин в США (%):

поглотители отходов	40;
адсорбенты масел и жиров.....	21;
пестициды, краски, буровые растворы.....	17;
удобрения.....	5;
экспорт.....	17.

Почти половина мировых запасов палыгорскитовых глин приходится на Испанию (только в провинции Касерес запасы составляют 100 млн т). Крупными запасами обладают США, Индия, Сенегал. В странах СНГ запасы палыгорскитовых глин имеются в Узбекистане — 7,9 млн т, Азербайджане — 13,6 млн т, а также на Украине — 11,4 млн т. Запасы Подмосковского бассейна составляют 58 млн т.

Суммарная добыча палыгорскитовых глин составляет 3,2 млн т, большая часть которой сосредоточена в США — около 2 млн т в год.

Бентониты (смектиты, включая группу гончарных глин *ball clay*) — группа различных по происхождению глинистых пород смектитового состава (монтмориллонит, бейделлит, сапонит и др.). Они обычно плотные, жирные на ощупь (мылкие), с оскольчатым или полураковистым изломом, серого цвета с различными оттенками.

Во влажном состоянии бентониты очень пластичные, вязкие, липкие, имеют высокую связующую способность, легко режутся ножом. С водой образуют пластичное тесто, гели и суспензии вплоть до коллоидных растворов. Погруженные в воду бентониты или набухают, увеличиваясь в объеме до 14 раз и сохраняя некоторое время первоначальную форму, или рассыпаются без увеличения объема.

В сухом состоянии бентониты имеют камнеподобный облик, значительную прочность, с трудом режутся ножом, но бывают и рыхлыми, легко распадающимися на мелкие куски и чешуйки.

Общим свойством всех разновидностей бентонитов является высокая гидрофильность. По отношению к воде они бывают набухающими и ненабухающими, что обусловлено составом обменных катионов (находящихся в межслоевых промежутках смектитов). У набухающих бентонитов обменные катионы представлены в основном натрием, у ненабухающих — кальцием и магнием; поэтому первые называют щелочными, а вторые — щелочно-земельными.

Все смектиты обладают ярко выраженной способностью к внутрикристаллическому набуханию, благодаря чему бентониты харак-

теризуются высокими связующими, ионообменными и сорбционными свойствами, а их суспензии — тиксотропией.

В природе среди щелочных встречаются бентониты преимущественно монтмориллонитового, реже кальцит-монтмориллонитового и кристобалит-цеолит-монтмориллонитового минерального типов. Бентониты сапонитового, ферримонтмориллонитового, палыгорскит-монтмориллонитового, гидрослюдисто-бейделлитового и нонтронитового типов обычно щелочно-земельные.

Диапазон применения бентонитов весьма широк — от производства окомкованного минерального сырья и удобрений до косметики и лекарств; от рафинирования нефтепродуктов до изоляции мест захоронения радиоактивных отходов (табл. 11). Наибольшее количество бентонитов используют для приготовления буровых растворов, формовочных смесей литейных форм, адсорбции отходов.

Таблица 11. Основные направления использования бентонитов

Область применения	Щелочные	Щелочноземельные
Окомкование железорудных концентратов	+	–
Наполнители в производстве красок	+	–
Медицина, фармацевтика, косметика	+	–
Буровые растворы	+	+
Литейное производство	+	+
Сельское хозяйство (корма, очистка вин, соков и пр., консервация и упаковка продукции)	+	+
Водонепроницаемые экраны	+	+
Эмульгаторы и стабилизаторы	+	+
Производство вяжущих материалов	+	+
Производство смазочных материалов	+	+
Производство бетона	+	+
Наполнители в производстве бумаги, резины, полимеров и пр.	+	+
Очистка воды	+	+
Очистка продуктов в химическом производстве	+	+
Изоляция токсичных и радиоактивных отходов	+	+
Производство пестицидов	+	+
Производство удобрений	+	+
Наполнители в производстве пластмасс	+	+
Производство глазурей и эмалей	+	+

Производство керамики, в том числе санитарной	+	+
Гончарное производство	+	+
Производство черепицы, лицевого кирпича, блоков, форм	+	+
Производство минеральных волокон, стекла	+	+
Производство катализаторов	+	+
Улучшение свойств почв и биостимуляция	+	+
Поглощение отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных	-	+
Осушение	-	+
Производство керамзита	-	+

В России бентониты применяют главным образом (%):

в черной металлургии (для окомкования железорудных концентратов).....	30;
в литейном производстве (для приготовления формовочных смесей).....	23;
для буровых растворов.....	21;
в производстве керамзита.....	20.

На эти отрасли используют более 90 % производимого и импортируемого бентонита. Остальное количество идет на очистку масел, нефтепродуктов, продуктов химического производства и виноматериалов, производство комбикормов, используется в фарфоро-фаянсовой промышленности, для изготовления электрокерамики и в других отраслях.

За рубежом структура потребления бентонитов несколько иная. В последние годы она изменилась в пользу нетрадиционных направлений. В США бентониты применяют (%):

для буровых растворов.....	23,5;
для поглощения отходов животных.....	18,2;
в литейном производстве.....	16,1;
для окомкования железорудных концентратов... ..	8,6;
для экспорта.....	8,2.

Остальное количество используют как адсорбенты, связующие, катализаторы, водоупоры, осушители. Их применяют для филь-

трации, очистки масел, жиров и воды, в фармацевтике, косметике, в производстве красок, пестицидов, удобрений, цемента, керамической плитки, бумаги, резины.

Большое значение бентониты приобрели в природоохранных мероприятиях, особенно для обеззараживания сточных вод, извлечения радионуклидов, изоляции мест захоронения радиоактивных отходов и прочих вредных веществ.

В мировой практике различают пять основных типов бентонитов:

- натриевый бентонит природный;
- кальциевый бентонит природный;
- натриевый бентонит, полученный из кальциевого путем обработки последнего натрийсодержащими реагентами;
- кислотно-активированный бентонит (обработанный кислотой кальциевый бентонит);
- органофильный бентонит, в котором обменные катионы замещены органическими соединениями.

Вся бентопродукция поступает потребителям и в продажу в виде порошков, гранул, хлопьев, паст, суспензий.

В странах СНГ принята следующая градация бентонитов:

- а) щелочные;
- б) щелочно-земельные;
- в) щелочно-щелочно-земельные;
- г) белые или беложгущиеся (маложелезистые, щелочные и щелочно-земельные);
- д) нонтронитовые;
- е) активированные;
- ж) бентон (гидрофобный бентонит);
- з) бентокол (наиболее тонкая фракция после отмучивания).

Мировые запасы бентонитов превышают 4 млрд т. Наибольшими запасами обладают Китай (2400 млн т), США (800 млн т), Турция (400 млн т). В России сосредоточено 124 млн т. Значительные запасы находятся в ряде стран СНГ, Европы, Азии, Африки, Южной Америки, а также в Австралии.

Добыча бентонитовых глин в мире оценивается в 16 млн т, крупнейшие производители бентонитовой продукции сосредоточены в США и Китае (почти половина всей добычи этого сырья — по 4 млн т).

Легкоплавкие глины — горные породы, огнеупорность которых, т. е. способность противодействовать без существенного размягчения воздействию высоких температур, не превышает 1350 °С. Это наиболее важный вид глин с точки зрения потребления, мировая добыча таких глин достигает 500 млн т в год.

В зависимости от степени уплотнения и цементированности легкоплавкое глинистое сырье подразделяется:

- а) на глины и суглинки, обладающие пластичностью;
- б) аргиллиты — камнеподобные породы с малым содержанием разбухающих в воде минералов, но способные к диспергации в солевых растворах;
- в) глинистые сланцы — плотные сланцеватые породы, состоящие из слабонабухающих глинистых минералов, а также кварца, слюд, полевых шпатов, иногда карбонатов.

Важнейшим свойством пластичных суглинков и большинства глин служит спекаемость — способность частично расплавляться при температурах ниже температуры огнеупорности, а после охлаждения давать плотную массу (черепок) с пористостью, обуславливающей водопоглощение не более 8 %.

Некоторые глины, аргиллиты и сланцы обладают вспучиваемостью — способностью под кратковременным воздействием температур около 1200–1250 °С увеличиваться в объеме и образовывать частицы с пористым ядром и стекловатой оплавленной поверхностью.

Легкоплавкость глинистых масс, сравнительно низкие температуры спекания керамического черепка и вспучиваемость обусловлены значительным содержанием гидрослюд, монтмориллонита и плавней (оксидов железа, карбонатов). Относительная доля этих компонентов составляет 15–60 %, что отражает их полиминеральность и обуславливает большую изменчивость технологических свойств.

Легкоплавкие глины используют главным образом в производстве стеновых строительных материалов (керамического кирпича и камней), легких керамических заполнителей для бетона (гравий, щебень, песок), портландцемента, керамических труб и плитки.

Огнеупорные глины — глинистые породы, температура плавления которых составляет 1580 °С и выше. В эту группу включены тугоплавкие глины с температурой плавления в диапазоне 1350–1580 °С.

Огнеупорные глины — широко распространенный вид минерального сырья. Страны СНГ обладают запасами таких глин, измеряемыми миллиардами тонн. Более половины запасов сосредоточено в России, около трети — на Украине. На территории Казахстана, Белоруссии, Грузии, Азербайджана, Армении, Таджикистана разведаны сравнительно небольшие запасы огнеупорных глин.

Огнеупорные глины используются для производства огнеупорных изделий, применяемых в черной металлургии (футеровка вагранок, доменных печей, кауперов), в машиностроении, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности.

Добыча огнеупорных и каолиновых глин оценивается в 34 млн т, она налажена в 60 странах мира. Ведущие страны по добыче этого сырья: США (18%), Индия (14%), Германия (12%), Китай (10%), Чехия (10%).

Промышленные типы месторождений глин выделены по преимущественному их использованию (табл. 12): общего назначения (палыгорскиты и бентониты), легкоплавкие и огнеупорные.

Месторождения палыгорскитовых глин по величине запасов подразделяют на крупные — более 10 млн т, средние — 3–10 млн т, мелкие — менее 3 млн т. Наиболее крупными запасами обладают месторождения гидрослюдисто-монтмориллонит-палыгорскитового минерального типа.

Среди месторождений бентонитов по запасам выделяют: крупные — более 20 млн т, средние — 10–20 млн т, мелкие — менее 10 млн т. Наиболее крупными размерами и наличием высококачественного сырья отличаются месторождения гидротермально-метасоматического и вулканогенно-осадочного (морского) генетических типов.

Наиболее крупные месторождения легкоплавких глин относятся к морским генетическим типам: осадочному и вулканогенно-осадочному, наиболее крупные месторождения огнеупорных глин — континентальным типам: озерному и озерно-болотному. Месторождения легкоплавких и огнеупорных глин по величине запасов делятся на крупные — более 20 млн т, средние — 5–20 млн т, мелкие — менее 5 млн т.

Технологические типы глин. Минеральный состав глин определяет их технологические свойства. Так, палыгорскитовые глины лучше диспергируются в присутствии монтмориллонита. В то же

время монтмориллонит, имеющий тенденцию к разбуханию в воде, заглушает фильтрационную способность палыгорскитовых глин. Наличие гидрослюдистых минералов в палыгорскитовой глине обычно не оказывает заметного влияния на ее качество. Вредными примесями являются гипс, карбонаты, кварц. Например, содержание в палыгорскитовой глине более 15 % CaO и 2–3 % SO₃ снижает стабильность бурового раствора, а кварц служит не только балластом, но и абразивом.

Природные типы бентонитов различаются по минеральному составу и характерным примесям, а также по составу обменного комплекса. Основным минералом бентонитов — монтмориллонит. В качестве второстепенных глинистых минералов встречаются гидрослюды, каолинит, хлорит, палыгорскит. Они в определенной мере влияют на свойства бентонитов, уменьшая (при достаточном количестве) связывающую способность, тиксотропию бентонитовых суспензий, адсорбционную активность и т. п. Неглинистые примеси также влияют на свойства и качество бентонитов. В частности, примесь цеолитов и кристобалита усиливает их адсорбционную активность. Кварц, сульфиды тяжелых металлов, полевые шпаты, кальцит, доломит и некоторые другие минералы снижают качество бентонитов.

Технологические типы бентонитов (табл. 13) выделяют по соотношению в них катионного состава:

щелочной..... Na⁺ > Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺;
 щелочно-земельный..... Na⁺ < Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺;
 щелочно-щелочно-земельный.... Na⁺ ≤ Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺.

В легкоплавких глинах фракция менее 0,001 мм сформирована почти исключительно глинистыми минералами, определяющими технологические свойства глин, аргиллитов, сланцев. Во фракции 0,005–0,001 мм глинистые минералы образуют микроагрегатные неразделимые сростки, называемые смешанослойными образованиями. Наряду с ними здесь могут присутствовать диспергированные неглинистые минералы. Во фракции 0,01–0,005 мм доля агрегатов глинистых минералов снижена, а преобладают неглинистые минералы. Более грубые фракции — пылеватая (0,06–0,01 мм) и песчаная (от 0,06 до 2 мм) — сложены обломками кварца, полевых шпатов и включениями кальцита, гипса, пирита, оксидов железа.

Таблица 12. Промышленные типы месторождений глин [1]

Тип и подтип сырья	Генетический тип	Минеральный тип	Парагенетическая ассоциация пород
Глины общего			
Палыгорскитовый	Хемогенно-осадочный (морской и озерный)	Гидрослюдисто-монтмориллонит-палыгорскитовый	Пестроцветные глины, мергели, доломиты, известняки, песчано-глинистые породы, гипсы, кремнистые конкреции
		Монтмориллонит-палыгорскитовый	
		Гидрослюдисто-палыгорскитовый	
Бентонитовый	Гидротермально-метасоматический	Монтмориллонитовый	Трахиандезиты, андезиты, туфы, базальтовые и андезитовые порфириты, мергели
		Монтмориллонитовый маложелезистый	
		Сапонитовый	
	Вулканогенно-осадочный (морской)	Монтмориллонитовый	Высококремнеземистые глинистые сланцеподобные породы
		Монтмориллонитовый маложелезистый	Известняки, мергели, глины
		Кристаллит-цеолит-монтмориллонитовый	Мергели
		Цеолит-монтмориллонитовый маложелезистый	Известняки, туфы, туфобрекчии, туфопесчаники

Среднее содержание главного минерала, %	Параметры залежей			Запасы
	Форма	Площадь, м ²	Мощность, м	
назначения				
≥ 50	Пластовая, линзообразная	От сотен до первых тысяч	До 5	Крупные
70				Средние-крупные
≤ 50				Средние
>> 60	Линзовидная, неправильная	Сотни	До 100	Крупные
>> 60	Пластообразная	Сотни	До десятков	Мелкие
>> 60	Линзовидная	Десятки	Единицы	Мелкие
>> 60	Пластообразная	До первых сотен	Единицы	Крупные
>> 60	Пластообразная	До первых сотен	До десятков	Средние
< 60	Пластообразная	До первых сотен	Десятки	Крупные
60	Пластообразная	До первых сотен	Десятки	Крупные

Все они даже при преобладании грубых фракций являются минералами-примесями, влияющими на технологические свойства, но не определяющими их.

Таблица 13. Промышленная классификация технологических типов бентонитов [1]

Показатель	Щелочной	Щелочно-земельный	Беложгущийся
Содержание смектитов (%)	Более 60	40–60 и более	90 и более
Емкость обменного комплекса (мг-экв/100 г сухой породы)	70–90	45–75 и более	70–90
Содержание (мг-экв/100 г) обменного:			
Na	45–60	1–12	1–60
Ca	13–18	18–69	13–69
Mg	10–12	11–34	10–34
Содержание (%):			
SiO ₂	55–62	55–68	64–71
Fe ₂ O ₃	1,2–4,6	1,5–7,1	0,7–1,7
FeO	1–2	0,5–2,5	~
CaO	0,6–3,6	1,5–4,2	1,2–1,6
MgO	2–4	2–4,6	1,6–4,6
K ₂ O	0,5–1,6	0,2–2	0,2–1,8
Na ₂ O	1,6–2,4	0,1–1,3	0,4–1,2
SO ₃	0,3–1	0–0,6	~
ППП	5,8–6,1	6,3–9,5	5–9
SiO ₂ аморфного	13–45	1,2–7,5	~
Содержание фракций менее 0,001 мм (%)	58–75	37–82	~
в том числе менее 0,0001 мм	16–25	3–30	~
Число пластичности	70–150	18–42	30 и более
Набухаемость (раз)	10–15	1,7–4,4	Разная
Коллоидальность (%)	80–100	25–46	Разная
Содержание примесей (%): гидрослюды	5	10–20	Кристаллит, цеолиты ~
каолинита	5	5–15	Не обнаружено
смешанослойных минералов	5	5–20	–
Белизна (%)	–	–	81–86

На технологические свойства глинистого сырья и качество получаемой из него продукции — керамических кирпича и камней — одновременно влияет ряд факторов. Основной из них — уровень содержания монтмориллонита. С увеличением его содержания улучшаются условия формовки кирпича-сырца и обжига, но ухудшаются сушильные свойства. Содержание кварца оказывает противоположное воздействие. Полевошпатовые пески, подобно кварцевым, улучшают сушильные свойства, но в отличие от них не ухудшают обжиговых свойств. Оксиды железа улучшают условия обжига кирпича-сырца, но при их избытке снижают прочность изделий. Вредное воздействие на качество керамических камней и кирпича оказывают соединения серы и карбонаты кальция и магния. Последние приводят к образованию «дутиков» и трещин, но при умеренных количествах не влияют отрицательно на качество продукции и снижают температуру обжига.

Качество кирпичных глин оценивается в основном по их химическому составу.

Допустимые содержания (массовая доля) химических компонентов в глинистом сырье для производства керамических камней и кирпича (%):

SiO ₂	не более 85 (в том числе свободный кварц — 60);
CaO+MgO.....	20;
K ₂ O+Na ₂ O.....	7;
соединения серы в пересчете на SO ₃	2 (в том числе сульфидная сера — 0,9);
FeO+Fe ₂ O ₃	14;
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	не менее 7.

Для глинистого сырья, из которого получают *керамзит*, определяющим фактором служит такое технологическое свойство, как вспучиваемость. Оптимальными условиями, обеспечивающими высокую вспучиваемость, являются содержания (%):

монтмориллонита.....	27–40;
каолинита.....	до 15;
кварца.....	до 30;
оксидов железа.....	не менее 3;
карбонатов.....	0.

Помимо этого, регламентируются такие показатели, как температурный интервал вспучивания (не менее 30 °С), коэффициент вспучивания, отражающий отношение объемов обожженного и необожженного глинистого сырья (не менее 2,5), число пластичности (не менее 10).

Слабовспучивающееся глинистое сырье, неэффективное для получения керамзита, используют в производстве *аглопорита*. Пригодность сырья в этом случае регламентируется следующими показателями (%):

SiO ₂	55–88;
Al ₂ O ₃	8–20;
Fe ₂ O ₃	до 8;
CaO+MgO.....	до 2;
пластичность сырья.....	2–18;
содержание глинистых частиц размером менее 1 мкм...	10–35.

Огнеупорные глины относятся к высокоосновному сырью с содержанием глинозема более 38 %, но в некоторых разностях глин уровень глинозема понижен до 15–20 %. Содержание кремнезема в них аналогично каолинитовому — около 45–46 %. Оксиды железа и сульфиды находятся в незначительных количествах. Вредными примесями являются кальцит, гипс, сидерит, соединения марганца и титана. Тугоплавкие разновидности глин содержат 18–24, иногда до 32 % глинозема, 50–60 % кремнезема и до 10–12 % оксидов железа. С увеличением содержания глинозема в составе глин при ограниченном содержании оксидов железа повышается их огнеупорность. Свободный кремнезем (в виде песка) уменьшает связующую способность и пластичность глин. Присутствие оксидов железа, магния, кальция и щелочей понижает их огнеупорность. Вредное влияние на качество изделий оказывает наличие в глинах соединений серы.

Разработка месторождений. Месторождения глин разрабатывают преимущественно открытым способом. Благодаря этому глины длительное время подвергаются воздействию атмосферных агентов, становятся рыхлыми и легче отделяются от горной массы. Глубина карьеров достигает 50 м. Добытая глина доставляется на переработку преимущественно железнодорожным транспортом. Потери полезного ископаемого достигают 5 %, разубоживание незначительное.

Разработка некоторых типов глин вызывает трудности вследствие их набухаемости и способности образовывать с водой гели, поэтому их разрабатывают только в сухое время года. Грунтовые и подземные воды создают трудности в разработке глинистого сырья, поскольку их добыча требует обязательного проведения комплекса дренажных работ.

Подземная разработка месторождений изредка применяется для огнеупорных и слабонабухающих щелочноземельных бентонитов, поскольку сильное набухание глин приводит к разрушению крепления и другим осложнениям ведения горных работ. Основные показатели добычи бентонитов и палыгорскитовых глин приведены в таблице 14.

Таблица 14. Основные показатели добычи бентонитов и палыгорскитовых глин [1]

Показатель	Бентониты		Палыгорскитовые глины
	щелочные	щелочноземельные	
Характеристика залежей:			
глубина залегания (м)	До 100	До 50	До 50
мощность (м)	До 110	0,3–40	2–8
форма	Пластообразная	Пластовая, линзовидная	Пластовая, линзовидная
Вид горных работ	Открытые	Открытые, редко подземные	Открытые
Глубина горных работ (м)	До 50	До 40	До 30
Коэффициент вскрыши (м/м)	От 1:15 до 10:1	От 1:10 до 5:1	От 1:1 до 2:1
Эксплуатационные потери (%)	4–12	2–9 (20 для подземных работ)	–
Использование вскрышных пород (%)	Часто не используют	Иногда до 100	До 70

Промышленная переработка сырья. Глины относятся к минеральному сырью, которое потребляется без обогащения. Глубокая подготовка глин требуется только при производстве керамических изоляторов, автосвечей, лекарственных и парфюмерных препара-

тов, где используется тонкодисперсная фракция, получаемая отмучиванием.

Пальгорскитовые глины и бентониты перерабатываются в порошки, гранулы, суспензии, пасты. Требования к качеству порошков для приготовления буровых растворов приведены в таблице 15, основные показатели переработки бентонитов — в таблице 16.

Таблица 15. Основные требования к качеству порошков для буровых растворов [1]

Показатель качества	Монтморилло-нитовый, пальгорскитовый для бурения глубоких скважин	Пальгорскитовый для бурения в осложненных условиях	Монтморилло-нитовый, пальгорскитовый для бурения неглубоких скважин
Выход раствора с вязкостью 20 МПа·с (м ³ /т) не менее	20/16	16/12	12/5
Массовая доля влаги (%) не более	10/10	16/25	10/10
Мокрый ситовой анализ:			
остаток на сите с сеткой 0,071 мм (%) не более	10/10	–	10/10
	10/10	–	10/10
остаток на сите с сеткой 0,2 мм (%) не более	–	10/10	–
	–	10/10	–
Содержание свободной соды (г/100 г)	<u>1,0–5,0</u> 0,5–5,0	–	<u>0,5–5,0</u> 0,5–5,0
Массовая доля MgO (%) не более	–	2,5/2,5	–

Примечание: в числителе — требования к высшим сортам, в знаменателе — к низшим.

Принципиальная схема технологии подготовки бентопорошка включает дробление или резку в зависимости от прочности и влажности сырого бентонита, сушку, размалывание, фракционирование по крупности и упаковку готовой продукции. После отсева более крупная фракция возвращается для доизмельчения.

При производстве гранулированного бентонита после сушки производят гранулирование, далее фракционирование и упаковку.

Мелкие гранулы получают при высушивании бентонитовой суспензии путем распыления в вакууме.

Таблица 16. Основные показатели переработки бентонитов [1]

Показатель	Технологический тип бентонитов	
	щелочной	щелочноземельный
Выход порошка (%)	70–77	70–77
Крупность помола (мм)	0,074–0	0,074–0
Влажность (%): бентонита	30–40	30–40
порошка	5–15	2–12

При производстве суспензий и паст бентонит замачивают, добавляя воду до требуемой концентрации и, тщательно перемешивая, приготавливают суспензию, которая после гомогенизации и отделения посторонних примесей является готовой продукцией. Пасты готовят из той же суспензии путем сгущения до требуемой консистенции.

При получении натриевого бентонита из щелочно-земельного сырья для повышения связующих, тиксотропных и других свойств на стадии дробления (резки) в бентонит вводят натрийсодержащие препараты (обычно кальцинированную соду), добавляют воду и производят пластифицирование. Далее процесс осуществляют по обычной схеме.

Для повышения сорбционной активности щелочноземельного бентонита его суспензию подвергают обработке серной кислотой и нагревают до 95 °С в течение 6–10 часов, отмывают от излишней кислоты, осаждают твердую фазу, которую сушат в распылительной сушилке, затем фракционируют гранулы, доизмельчают крупные фракции и упаковывают готовую продукцию.

По сходной схеме получают *органофильный бентонит* (бентон). В качестве исходного продукта используют щелочной бентонит, а вместо кислоты в суспензию вводят гидрофобизатор в виде аммониевой кислоты. После сушки полученный продукт измельчают и фракционируют.

Глинопорошки для приготовления буровых растворов регламентируются только по выходу бурового раствора, который в зависимости от сорта порошка должен быть не менее 5–16 м³/т.

Бентониты, применяемые для окомкования, имеют реологический показатель не менее 16, а *активированные бентониты* для очистки растительных, пищевых и нефтяных масел имеют минимальный показатель отбеливающей способности 50 %.

Легкоплавкие глины служат для производства керамических изделий, облицовочной плитки, керамзита, аглопорита.

Производство керамических изделий включает следующие основные операции: подготовку сырья и обогащающих добавок, шихтовку (составление и обработка керамической массы), формование сырца, его сушку и обжиг. Керамические изделия готовят двумя способами — пластическим формованием (рис. 3) и полусухим прессованием (рис. 4).

Способ пластического формования предусматривает в процессе переработки исходных материалов получение пластической глины-



Рис. 3. Схемы переработки сырья при пластической схеме формования изделий [1]

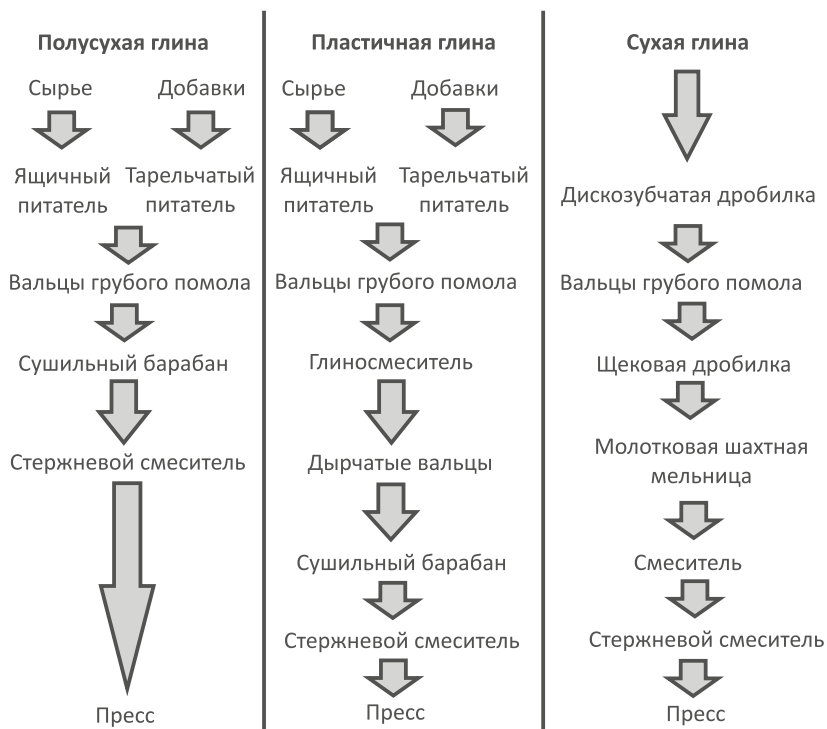


Рис. 4. Схемы подготовки пресс-порошков из глинистого сырья [1]

стой массы обычно с влажностью 18–23 %. Этим способом получают более 90 % кирпичной продукции, весь объем черепицы и дренажных труб. Подготовка сырья при этом способе заключается в разрушении текстуры глины, гомогенизации глиномассы и улучшении ее формовочных свойств.

Способ полусухого прессования предусматривает формирование сырца путем штамповки из однородной смеси порошков глины и добавок с влажностью 8–14 %. Он применяется при изготовлении облицовочной плитки и в кирпичном производстве в случаях неудовлетворительных сушильных свойств сырья, не позволяющих получить качественную продукцию способом пластического формования. Подготовка глинопорошка для полусухого прессования может осуществляться сушильно-помольным и шликерным способами.

При сушильно-помольном способе глину с карьера подвергают последовательно грубому дроблению на дезинтеграторных вальцах, сушке до 9–11 % в прямоточных сушильных барабанах, тонкому помолу на корзинчатых дезинтеграторах, просеиванию на барабанных грохотах или ситах (струнных, качающихся, вибрационных), увлажнению до формовочной влажности водой в глиномешалках или паром в специальных аппаратах.

При более прогрессивном и поддающемся полной механизации шликерном способе подготовки пресс-порошка глину распускают в глиноболтушках горячей водой в шликер (суспензию) с водосодержанием 40–45 %. Шликер после камнеотделения на дуговых ситах сливается в шламобассейны, из которых он подается в распылительную сушилку, откуда порошок формовочной влажности, пройдя через контрольное сито, поступает в расходные бункера. В процессе формовки керамические изделия прессуются при высоких удельных давлениях 10–25 МПа.

При производстве облицовочной плитки глиномассы подготавливаются исключительно шликерным способом. Плитки формуруются методом полусухого прессования или шликерного литья на поддонах. Прессованные плитки глазуруются аналогично лицевому кирпичу, а на литые плитки глазурь наносится в процессе отливки. Обжиг плиток осуществляется циклически в многоканальных муфельных печах и непрерывно в щелевых печах с роликовым или ленточно-сетчатым подом длиной 17–26 м.

Требования к качеству легкоплавких глин для производства различных изделий приводятся в таблице 17.

В производстве керамзита из пластичного глинистого сырья термической обработке предшествуют: камневыведение, продавливание увлажненной глины через валок тонкого помола, механическое перемешивание с введением облагораживающих добавок, гранулирование глиномассы и подсушивание гранул. Непластичное сырье (аргиллиты, сланцы) подвергается дроблению и при необходимости орошению жидкими добавками. Термообработка как гранулированного, так и дробленого материала производится в одно- или двухбарабанных печах. Последующая обработка керамзита заключается в классификации по размерам частиц, а иногда и дроблении для получения керамзитового песка. Керамзитовый песок производится также и в печах кипящего слоя. Для обжига слабо- и средневспучиваю-

щегося глинистого сырья, которое больше подходит для производства аглопорита, используются печи со спекательными решетками.

Таблица 17. Требования к качеству сырья для производства кирпича, керамических камней, дренажных труб и черепицы [1]

Показатель	Кирпич и керамические камни	Дренажные трубы	Лицевой кирпич и черепица
Массовая доля (%) не более:	Не нормируется		75
SiO ₂	10	–	10
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	10	10	10
Fe ₂ O ₃			
Остатки на сите (мм):			
0,5	0,3	0,3	0,3
1	0,1	0,1	0,1
2	0,03	0,03	Не допускается
5	0,02	0,02	Не допускается
Число пластичности, не менее	7	10	10

В производстве аглопорита из пластичного глинистого сырья в состав шихты кроме него входят топливо (каменный уголь — до 10 %, уголь + костра или опилки — до 15 %) и возврат недожженного аглопорита. В процессе шихтовки измельченная на дезинтеграторных вальцах глина, дробленый и просеянный уголь (фракция 3 мм), костра, опилки и недожог (фракция 10 мм) перемешиваются в двухвалных глиномешалках, где шихта увлажняется с пластифицирующими добавками. Затем зашихтованная глинотмасса гранулируется с образованием гранул диаметром менее 7 мм. Непластичное минеральное сырье, обычно представленное отходами угледобычи, дробится до фракций не крупнее 5 мм, смешивается с недожогом, а при избыточном содержании угля и с грубомолотой глиной (до 50 %).

Спекание шихты в обоих случаях производится на ленточных агломерационных машинах. После выгорания топлива при агломерации вспученный и спекшийся корж опрокидывается на решетку с раскалывающим устройством. По мере остывания куски спекшейся пористой массы отсеиваются от недожога, дробятся и классифицируются по фракциям.

Требования к качеству изделий из легкоплавких глин регламентируются многочисленными стандартами и другими нормативными документами. На огнеупорные глины единых стандартов и технических условий нет. Они приняты для глин отдельных разрабатываемых месторождений. Окончательно судят о пригодности сырья для производства определенного вида изделий после проведения технологических испытаний с учетом результатов исследований качества готовой продукции.

Испытание качества сырья. На поисковой стадии геологоразведочных работ прогноз качества глин основывается на результатах изучения их минерального и элементного составов, состава и емкости обменного комплекса, кристаллохимических особенностей породообразующих минералов, их генетической природы, содержания вредных и инертных примесей. Наиболее информативными и оперативными методами исследования на этой стадии являются рентгеновский фазовый анализ глинистых минералов, определение химическим путем содержания кварца, емкости и состава обменного комплекса. На этой основе устанавливают вещественный состав глины, степень ее чистоты от примесей, ориентировочную долю породообразующего смектита, палыгорскита или других минералов. Полученная информация позволяет прогнозировать ориентировочные технологические свойства глин и направления их возможного использования.

На оценочной стадии производят лабораторно-технологические испытания глин на групповых или укрупненных пробах сырья, уточняя качество и области применения.

В процессе разведки месторождения проводят полузаводские технологические испытания сырья, определяют технологию его переработки и области применения.

Все пробы глинистых пород, идущих для производства цемента, керамических изделий, керамзита, огнеупоров и формовочного сырья, подвергаются механическому анализу с установлением степени их засоренности обломочным материалом, а также с определением состава и размеров крупных включений.

Для бентонитовых глин, используемых в качестве адсорбентов или для производства окатышей, определяются набухаемость, обменная емкость, содержание водорастворимых солей.

Пригодность глинистых пород для производства огнеупоров и керамических изделий всех видов определяется по данным кера-

мических испытаний. Возможность использования глинистых пород устанавливаются:

- для *огнеупорной промышленности* — по огнеупорности и водопоглощению образцов, обожженных при контрольной температуре, спекаемости, связующей способности;
- для *производства керамических изделий* — по дисперсности, пластичности, механической прочности в воздушно-сухом состоянии, температуре спекания;
- для *керамзита* — по пластичности, температуре вспучивания;
- для *приготовления кирпича, черепицы и т. д.* — по пластичности, коэффициенту чувствительности к сушке, при этом должны быть определены полное водосодержание, коэффициент чувствительности к сушке, воздушная усадка.

Для огнеупорного сырья изготавливаются пробные керамические массы, устанавливается температура спекания, проводится обжиг на разных температурах, на обожженных образцах определяются водопоглощение, полная усадка, временное сопротивление сжатию и изгибу, пластичность, связность, зерновой состав.

Результаты лабораторных исследований, как правило, проверяются в полупромышленных условиях. Проверке и уточнению подлежит оптимальная технологическая схема подготовки и производства готовых изделий.

Для бентонитовых, огнеупорных глин и керамзитового сырья результаты лабораторных исследований проверяются в промышленных условиях.

Суглинки

Общие сведения. **Суглинок** — один из наиболее распространенных типов грунта в Центральной России. Суглинки характерны для платформенных районов и образуются в результате переотложения продуктов выветривания материнских пород. Суглинок представляет собой рыхлые молодые континентальные осадочные горные породы, состоящие из частиц менее 0,01 мм, составляющих примерно 30–50 %, и обломочного материала крупнее 0,01 мм, составляющего 70–50 %. В суглинках обычно присутствует около 10–30 % глинистых частиц размером менее 0,005 мм, которые и обуславливают основные их физико-технические показатели. За характерный признак суглинков обычно принимается изменение числа пластичности

в пределах от 7 до 17. В сухом состоянии довольно рассыпчатый, этот грунт при намокании становится очень вязким, а при замерзании начинает пучиться.

В зависимости от содержания песчаных зерен соответствующего размера и пылеватых частиц суглинки подразделяют на следующие виды: грубопесчаные, мелкопесчаные, пылеватые.

По генезису суглинки делятся на три разновидности: валунный, лёссовидный и покровный.

1. Валунный суглинок содержит в своей толще валуны — окатанные обломки горной породы (10 см — 3 м). В суглинке более распространены мелкие валуны.
2. Лёссовидный суглинок — рыхлые породы различного происхождения, похожие на лёсс (неслоистая тонкозернистая и рыхлая осадочная горная порода).
3. Покровный суглинок — покрывает рельеф в области древнего материкового оледенения и в приледниковой полосе.

Области применения. *Кирпично-черепичное сырье* — главная область применения суглинков. Они используются как сырье для производства кирпича, черепицы, реже — керамической плитки. Суглинки для изготовления кирпича в зависимости от их качества применяют в чистом виде или в смеси с добавками. В качестве добавок берут песок, глины и суглинки других слоев или месторождений, а также опилки, торф или иные примеси, выгорающие при обжиге кирпича.

Распределение запасов кирпично-черепичного сырья по его возможным компонентам (глинам, суглинкам, пескам-отощителям) представлено на рисунке 5.

Для производства кирпича и черепицы используются легкоплавкие глинистые породы (температура обжига ~ 1100 °С) с широким содержанием тонкодисперсной фракции (с крупностью частиц менее 0,001 мм), необходимой пластичностью (число пластичности не менее 7) и хорошей связующей способностью. Согласно требованиям ГОСТ 26594–85, содержание в глинистой породе тонкодисперсной фракции должно быть более 15 %, фракций менее 10 мкм — более 30 %, а доля крупнозернистых включений размером более 0,5 мм не должна превышать 5 %.

Содержание химических составляющих по массе должно быть следующим (%):

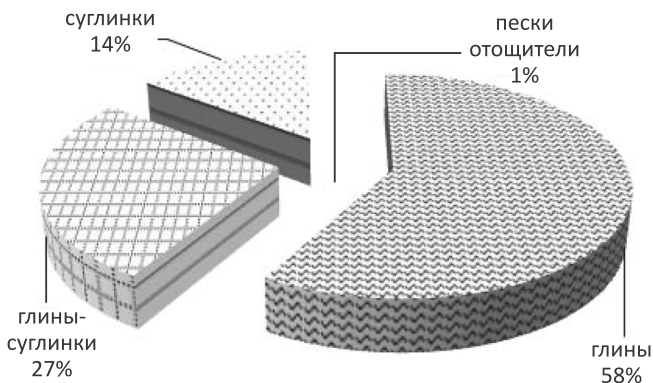


Рис. 5. Структура российских запасов кирпично-черепичного сырья по видам полезного ископаемого по состоянию на 2007 год

SiO_2 не более 85;
 сумма оксидов алюминия и титана ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$)..... не менее 7;
 оксидов кальция (CaO) и магния (MgO) суммарно... не более 20;
 соединений серы в пересчете на SO_3 не более 2;
 сумма оксидов железа ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$)..... не более 14;
 сумма оксидов калия и натрия ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)..... не более 7.

Кроме того, суглинки часто применяются *при строительстве* для создания основания фундамента. В этом случае грунтовые воды должны находиться на большой глубине, чтобы не воздействовать на глинистую почву, которая становится эластичной при взаимодействии с влагой. Легкий песчанистый тугопластичный суглинок (ГОСТ 25100–95) пригоден для отсыпки землеполотна автомобильных дорог и других насыпей, сооружений в различных типах местности по характеру и степени увлажнения. Также при строительстве суглинок используется для получения термиза — теплоизоляционного материала на основе гашеной извести, опилок, цемента, суглинка. Применяется он в виде плит или монолита для утепления стен и кровли.

В *сельском хозяйстве* используется лёссовидный суглинок как добавка в почву в качестве фиксатора гумуса или как альтернатива чернозему, ведь последний по происхождению образован из лёссовидных суглинков. Большое содержание гумуса в этом виде грунта позволяет существенно увеличить плодородие почвы.

Физико-механические свойства суглинков. ГОСТ 25100–95 описывает суглинок как осадочную дисперсную горную породу, состоящую из глинистых, песчаных и пылеватых частиц, с числом пластичности $I_p = 7–17$.

В зависимости от показателя пластичности (I_L) суглинки подразделяются:

на твердые.....	$I_L < 0$;
полутвердые.....	$0 \leq I_L \leq 0,25$;
тугопластичные.....	$0,25 < I_L \leq 0,5$;
мягкопластичные.....	$0,5 < I_L \leq 0,75$;
текучепластичные.....	$0,75 < I_L \leq 1$;
текучие.....	$1 < I_L$.

В зависимости от гранулометрического состава суглинки подразделяют на: легкие песчанистые, легкие пылеватые, тяжелые песчанистые, тяжелые пылеватые.

Плотность суглинка при естественной влажности 14–19 % составляет от 1500 до 1600 кг/м³. Коэффициент разрыхления изменяется в пределах от 1,2 до 1,3. Суглинок с числом пластичности 7–12 называют легким, а с числом пластичности свыше 12 — тяжелым.

Промышленные типы месторождений. Месторождения суглинков известны в отложениях различного возраста — от кембрия до современных включительно. Размещения месторождений кирпично-черепичного сырья большей частью приближены к водотокам: к новым и старым руслам рек. В зависимости от условий образования выделяют суглинки современных аллювиальных отложений, делювиальных элювиально-делювиальных четвертичных отложений, распространенных по берегам рек, склонам водораздельных массивов и речных долин оврагов, прорезающих эти склоны.

Разработку месторождений суглинка производят открытым способом. При небольших производствах разработку суглинка производят вручную, а при больших часто применяют экскаваторы и механические лопаты, что также зависит от свойства, характера залегания и т. д. Разработку очень плотных залежей суглинка производят взрывным способом.

На разработке глины получили распространение одноковшовые и многоковшовые экскаваторы. При некаменистых, но очень плотных суглинках применяют экскаваторы с определенно направлен-

ными ковшовыми цепями. Эти машины имеют более сильные двигатели, но изнашиваются скорее. Производительность экскаватора зависит от характера суглинка, глубины его залегания, типа экскаватора, мощности двигателя и составляет от 15 до 60 м³/час. Доставка суглинка на завод производится в опрокидывающихся вагонетках.

Запасы и месторождения сырья для производства керамического кирпича. Керамический кирпич производится из кирпичных глин и суглинков, которые распространены практически повсеместно и добываются во всех регионах России. Общее число их месторождений — около 3 тыс., эксплуатируемых — около 1,5 тыс. Запасы кирпичного сырья по промышленным категориям примерно равны 5 млрд м³, по категории С₂ — 1,6 млрд м³, ежегодная добыча составляет 16–18 млн м³. В Центральном федеральном округе существует всего три месторождения глины, но достаточно много месторождений суглинков (табл. 18).

Таблица 18. Месторождения сырья для производства керамического кирпича по регионам Российской Федерации, их количество и запасы

Регион	Количество месторождений (шт.)		Запасы по категориям (млн м ³)		
			А+В+С ₁		С ₂
	всего	в т. ч. разрабатываемые	всего	в т. ч. разрабатываемые	
Центральный федеральный округ					
Белгородская обл.	60	40	135,9	93	42,9
Брянская обл.	27	17	21,6	8,6	2,0
Ивановская обл.	35	1	37,9	14,9	7,1
Калужская обл.	14	10	272,2	21,8	–
Курская обл.	6	1	173,7	23,1	–
Рязанская обл.	25	–	160	–	–
Смоленская обл.	41	9	52,5	12,6	–
Тверская обл.	27	1	62,0	–	–
Ярославская обл.	17	–	23,0	–	–
Северо-Западный федеральный округ					
Псковская обл.	28	2	51,6	–	–
Республика Коми	6	4	55,8	–	–

Регион	Количество месторождений (шт.)		Запасы по категориям (млн м ³)		
	всего	в т. ч. разрабатываемые	А+В+С ₁		С ₂
			всего	в т. ч. разрабатываемые	
Приволжский федеральный округ					
Кировская обл.		2	54,5	–	–
Нижегородская обл.	28	6	35,2	13,3	17,2
Пермский край	15	1	9,7	–	4,0
Саратовская обл.	162	103	–	–	–
Ульяновская обл.	30	13	–	–	–
Республика Марий Эл	20	5	40,0	–	–
Республика Мордовия	57	42	50	–	–
Южный федеральный округ					
Волгоградская обл.	53	5	58,1	–	–
Ставропольский край	65	25	98,4	–	–
Уральский федеральный округ					
Курганская обл.	140	50	68	–	–
Челябинская обл.	132	–	111	–	–
Сибирский федеральный округ					
Томская обл.	39	14	57,0	–	–

Природные и технологические типы суглинков. Руководствуясь двумя межгосударственными стандартами 25100–95 и 9169–75, можно разделить природные и технологические типы суглинков. По ГОСТу 9169–75 глинистое сырье представляет собой горные породы, состоящие из глинистых минералов, предназначенные для керамической промышленности, и устанавливаются следующие основные признаки его классификации.

1. По огнеупорности глинистое сырье подразделяют на группы:

- огнеупорные..... 1580 °С и выше;
- тугоплавкие..... от 1350 до 1580 °С;
- легкоплавкие..... менее 1350 °С.

2. По содержанию Al_2O_3 в прокаленном состоянии глинистое сырье подразделяют на группы (% мас.):

высокоглиноземистые..... свыше 45;
высокоосновные..... от 38 до 45;
основные..... от 28 до 38;
полукислые..... от 14 до 28;
кислые..... менее 14.

3. По содержанию красящих оксидов (Fe_2O_3 и TiO_2) в прокаленном состоянии глинистое сырье подразделяют на группы (% мас.):

с весьма низким содержанием красящих оксидов.... в сумме до 1,0;
с низким содержанием красящих оксидов..... менее 1,0 каждого;
со средним содержанием красящего оксида Fe_2O_3 ... 1,5–3;
со средним содержанием красящего оксида TiO_2 1–2;
с высоким содержанием красящего оксида Fe_2O_3 более 3;
с высоким содержанием красящего оксида TiO_2 более 2.

4. В зависимости от содержания водорастворимых солей глинистое сырье подразделяют на группы (содержание водорастворимых солей на 100 г глины, мг-экв):

с низким содержанием..... 1–5;
со средним..... 5–10;
с высоким..... более 10.

5. По минеральному составу (преобладающие минералы) выделяются: каолининовые, гидрослюдистые, монтмориллонитовые, гидрослюдисто-каолининовые, монтмориллонито-каолининовые, монтмориллонито-гидрослюдистые и полиминеральные.

6. По содержанию тонкодисперсных фракций выделяют группы (содержание фракций 10 мкм и 1 мкм, %):

высокодисперсные..... более 85 / более 60;
среднедисперсные..... 60–85/40–60;
низкодисперсные..... 30–60/15–40;
грубодисперсные..... менее 30 / менее 15.

7. По содержанию крупнозернистых включений глинистое сырье подразделяют на группы (содержание включений размером более 0,5 мм, %): с низким содержанием — менее 1, средним — 1–5, высоким — свыше 5. Включения могут быть разного состава — горные породы (гранит, кварцит и пр.) и минералы (кварц, пирит, марказит, сидерит, окислы и гидроокислы железа, гипс, кальцит, доломит, растительные остатки, торф, уголь и др.).

8. В зависимости от пластичности глинистое сырье подразделяют на группы (число пластичности):

высокопластичные..... свыше 25;
среднепластичные..... 15–25;
умереннопластичные... 7–15;
малопластичные..... 3–7;
непластичные..... менее 3.

9. В зависимости от механической прочности на изгиб в сухом состоянии глинистое сырье подразделяют на группы (МПа):

с высокой механической прочностью..... более 1;
средней..... 5–10;
умеренной..... 2–5;
низкой..... 1–2;
очень низкой..... менее 1.

10. В зависимости от температуры спекания существует подразделение на группы по спекаемости (°С)

низкотемпературного спекания..... до 1100;
среднетемпературного спекания... 1100–1300;
высокотемпературного спекания... свыше 1300.

11. В зависимости от содержания свободного кремнезема глинистое сырье подразделяют на группы (% мас.):

с высоким содержанием... более 25;
средним..... 10–25;
низким..... до 10.

Промышленная переработка сырья. При производстве строительного кирпича подготовка суглинка производится так же, как подготовка глины, и производится одним из следующих способов. Глину, подаваемую с карьера, сбрасывают в творильные бетонированные ямы, где она послойно разравнивается, заливается водой и оставляется на 3–4 дня. Затем глину подают в склад или непосредственно на завод для переработки на машинах. По другому способу глину непосредственно с карьера подают на завод к дробильной и увлажняющей машине. В целях получения более однородной массы глину подвергают выветриванию и вымораживанию в невысоких (около 1 м высотой и 2 м шириной) емкостях на открытом воздухе. Способ обработки сырья зависит от его характера и рода изделия.

Для выделения камней из глины применяют иногда камневыделительные вальцы. Эти вальцы одновременно перерабатывают глину как гладкие вальцы. Камни подводятся к одному концу вальцов спиралями и по желобу выбрасываются.

Во многих случаях качество глины таково, что она может непосредственно поступать в ящичный питатель (бешикер), состоящий из 2–4 отделений, в зависимости от числа смешиваемых сортов глины (жирной и тощей). У выходного отверстия питателя помещается вращающийся вал с насаженными на него кулаками или подвижная грабля, которые подают подошедшую к выходному отверстию питателя глину, частично разбивают попадающиеся на пути куски и сбрасывают глину под бегуны. Под бегунами глина хорошо размалывается и продавливается через дырчатую тарелку бегунов (величина отверстий около 3 мм). В бегуны нередко подбрасывают бракованный сырец. Иногда между питателем и бегунами (большей частью при производстве черепицы) устанавливается увлажняющий шнек, куда поступает необходимое количество воды. Добавка воды к массе часто производится во время обработки ее бегунами. В этом случае применяют так называемые мокрые бегуны.

Контрольные вопросы и задания

1. Что вы знаете о глинах и их использовании?
2. Каков генезис глинистых пород?
3. Какие выделяются основные типы глин?
4. Перечислите промышленные типы месторождений глин.
7. В чем заключаются особенности разработки месторождений глин?

Глава 4

КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК

Общие сведения. Природный кварцевый песок — мелкообломочная рыхлая осадочная горная порода, более чем на 90 % состоящая из окатанных и угловатых зерен кварца с преобладающим размером 0,1–1 мм.

Кварцевые пески характерны для платформенных районов и обычно образуются как в условиях влажного жаркого климата в результате переотложения продуктов глубокого химического выветривания материнских пород, так и вне связи с климатом при длительном переотложении их различными природными агентами, а также при формировании осадков за счет размыва более древних кварцевых песков или песчаников.

По размерам частиц выделяют пески: крупнозернистые (0,5–1 мм), среднезернистые (0,25–0,5 мм) и мелкозернистые (0,1–0,25 мм). Зерна песка по форме бывают округлые, округло-угловатые и угловатые; по степени окатанности — окатанные, полуокатанные и остроугольные; по характеру поверхности — гладкие и шероховатые.

Кроме стран СНГ, *кварцевое сырье производят* Австрия, Бельгия, Саудовская Аравия, Австралия, импортируют ФРГ, Швеция, Япония.

Мировое потребление кварцевых песков составляет около 100–120 млн т в год:

США.....	28,
Германия.....	10–14,
Франция.....	примерно 6,
Великобритания.....	примерно 4,
Бельгия и Бразилия.....	по 3–4,
Австрия и Австралия.....	по 2.

В России добывается стекольных и формовочных песков более 6 млн т, в том числе около 1,5 млн т стекольных.

Области применения. Кварцевый песок используют в различных отраслях промышленности как в природном виде, так и в качестве сырья для производства широкого ассортимента изделий, в литейном деле, строительной, цементной, химической промышленности, в производстве фарфоро-фаянса, динаса, кирпича, бетона для асфальтовых смесей, кровельных рулонных материалов, абразивов, фильтров, в дорожном и железнодорожном хозяйстве, при испытании цементов, для песочниц локомотивов, производства карбида кремния, изоляторов и т. д. В литейном производстве природные и обогащенные пески используют для приготовления формовочных и стержневых смесей, из которых получают формы для литья.

Стекло получают либо из многокомпонентной шихты (обычное стекло), либо из однокомпонентного расплава кварцевых песков с высоким содержанием оксида кремния (кварцевое стекло). Прозрачное кварцевое стекло бывает двух видов — оптическое и техническое. Высокая химическая и термическая стойкость непрозрачного кварцевого стекла позволяет производить изделия для работы с кислотами, нейтральными средами, расплавами солей. Для производства кварцевого стекла используют очень чистые, в основном обогащенные кварцевые пески. Для получения обычного стекла применяют песок различного качества, обогащенный и необогащенный.

Для изготовления электротехнических изделий, грубой и тонкой керамики применяют кварцевые пески с качественными показателями, аналогичными показателям стекольного сырья.

Из кварцевого песка получают различные *огнеупорные материалы*: кислый, коксовый и легковесный динас, полуокислые огнеупоры, кварцево-глинистые набивные массы для монолитной футеровки сталеразливочных ковшей.

Для получения *карбида кремния* служат преимущественно крупнозернистые обогащенные пески.

Кварцевое сырье используют в качестве наполнителя неармированных бетонов, тампонажных портландцементов, предназначенных для цементации нефтяных и газовых скважин, цементов для строительных растворов.

Чистые кварцевые пески без вредных для здоровья людей примесей служат наполнителями различных фильтров и водоочистных сооружений.

Природные кварцевые пески — хороший абразивный материал, который применяют для шлифовки стекол, при распиловке камня, в пескоструйных аппаратах, а также в качестве дугогасящей среды в электрических предохранителях.

В нефтедобывающей промышленности грубо- и крупнозернистые пески используют в качестве расклинивающего материала для гидравлического разрыва и перфорации нефтеносных пластов; в нефтепереработке и нефтехимии — как носитель фосфорно-кислых катализаторов полимеризации пропилена.

В регионах с широким распространением кварцевых песков их применяют для получения *разного рода строительных изделий* (например, силикатного кирпича) и производства строительных работ.

Примерно 50 % от общего объема мирового производства кварцевых песков потребляет металлургическая промышленность, 30–35 % — стекольная; остальная доля приходится на керамическое производство, цементную, химическую и другие отрасли.

Минералы кварцевого песка. Основные минералы кварцевого песка — кварц (до 99,8 %) и полевые шпаты (до 7 %). В качестве примесей (от десятков долей до первых процентов) присутствуют глинистое вещество, слюды, глауконит, гранат, рутил, циркон, ставролит, кианит, силлиманит, роговая обманка, апатит, ильменит, магнетит и другие минералы.

Промышленные типы месторождений. Месторождения кварцевых песков известны в отложениях различного возраста — от кембрия до современных включительно. В зависимости от условий образования выделяют морские (прибрежно-морские), озерные, аллювиальные, водно-ледниковые, элювиальные и эоловые типы месторождений (табл. 19).

Месторождения песков морского и озерного происхождения связаны с современными морями и крупными озерами или образовались в результате деятельности древних водных бассейнов. Крупнейшие месторождения кварцевых песков, приуроченные к морским и озерным отложениям, разведаны в Центральном регионе России, Среднем и Нижнем Поволжье, Западной Сибири. Они широко распространены на побережьях морей — Балтийского, Каспийского,

Японского, Охотского и озер — Онежского, Ладожского и др. На прибрежно-морские приходится до 20–30 % месторождений кварцевых песков России и примерно такое же количество запасов.

Аллювиальные месторождения Российской Федерации составляют свыше 60 %, водно-ледниковые — 10, эоловые — 2, элювиальные и делювиальные — около 1 %. Месторождения аллювиального типа (современные и древние) широко распространены во всех регионах страны. По сложности геологического строения морские, озерные и аллювиальные месторождения соответствуют 1-й и 2-й группам.

Водно-ледниковые месторождения довольно широко встречаются в северных и центральных районах европейской части Российской Федерации и на севере Западной Сибири. Пески преимущественно кварцевые и полевошпат-кварцевые. По сложности геологического строения они в большинстве своем соответствуют 2-й группе.

Месторождения песков элювиального и делювиального типа в связи с их большей частью невыдержанностью состава и строения полезной толщи, плохой сортированностью и неокатанностью материала, значительным содержанием глинистых и пылеватых частиц имеют ограниченное промышленное значение. В большинстве своем их относят к 3-й и 4-й группам сложности.

Пески эоловые характерны для континентальных образований аридных, семиаридных климатов, морских, озерных, речных песчаных побережий разных географических широт. Представлены эоловые месторождения дюнами, барханами, грядами, буграми, резе линзообразными залежами, сложены песками мелко- и среднезернистыми (преобладают фракции 0,15–0,30 мм), хорошо окатанными, однородными по минеральному составу. Содержат незначительные примеси. Использование в промышленности, за исключением стекольного и литейного производств, ограничено. Их относят в основном ко 2-й группе по сложности геологического строения.

По величине запасов (m^3) месторождения кварцевых песков подразделяют: на уникальные — сотни миллионов, весьма крупные — десятки миллионов, крупные — единицы миллионов, средние — сотни тысяч, мелкие — десятки тысяч, очень мелкие — единицы тысяч.

Природные и технологические типы песков. Природным типам месторождений кварцевых песков в основном соответствуют и технологические типы (табл. 20), которые разделяют преимущественно

Таблица 19. Промышленные типы месторождений кварцевого песка [10]

Тип	Подтип	Форма залежей	Размеры	
			Длина	Ширина (м)
Морской и озерный	Береговые и подводные пляжи, косы, валы, террасы, бары, лагуны, дельты	Пласто- и линзообразные изометричные	От сотен метров до десятков километров	Десятки и сотни
Аллювиальный современный	Пойменный	Лентообразные, плащеобразные, изометрические, линзовидные	Сотни метров — 8–10 км и более	Сотни
	Русловый (перекатный, плесовый, островной, осередковый)	Лентообразные, плащеобразные, изометрические, линзовидные	Сотни метров — 8–10 км и более	Сотни
Аллювиальный древний	Русловый (побочневый, косовый, пляжевый)	Четковидные струевые, шнуровые, линзовидные, подвержены сезонным и многолетним переформированиям	Сотни метров и единицы километров	Десятки и сотни
	Русловый (проток и староречий)	Лентообразные, прерывистые и сложные линзы	Сотни метров и единицы километров	Десятки и сотни
	Русловый (погребенных долин, врезов) и террасовый	Плащеобразные, лентообразные, линзовидные изометрические	От сотен метров до десятков километров	Сотни

залежей	Масштабы месторождений	Содержание кварца (%)	Попутные полезные ископаемые
Мощность (м)			
До 40 и более	От средних до весьма крупных	94–98	Фосфориты, уголь, глауконит, огнеупорные глины
2–30	От крупных до уникальных	90–94	Глины, торф, ильменит, рутил
До 10–20	От средних до весьма крупных	92–96	Иногда ильменит, рутил, циркон
4–12	От средних до крупных	92–96	Иногда ильменит, рутил, циркон
2–10 и более	От средних до весьма крупных	92–96	Иногда ильменит, рутил, циркон
6–30	От средних до весьма крупных	80–96	Глины, уголь, фосфориты

Тип	Подтип	Форма залежей	Размеры	
			Длина	Ширина (м)
Водно-ледниковый	Камовые холмы, террасы и поля	Изометричные, плащеобразные, линзовидные, гнездовые	От сотен метров до километров	Десятки и сотни
	Озы и озовые гряды	Изометричные, плащеобразные, линзовидные, гнездовые	1–20 км и более	Десятки и сотни
	Зандры, зандровые поля, равнины	Изометричные, плащеобразные, линзовидные, гнездовые	От сотен метров до километров	Сотни
	Террасы	Изометричные, плащеобразные, линзовидные, гнездовые	От сотен метров до километров	Десятки и сотни
	Дельты	Плащеобразные, лентообразные, линзовидные	От сотен метров до километров	Десятки и сотни
	Конечные морены, моренные холмы, друмлины, валы	Плащеобразные, лентообразные, линзовидные	Различной ширины и протяженности (сотни метров и единицы километров)	
Элювиально-делювиальный	Присклоновые шлейфы	Пластообразные, линзообразные, конусообразные	Различной ширины и протяженности (десятки и сотни метров)	
Эоловый	Дюны, барханы	Плащеобразные, линзовидные, лентообразные, изометрические	Различной ширины и протяженности (сотни метров и единицы километров)	

залежей	Масштабы месторождений	Содержание кварца (%)	Попутные полезные ископаемые
Мощность (м)			
До 15–25	От средних до крупных	82–96	Гравий, валуны, песчано-гравийные смеси, глины
3–20	От средних до крупных	82–96	Гравий, валуны, песчано-гравийные смеси, глины
До 12–15	От средних до весьма крупных	82–96	Гравий, песчано- гравийные смеси
До 15	От средних до весьма крупных	82–96	Песчано-гравийные смеси
До 20	От средних до весьма крупных	82–96	Песчано-гравийные смеси
До 8	От средних до крупных	86–92	Суглинки, песчано- гравийные смеси
Первые метры	Мелкие и очень мелкие	50–90	Глины, суглинки
До 20	От средних до крупных	83–96	Минералы тяжелых фракций

Таблица 20. Основные природные и технологические типы песков [10]

Типы сырья	Содержание (%)		
	основных минералов	основных окислов	загрязняющих примесей
Морские и озерные мономинеральные и олигомиктовые	Кварц — 94–98, полевые шпаты — 2–6	SiO ₂ — 90; Fe ₂ O ₃ — 0,1–2; Al ₂ O ₃ — 0,9–10	Глины — 0,5–11; слюда — менее 0,5; SO ₃ — 0,07
Аллювиальные мономинеральные и олигомиктовые, реже полимиктовые	Кварц — 80–96, полевые шпаты и др. — 4–20	SiO ₂ — более 94; Fe ₂ O ₃ — 0,4–0,64; Al ₂ O ₃ — 1,3–4,3	Глины — 0,9–10, в основном до 3, слюда — 0,1–2,0, SO ₃ — 0,04–0,2
Водно-ледниковые, преимущественно полимиктовые и олигомиктовые, реже мономинеральные	Кварц — 80–94, полевые шпаты и др. — 6–20	SiO ₂ — более 82; Fe ₂ O ₃ — 0,1–3; Al ₂ O ₃ — 0,2–9,1	Глинистые — 0,5–15; слюда — 0,1–0,3; SO ₃ — 0,0–0,7
Эоловые, преимущественно мономинеральные, реже олигомиктовые	Кварц — более 90, полевые шпаты — до 10	SiO ₂ — 83–96; Fe ₂ O ₃ — 0,6–1,2; Al ₂ O ₃ — до 2	Глинистые — 0,1–2,0; слюда — до 0,01; SO ₃ — до 0,1
Элювиально-делювиальный	Не выдержанные минеральный и гранулометрический ринских пород, значительное содержание вредных встречаются месторождения с высоким содержанием		

Частные остатки на ситах (%)					Основные направления использования
Более 5 мм	5–1,2 мм	1,2–0,6 мм	0,6–0,15 мм	Менее 0,15 мм	
0–8	3–9	1–26	16–70	1–14	Стекольное и литейное производство, керамика
0–10	0–38	1–76	8–80	1–17	Литейное производство, стекольное (после обогащения), силикатные изделия, строительство
1–9	3–26	7–32	43–85	3–24	Литейное, стекольное (после обогащения) производство, строительство
0	0,1–1	3–16	38–48	1–35	Формовочное производство, силикатные изделия, строительство, редко стекольное производство
составы, прямая зависимость качества от состава мате- примесей и неустойчивых минералов. Очень редко кремнезема					Строительные материалы

по содержанию основных минералов, основных окислов, зерновому составу и глинистой составляющей.

По содержанию, распределению и свойствам загрязняющих примесей месторождения делят:

1. На месторождения, в которых *загрязняющие примеси отсутствуют* или их содержание в целом или в отдельных фракциях не превышает нормы, допустимые ГОСТами. Пески используют в природном виде в различных отраслях промышленности, в том числе в стекольном и литейном производстве. Это преимущественно морские, эоловые, реже озерные и аллювиальные (древние), водно-ледниковые пески.
2. Месторождения, в которых *содержание загрязняющих примесей не соответствует требованиям ГОСТов*. Необходимо легкое обогащение песков, после которого их используют в различных целях. Сюда относят большую часть месторождений аллювиального (современные и древние) и водно-ледникового типов.
3. То же, но *пески среднеобогатимые* и после обогащения имеют ограниченное применение.
4. То же, но *пески труднообогатимые* и требуют специальных методов обогащения, в природном виде использование их крайне ограничено.

Разработка месторождений. Разработку песчаных месторождений производят преимущественно открытым способом. В зависимости от мощности полезной толщи и перекрывающих пород, размеров залежи, ее обводненности применяют следующие разновидности способа: 1) гидравлический (гидромеханизированный) с погрузкой песка в баржи или намывом на берег и погрузкой в штабеля; 2) бульдозерно-скреперный; 3) экскаваторный; 4) комбинированный с погрузкой в автотранспорт. Реже применяют способ гидрокважинной добычи.

При *гидравлическом* способе разработки используют машины гидравлического и механического действий. К первым относят землесосные снаряды, ко вторым — черпаковые, среди которых имеются многочерпаковые, в том числе драги, и одночерпаковые, включая плавучие краны. Разработку песчаных месторождений снарядами этих типов производят в руслах и поймах рек, озерах, прибрежной

полосе морей, на террасах и других участках, где может быть обеспечен приток воды не менее $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 добываемой горной массы (для землесосов) и где может быть создан котлован для перемещения земснаряда.

Земснаряды (гидро- и пневмосасывающие — землесосные, эжекторные, эрлифтные) в зависимости от мощности оборудования имеют производительность по породе от 100 до $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ при глубине разработки 10–30 м и минимальной мощности полезной толщи 2,5–6,5 м. У многочерпаковых снарядов (драг) производительность от 250 до $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ при глубине черпания до 6,5–18 м и минимальной мощности пласта 2 м. При разработке россыпей используют драги с глубиной разработки до 50 м и более. Одночерпаковые снаряды (штанговые, плавкраны) с емкостью грейфера от 1,5 до $4,5 \text{ м}^3$ имеют производительность 100–210 $\text{м}^3/\text{ч}$ и глубину разработки 12–23 м при минимальной мощности пласта не менее 4 м. На земснарядах и драгах добывающее, обогатительное и отвальное оборудование объединено в единый производственный процесс, что снижает капиталовложения по сравнению с другими способами добычи, а также повышает производительность (до 2–4 млн м^3 песка на земснаряд за сезон) и снижает себестоимость продукции в два-три раза.

За рубежом добычу песка и гравия ведут в значительных объемах в открытом море (Великобритания, Бельгия, Голландия и др.) уже более 60 лет. Так, в Великобритании на добычу в море приходится свыше 15% всех потребляемых песка и гравия. Глубина разработки — до 10 м.

Сухие и малообводненные месторождения разрабатывают *экскаваторами, бульдозерами и скреперами* различных мощностей и классов. Глубина разработки этими средствами в зависимости от обводненности залежей и мощности полезной толщи достигает 30 м (в среднем 10–15 м).

При *скважинной гидродобыче* месторождение вскрывают скважинами, диаметры которых 100–300 мм. Залежь разрушают, используя гидравлический градиент (рыхлые, обводненные пески) или струю воды. В первом случае рабочий агент (воду) нагнетают в одну группу скважин, а пульпу (разжиженный песок) откачивают из соседних и складировуют на поверхности в карты намыва и отвалы. Во втором случае воду подают под давлением к насадкам гидромонитора, разрушают толщу песка и откачивают пульпу эрлифтом через

ту же скважину. Добыча песков скважинной гидродобычей (СГД) целесообразна при большой мощности вскрыши (от 20 м и более), или когда месторождение занимает ценные сельскохозяйственные земли и на больших глубинах в морях, при отсутствии других источников.

В России кварцевые пески (200 тыс. т в год) методом СГД добывают вместе с фосфоритами на Кингисеппском месторождении в Ленинградской области. Недостатки этого способа: высокая себестоимость добычи и потери, которые достигают 20–40 % от разведанных запасов. В среднем же потери при разработке песчаных месторождений составляют 5–7 % для необводненных карьеров и 10–15 % — для гидромеханизированных.

Попутные полезные ископаемые, добываемые при разработке песков, представлены неметаллическими и металлическими полезными ископаемыми. Первые — это обычно суглинки и глины различного состава, фосфориты, песчано-гравийные смеси, карбонатные породы и т.п. Вторые — это минеральное сырье, содержащее ильменит, рутил, циркон, лейкоксен, титан и др.

Промышленная переработка сырья. Промышленную переработку кварцевых песков производят механическими, химическими, физическими и другими методами обогащения. В случаях соответствия по гранулометрическому и химическому составу требованиям потребителей кварцевые пески используют в природном виде. Переработку кварцевого песка производят с целью удаления различных примесей и фракционирования обогащенных продуктов. Вредные примеси и влияние их на качество получаемой продукции приведены в таблице 21.

Обогащение кварцевого сырья для получения стекольных, литейных и ряда других песков означает удаление примесей — железосодержащих.

Примеси в этих песках разделены на следующие группы минералов-железосодержащих: 1) глинистые дисперсные частицы, комочки и примазки на поверхности зерен кварца; 2) отдельные (рудные и нерудные) минералы тяжелой фракции; 3) пленки гидроксидов железа; 4) силикаты легкой фракции; 5) включения железосодержащих минералов в зерна.

Обогащение кварцевых песков производят сухим и мокрым способами. *Сухими способами* обогащают пески с низким содержанием

глинистых и илистых включений (до 1 %), так как при сухом расसेве они остаются в классе менее 0,1 мм (рис. 6).

Таблица 21. Влияние примесей в кварцевом песке на качество продукции [10]

Примесь	Область применения	Характер действия примесей
Закисное железо	Стекольная промышленность	Придает стеклу синюю или зеленую окраску
Окисное железо		Придает стеклу желтовато-коричневую окраску
Оксид алюминия		Повышает химическую стойкость и механическую прочность стекла и уменьшает склонность к кристаллизации стекла
Оксид железа и оксид титана	Тонкая керамика	Окрашивает керамику в желтый цвет и образует «мушки»
Оксиды кальция и магния		Увеличивает пористость, снижает прочность изделий и повышает водопоглощение
Мелочь и пыль	Литейная промышленность	Увеличивает возможность пригара и снижает газопроницаемость
Крупные частицы		Препятствует получению гладкой поверхности отливок
Полевые шпаты и слюда		Понижает температуру размягчения формовочного песка, т.е. увеличивает пригар
	Огнеупоры	Снижает температуру плавления
Серосодержащие соединения	Тонкая керамика	Проявляет выцветы
	Тяжелые бетоны и силикатные изделия	Изменяет прочностные характеристики
	Сварочные материалы	Снижает качество сварного шва
Кремень и его разновидности	Бетоны и строительные растворы	Изменяет прочностные характеристики
Оксиды алюминия и железа	Производство жидкого стекла	Снижает скорость растворения силикатной глыбы

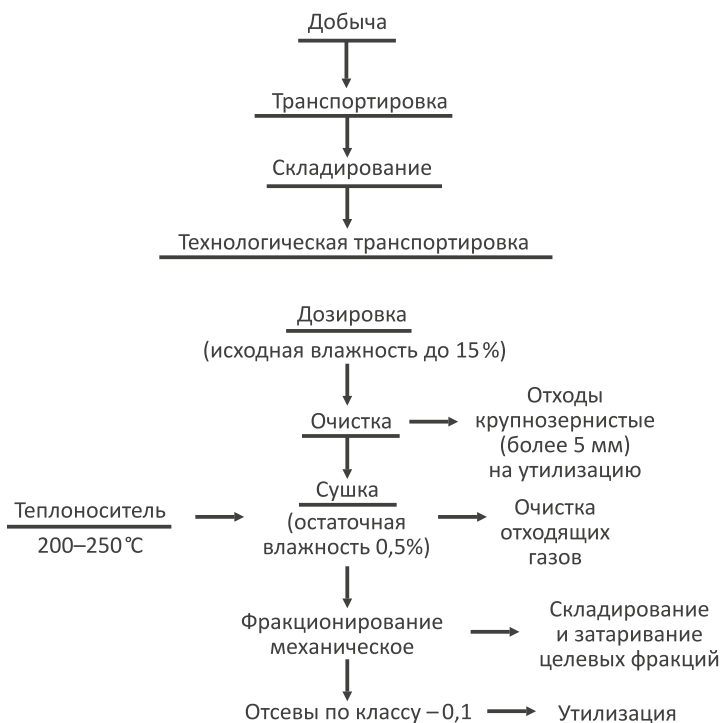


Рис. 6. Технологическая схема сухой переработки кварцевых песков [10]

Наиболее простые *мокрые схемы* включают только промывку и классификацию по крупности. Их применяют для обогащения глинистых песков, в которых вредные рудные примеси концентрируются в тонких фракциях. Пески, в которых железо связано с глинистыми минералами и пленками гидроксидов железа, обогащают по схеме, включающей промывку, классификацию по крупности и механическую оттирку.

Для песков, где присутствуют все три группы железоносителей (глинистые минералы, зернистые минеральные примеси и пленочные образования), применяют схемы обогащения, включающие промывку, классификацию по крупности, механическую оттирку и флотацию, концентрацию на столах или магнитную и электрическую сепарации.

Наиболее широко распространены флотационные схемы. Подавляющее большинство фабрик применяют флотацию в кислой среде с собирателями типа сульфонатов. При доводке кварцевых концентратов для оптического сырья их подвергают химической обработке, тонкому измельчению и магнитной сепарации (рис. 7). Концентраты кварцевых песков оценивают по массовой доле SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, CaO и некоторым другим составляющим, а также по гранулометрическому составу и наличию пылеватых и глинистых частиц.

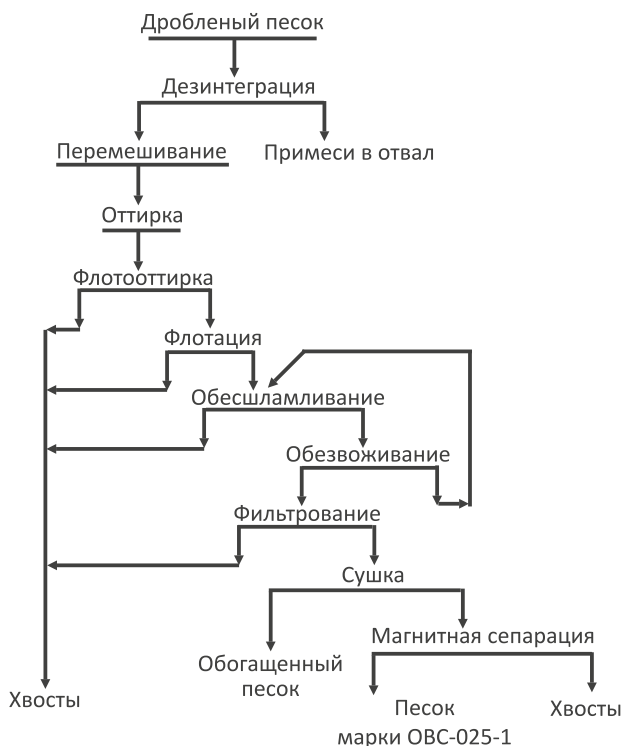


Рис. 7. Технологическая схема мокрого обогащения кварцевых песков [10]

Испытание качества сырья. Для оценки качества кварцевых песков определяют их химический, минеральный, зерновой составы и модуль крупности, содержание глинистых и илистых частиц,

плотность, пустотность, а для песков, потребляемых в автодорожном строительстве, для бетона, силикатных изделий, тонкой керамики и др. — коэффициент фильтрации, содержание сернокислых и сернистых соединений, реакцию водяной вытяжки и прочие показатели, регламентируемые нормативными документами на готовую продукцию.

Изучение минерального, зернового составов и других особенностей песков имеет важное значение не только для оценки качества их в природном виде, но и для предварительного заключения об их вероятной промышленной пригодности и свойствах.

При исследовании обогатимости кварцсодержащих песков изучают измельчаемость и иногда дробимость; проводят ситовой, гравитационный и магнитный анализы; определяют основные группы минералов-железосодержащих; выбирают метод и технологическую схему обогащения (определяют технологическую ценность песка, проводят исследования по доводке кварцевого концентрата и отходов обогащения); изучают физико-химические свойства концентрата.

В процессе исследований определяют:

- содержание SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , S , H_2O в исходном песке и конечном концентрате (%);
- содержание Fe_2O_3 в хвостах обогащения (%);
- содержание железа в форме железосодержащих слюд; магнетита и гематита, карбонатов, гидроксидов, сульфидов и сульфатов, пленок силикатов железа; твердых и газообразных минеральных включений и структурных примесей (%);
- содержание элементов (спектральный полуколичественный анализ): Mo , Co , Ni , Cu , Zn , Cr , W , Bi , Sn , Ag , Pb , Zn , As , Sr , Ba (%);
- минеральный состав — содержание кварца, полевых шпатов, магнетита, гематита, гидроксидов железа и марганца, анатаза, рутила, глауконита, каолинита, доломита, прочих силикатов и сульфатов (%);
- вкрапленность рудных минералов (мм);
- гранулометрический состав исходной пробы;
- физические свойства: магнитную восприимчивость; истинную плотность (т/м^3); насыпную плотность (г/см^3); контрастность и фракционный состав по плотности 2,7; 2,9; 3,2 и 4,2 т/м^3 .

При исследовании на обогатимость наиболее важным является поведение железорудных минералов при различной обработке пе-

сков (рис. 8). Исследования по разработке технологии обогащения включают определение параметров: вскрытия кварцевых зерен, промывки исходного сырья, сухой и мокрой классификации, оттирки, флотации и магнитной сепарации. Изучение химической очистки кварцевых песков выполняют при наличии потребителя. Испытания проводят на исходных или измельченных до 1,0 мм песках,

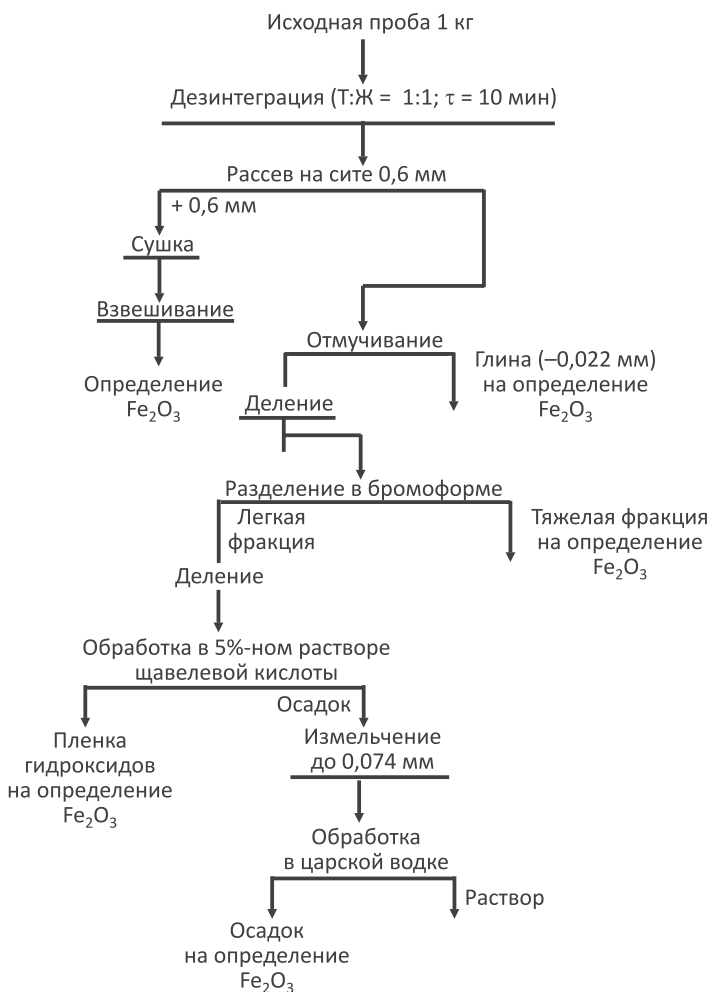


Рис. 8. Схема исследования обогатимости кварцевых песков [10]

учитывая, что наличие тонкодисперсных частиц (менее 0,1 мм) для флотации и готовой продукции нежелательно.

Технологические испытания песков для автодорожного строительства проводят в составе асфальто- и дегтебетонных смесей, асфальтобетона и дегтебетона. Их выполняют специализированные организации по стандартным методикам. В специализированных организациях проводят испытания с получением стекольной продукции, песков для производства тонкой керамики и оптического стекла.

Контрольные вопросы и задания

1. Где применяются кварцевые пески?
2. Перечислите промышленные типы месторождений кварцевого песка.
3. Какие существуют природные и технологические типы месторождений кварцевых песков?
4. Какими способами происходит обогащение кварцевых песков?
5. Расскажите о промышленной переработке кварцевых песков.

Глава 5

ОБЛИЦОВОЧНЫЕ КАМНИ

Общие сведения. Природные облицовочные камни представляют специфическую группу строительных материалов, промышленная ценность которых определяется прежде всего их декоративными свойствами. Важными свойствами облицовочных камней являются механическая прочность, способность принимать различные виды обработки поверхности и сопротивляемость атмосферным воздействиям — погодоустойчивость. В качестве облицовочных камней используются горные породы различного происхождения:

- интрузивные — граниты, сиениты, диориты, габбро-нориты, лабрадориты;
- эффузивные — базальты, диабазы, андезиты, порфиры, порфириты, вулканические туфы;
- метаморфические — мраморы, кварциты;
- осадочные — известняки, доломиты, травертины, гипсы, песчаники, конгломераты и брекчии.

Наиболее широко используются граниты и мраморы.

Ведущей страной в сфере производства и применения облицовочных материалов и изделий является Италия. Разработки крупнейших месторождений белого «статуарного» мрамора в Апуанских Альпах имеют тысячелетнюю историю. На мировом рынке пользуются популярностью белый мрамор «арабескато каррара», кремовый «ботичино классико», красный «россо верона», зеленый «верде альпа» и др. Значительная часть мрамора экспортируется в разные страны, в том числе в США.

Редкие месторождения черного мрамора находятся в Бельгии и во Франции. Высокодекоративный красный гранит «россо ванга» добывается в Швеции, розовый «россо поррино» — в Испании, серо-

желтый «юпарана» — в Бразилии, там же — голубой сиенит «азул ма-кауба». Известны черное габбро с равномерной окраской и хорошо выраженной голубизной «белфаст» из Южной Африки, лабрадориты с васильково-голубой иризацией, «марина перл» из Норвегии и др. Из месторождений травертинов, разрабатываемых в нескольких странах, необходимо отметить Спишское в Словакии. Оно развито на площади более 3 км², мощность его до 80 м. Долговечность наиболее стойких облицовочных камней измеряется сотнями лет.

В России учтено около 150 месторождений облицовочных камней с запасами по промышленным категориям 536 млн м³. Из них разрабатывается около 40 месторождений с годовым объемом добычи 500–600 тыс. м³.

В США в 2015 году добыто 2,5 млн т облицовочного камня на общую сумму 470 млн долларов. Из этого количества 42 % приходится на известняк, 21 — на гранит, 17 — на песчаник, по 2 — на мрамор и сланец и 16 — на прочее. Около 1,3 млн т облицовочных камней США импортирует ежегодно из Китая, Бразилии, Италии, Турции, Индии.

Области применения. Облицовочные камни используют следующим образом:

- основное назначение — облицовка поверхностей строительных конструкций плитами для защиты их от разрушения в процессе эксплуатации и придание им декоративности;
- блочный камень — для кладки цокольных поясов зданий, стенок набережных, устоев мостов и других сооружений;
- монолитные крупноразмерные блоки — для колонн, скульптурных композиций, мемориальных и других сооружений, а также дефибрерные валы для целлюлозно-бумажного производства;
- бортовые камни, электротехнические доски и другие более сложные резные детали;
- мраморный щебень и крошка как декоративный наполнитель различных мозаичных изделий, отделочных деталей, наружной штукатурки;
- художественно-поделочные изделия, скульптуры, памятники;
- отходы обработки перечисленных изделий, а также негабаритные и не востребованные блоки, переработанные на щебень и бутовый камень, для общестроительных работ.

Основные виды горных пород используются в качестве облицовочных камней примерно в следующих соотношениях (%):

- интрузивные..... 20 (в том числе граниты — 14);
- эффузивные..... 44 (в том числе туфы и туфолавы — 37);
- метаморфические..... 30 (в том числе мраморы — 25);
- осадочные..... 5 (в том числе известняки и доломиты — 4).

Средние физико-механические свойства основных видов облицовочных камней приведены в таблице 22.

Таблица 22. Физико-механические свойства основных видов облицовочных камней [12]

Порода	Плотность (т/м ³)	Пористость (%)	Коэффициент крепости по Протогьякову	Предел прочности при сжатии (МПа)	Модуль упругости (МПа)
Гранит	2,62–2,68	1,7	10,5	200	5000
Габбро	2,98–3,05	2,6	9,5	300	7000
Базальт	2,6–2,76	10,6	8,0	280	4700
Туф	1,73–2,55	32,0	1,6	20	800
Кварцит	2,74–2,76	3,9	13,4	до 400	2000
Мрамор	2,72–2,81	3,4	3,2	150	5500
Известняк	2,52–2,62	7,9	7,1	80	4500

Промышленные типы месторождений облицовочных камней представлены в таблице 23.

Технологические типы облицовочных камней. Наряду с вещественным составом структурные особенности пород, их физико-механические параметры определяют технологические типы. В соответствии с этим облицовочные камни подразделяются на несколько групп по такому обобщающему показателю, как твердость, которая отражает величину энергозатрат при обработке камня:

- *камни твердые:* кварциты, изверженные глубинные (гранитоиды, габброиды) и плотные излившиеся (базальты, диабазы);
- *камни средней твердости:* мраморы, плотные известняки и доломиты;
- *камни мягкие:* туфы вулканические, травертины, гипсы.

Таблица 23. Промышленные типы месторождений облицовочных камней [12]

Тип месторождений		Форма и залегание	Размеры (м)	
промышленный	генетический		в плане	мощность
Гранитоиды	Магматический интрузивный	Батолиты, крупные штоки	Тысячи	Тысячи
Габброиды		Штокообразные тела	Тысячи	Сотни
Базальтоиды, туфы вулканические	Эффузивный	Покровы, потоки	Тысячи	Десятки и сотни
Кварциты, мраморы	Метаморфический	Пластовые и пластообразные залежи	Тысячи	Десятки
Известняки, гипсы	Осадочный (седиментогенный)	Пластовые и пластообразные залежи	Тысячи	До десятков
Травертины	Хемогенный	Натечные покровы, линзы	Сотни	До десятков

В пределах каждой из этих групп имеются заметные различия по сложности обработки. Энергозатраты или время обработки твердых камней первой группы составляют 100–60 условных единиц. Для камней средней твердости второй группы они составляют 60–15 условных единиц. В каждой из указанных групп насчитывается до пяти технологических категорий сложности обработки.

Разработка месторождений. Месторождения облицовочных камней всегда разрабатываются открытым способом. Высота уступов в карьерах соответствует высоте блока (до 2 м) или принимается кратной ей при панельной системе горных работ. Разработка месторождений облицовочных камней имеет ряд особенностей, вызванных необходимостью предотвратить возникновение в блоках и других изделиях трещиноватости; поэтому при работах полностью исключается применение бризантных, дробящих взрывчатых веществ.

В ограниченных масштабах (в основном при разработке гранитов) допускается применение небольших зарядов метательных взрывчатых веществ (главным образом, черный порох), а также детонирующего шнура (до двух ниток). Во всех случаях использова-

ние взрывчатых веществ при отбойке блоков ведется контроль их сохранности и сохранности массива. Ширина зоны техногенных нарушений даже при использовании разрешенного детонирующего шнура достигает 0,2–0,4 м.

Основой рационального ведения горных работ является правильное ориентирование фронта рабочих уступов в соответствии с направлением основных систем природных трещин, развитых в разрабатываемой залежи. В интрузивных массивах также следует использовать анизотропию строения — ориентированное расположение удлинённых кристаллов (обычно по направлению продольной трещиноватости), облегчающих раскалывание или распиливание, поскольку поперечное направление горных работ снижает производительность добычи до 45 %.

Выход товарных блоков колеблется от 7 до 53 %. При низком выходе блоков важно организовать производство на карьере из некондиционных блоков другой каменной продукции: бордюрных камней, ступеней, брусчатки, декоративной крошки, а также бута и щебня из отходов. На некоторых карьерах производятся и облицовочные плиты.

Для вырезки и отделения блоков от массива применяются различные способы. В твердых породах (граниты и пр.) предпочтителен буро-клиновый способ. Он заключается в обурировании периферии блока близко расположенными (8–20 см) шпурами диаметром до 25 мм. Шпуры проходятся или на полную высоту блока или частично (120–150 мм) в зависимости от наличия трещиноватости. Отбойка по линии шпуров производится с помощью клиньев со щечками из высококачественной стали; высокую производительность обеспечивают станки строчечного бурения и гидроклиновые установки.

Перспективным способом отбойки блоков является применение *невзрывчатого разрушающего способа*. Он представляет собой использование высокообоженной извести со специальными добавками, патронированной в пористые оболочки. Перед зарядкой патроны насыщают водой (5–10 мин), а в шпуре уплотняют досыльником. Давление расширения вследствие гидратации достигает 90 МПа. Время формирования трещин при температуре 20 °С составляет 12–18 ч, при понижении температуры время возрастает. В зимние морозы действенным средством является вода, заливаемая в шпуры.

В пористых породах или при горизонтальных шпурах в последние предварительно закладываются целлофановые трубки, запаянные с нижнего конца.

На породах, богатых кварцем (граниты, кварциты), наилучшие результаты дает термоструйный способ вырезки блоков. Высокотемпературная газовая струя (бензин или керосин в воздушном дутье) через сопло резака подается на линию контура монолита. В результате выкрашивания минералов образуется узкая (8–20 см) ровная щель, глубина которой может быть доведена до 5 м. Производительность на граните при этом достигает 2 м²/ч, но в основных породах резко падает.

При разработке пород средней и малой твердости (мраморы, известняки, туфы) наиболее часто используются камнерезные станки с дисковой фрезой. Они обеспечивают получение геометрически правильной параллелепипедной формы сечением (1 × 1 м) при произвольной длине. Станки могут работать производительнее при предельной прочности камня на сжатие до 180 МПа.

Большие возможности и маневренность имеет канатная вырезка блоков и массивов (панелей). Стальной канат диаметром 3,5–6,1 мм протягивается со скоростью от 8 до 40 м/с, образуя узкий пропилов. При канатно-абразивной резке в пропилов подается водная суспензия (кварцевый песок 0,2–0,8 мм), обеспечивая скорость пропилов на мраморах 1–2 м²/ч. При добавлении в суспензию порошка карбида кремния скорость пиления возрастает в 3–3,5 раза. При канатно-алмазной распиловке канат армируется алмазами, что обеспечивает повышение производительности в 5–10 раз.

Для выполнения вертикальных пропилов пробуривается головная скважина. Более производительна петлевая схема, для которой в подошве блока проходит горизонтальный шпур до пересечения с вертикальной скважиной. Пропущенный через обе выработки канат соединяется. Аналогичным образом выполняется и горизонтальная подрезка.

Длина пропилов при канатной резке может достигать 20 м и более. Это дает возможность вести двухстадийную разработку. Первоначально от массива отделяется длинная панель. Панель опрокидывается на подушку из штыва и щебня и разделяется на блоки канатной резкой или другим способом.

Блоки, выдаваемые из карьера, могут иметь размеры в ширину

и высоту от 0,2 до 2 м, а в длину до 3,5 м. По объему они разделяются на пять групп: I — более 5 м²; II — от 2 до 5 м²; III — от 1 до 2 м²; IV — от 0,4 до 1 м²; V — от 0,01 до 0,4 м².

Отклонение от перпендикулярности двух смежных граней для пиленых блоков (выпилено не менее четырех граней) должно быть не более 60 мм на 1 м длины, для колотых — 100–150 мм. Высота неровностей граней не должна превышать: на нижней грани пиленых блоков — 40 мм, на остальных — 100 мм, колотых соответственно — 100–100 (IV–V) и 100–200 мм (I–III классы).

Промышленная обработка сырья. В процессе добычи и обработки облицовочных камней возникают различные фактуры поверхности: колотые, тесаные, пиленые, шлифованные, полированные и др. *Колотые фактуры* остаются на поверхности камней, не подвергнутых дальнейшей обработке и не имеющих следов инструмента. Это фактура (так называемая «скала») с высотой неровностей рельефа от 50 до 200 мм.

При изготовлении цокольных и других конструкционных блоков, бордюрных камней *колотые фактуры* обычно сочетаются с *тесаными* в виде периферических поясков или обработанных лицевых поверхностей. При этом в зависимости от обрабатывающего инструмента (зубило, бучарда с разными насадками) различаются такие фактуры, как «крупнобугристая» (шуба), «мелкобугристая», «рифленая», «бороздчатая» или «точечная» (бучердованная) — равномерно шероховатая с высотой неровностей рельефа до 5 мм. Тесаная продукция производится непосредственно на карьерах.

Добытые на карьере кондиционные блоки доставляются на камнеобрабатывающее предприятие, где они подвергаются распиловке на плиты многодисковыми или маятниковыми (рамными) станками. Последние оборудованы штрипсами — полосами мягкой стали (40–90 шт.), действующими с подачей в струе воды кварцевого песка или другого абразива (для гранитов — стальная дробь). Заправка штрипсов, равно как и дисковых фрез, твердыми сплавами, а тем более алмазами, значительно повышает производительность пиления (до 10 м²/ч на одну пилу). Фактура «пиления» имеет неравномерно шероховатую поверхность с неровностями до 2 мм.

Подача смазочно-охлаждающей жидкости при распиловке, помимо охлаждения рабочих поверхностей, имеет целью унос шлама и ослабление поверхностного слоя камня. Замена воды специальной

жидкостью с поверхностно-активными веществами повышает производительность резания в 1,3–2 раза на мраморах и до 3,3 раза на гранитах.

Выход плит при распиловке блоков зависит от толщины плит (номинальная 15–20 мм), ширины реза (6–8 мм) и степени сохранности, монолитности блока, отсутствия микротрещин. Выход облицовочных плит при распиловке блоков обычно колеблется в пределах 10–12 м²/м³ для гранитов и 11–21 м²/м³ для мраморов, достигая 23 м²/м³ для туфов (табл. 24).

Таблица 24. Средние значения использования добытой горной породы [12]

Показатель	Породы твердые	Породы средней твердости	Породы мягкие
Коэффициент выхода блоков	0,31	0,22	0,40
Толщина плит (мм)	50	20	40
Ширина пропила (мм)	8	8	6
Выход плит из блоков (м ² /м ³)	11	16	17
Выход плит из горной массы (м ² /м ³)	3,41	3,52	6,8

После распиловки плиты подвергаются окантовке, т. е. обрезке по стандартным размерам на фрезерных станках карборундовыми или алмазными дисками. Затем проводят *многоступенчатые операции шлифования* с последовательным повышением тонкости абразива (черный карборунд), добиваясь постепенного уменьшения следов обработки.

В *следующей операции обработки* (электрокорундом) возникает ровная бархатистая поверхность без следов обработки шлифовальным инструментом и с полно выявленными цветом и рисунком камня. Это фактура гладкая матовая, или лощеная. В зависимости от качества работы распиловочных станков операции шлифования могут сокращаться за счет начальных стадий.

Завершаются операции обработки облицовочных плит полированием войлочными кругами с оксидами хрома, олова или алюминия. Таким образом обеспечивается совершенно гладкая поверхность с зеркальным блеском, на которой рисунок камня и его цвет

предельно выявлены. Такая стандартная фактура называется полированной, или зеркальной.

Различают также фактуру после термообработки (шероховатая поверхность со следами шелушения) и фактуру после ультразвуковой обработки с выявленным цветом и рисунком. Некоторые рядовые мраморы после обработки ультрафиолетовым излучением в определенном диапазоне частот приобретают голубую окраску (месторождения Арымское, Буровщина и др.).

Для каннелюрования (вырезки желобов) колонн, производства валиков, плинтусов, фигурных карнизов и других фасонных изделий применяется специальное оборудование. При этих работах широкое применение получил термический способ, осуществляемый с помощью бензино-воздушных термоотбойников. Наибольшая производительность их — на крупнозернистых гранитах, гранодиоритах, порфиритах, меньшая — на кварцитах, низкая — на сиенитах и основных породах.

Декоративные свойства камня определяются сочетанием таких его показателей, как цвет, структурно-текстурные особенности, наличие рисунка, просвечиваемость и отражательная способность после полировки. Каждый из этих признаков может быть расценен в баллах по условной шкале, совокупность которых дает количественную оценку декоративности.

Горные породы, обладающие декоративными свойствами и предназначенные для изготовления облицовочных плит, архитектурно-строительных изделий и других облицовочных материалов, оценивают по следующим физико-механическим показателям: истинная плотность (удельная масса), средняя плотность (объемная масса), пористость, водопоглощение, декоративность в соответствии с нормативными документами.

Для пород, используемых при сооружении лестниц и полов, дополнительно определяется истираемость. Она должна быть не более 2,2 г/см² при слабом механическом воздействии; 1,5 г/см² — при умеренном и 0,5 г/см² — при значительном.

Стандартные размеры пиленых облицовочных плит установлены в пределах от 150 до 1200–1500 мм (длина и ширина), толщина — 8–330 мм. Фактуры лицевой поверхности разнообразны: точечная (бучардованная), термообработанная, обработанная ультразвуком, пиленая, шлифованная, лоцная, полированная.

Для бортовых камней установлено восемь типов, длина их от 300–700 до 2000 мм. Фактура — колотая, теской обрабатываются выступающие над грунтом поверхности.

Необходимость наиболее полного использования добытой горной массы требует, помимо производства попутных каменных изделий, комплексного использования отходов переработки. На гранитных карьерах отходы перерабатываются на строительный щебень и пески-отсевы. Отходы мрамора перерабатываются на декоративный щебень и крошку.

Некоторые месторождения, где нельзя получить качественные блоки, разрабатываются специально для указанных целей. При избыточных объемах таких материалов они используются для изготовления искусственных блоков на основе портландцемента (обычного или цветного) или полимерных материалов. Последующая распиловка блоков на облицовочные плиты обеспечивает дополнительный выход товарной продукции. Практикуется также изготовление клееных брекчиевидных плит из скола оконтовочных станков.

Оценка качества сырья. Оценку качества облицовочного камня производят по двум критериям — декоративности и прочности. В зависимости от направления использования приоритетное значение приобретают те или иные свойства. Тем не менее, прочностные характеристики, обеспечивающие долговечность камня, могут быть снижены только при внутренних работах. Применимость пород в конструкциях, соприкасающихся с грунтом (цоколи, парапеты и др.) оцениваются испытанием в растворе сернокислого натрия. После 10 циклов потеря массы не должна превышать 5 %.

При петрографической характеристике пород, помимо обычного описания структурно-текстурных особенностей, приводят данные о наличии включений минералов, отрицательно влияющих на долговечность облицовочных материалов. К ним относятся: сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит), сульфаты (барит, целестин, гипс, ангидрит), гидроксиды железа и другие вторичные компоненты, не устойчивые к выветриванию. При наличии подобных включений использовать горные породы для наружной облицовки и полов можно только после проведения специальных исследований.

При оценке качества камней выявляются также следы выветривания и другие вторичные изменения, микротрещиноватость, на-

личие включений, затрудняющих обработку низкопрочных пород вследствие более высокой твердости (желваки кремня и др.), а также рыхлые включения, выкрашивающиеся при обработке.

Для выявления скрытой микротрещиноватости блоков проводят ультразвуковое исследование, так как с повышением трещиноватости скорость продольных волн, как и амплитуда первой полуволны, уменьшаются. Это особенно важно при проведении на карьере взрывных работ.

Физико-механические свойства исходных горных пород и получаемых из них материалов исследуют в специализированных лабораториях по стандартным методикам, изложенным в ГОСТах.

Геолого-технологическое картирование на месторождениях облицовочных камней выполняется путем проведения массовых замеров трещиноватости на ряде участков, обособленных в структурно-тектоническом отношении. При картировании оценивают выход блоков по различным их группам приемами картографической интерполяции, что позволяет получить карты блочности в изолиниях. Аналогично картирование проводится в отношении декоративности, выраженной в баллах по отдельным ее показателям. При этом важно учитывать наличие и расположение зон дробления, разрывов, конфигурацию структурно-тектонических блоков и другие особенности строения месторождения.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы сферы применения облицовочных камней?
2. Перечислите основные виды горных пород, использующихся в качестве облицовочных камней.
3. Каковы природные и технологические типы месторождений облицовочных камней?
4. Какие существуют промышленные типы месторождений облицовочных камней?
5. Как разрабатываются месторождения облицовочных камней?
6. Каковы критерии качества облицовочного камня?

Глава 6

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КАМНИ И ЗАПОЛНИТЕЛИ БЕТОНА

Общие сведения. Строительные камни представляют собой обширную группу нерудных полезных ископаемых, занимающих по объемам потребления одно из первых мест в строительном производстве. Являясь инертными материалами, они включают пильные (стеновые) и облицовочные камни и наряду с песками и песчано-гравийными смесями составляют главный комплекс природных строительных материалов, используемых в естественном состоянии без применения термохимической обработки. Под строительными камнями понимаются скальные горные породы, перерабатываемые на различные материалы (монолиты, блоки, плиты, щебень, песок дробления и др.) механическим путем: дроблением, распиловкой, фракционированием и т. п. В качестве строительных камней используют горные породы разного происхождения: интрузивные, эффузивные, осадочные, метаморфические. В большинстве случаев минеральный состав горных пород не имеет существенного значения, определяющими являются физико-механические свойства, зависящие не столько от состава, сколько от структуры и текстуры пород. В наибольших количествах применяют карбонатные породы, граниты и сходные с ними горные породы. Реже используют габброиды, базальтоиды, песчаники.

Инертные строительные материалы, получаемые при переработке строительных камней, в преобладающей массе используются в качестве заполнителей тяжелых бетонов. Бетонами называются искусственные материалы — конгломераты, на 80–85 % состоящие из мелких и крупных заполнителей и соединяющего их вяжущего материала (портландцемента, битума и т. п.), в результате твердения которого получается монолитная, камнеподобная масса.

Характер заполнителя в большой степени влияет на качество бетонных конструкций. Тяжелые бетоны имеют среднюю плотность более 1800 кг/м^3 , а для защиты от излучений применяются особо тяжелые бетоны со средней плотностью до 2700 кг/м^3 . Легкие бетоны изготавливают на пористых заполнителях, в значительной части искусственных. Они обладают повышенными теплоизоляционными свойствами. Средняя плотность особо легких бетонов может быть менее 600 кг/м^3 . Для повышения плотности на растяжение (изгиб) цементобетонных изделий в них вводят стальную арматуру различного сечения, получая железобетон.

Использование заполнителей в бетонах сокращает расход более дорогого вяжущего вещества и придает бетону заданные свойства. Заполнители делятся на крупные — с размером зерен от 5 до 70 мм (щебень и гравий) и мелкие — с размером зерен 5 мм и менее (песок).

В качестве крупных заполнителей средней плотностью $2,0\text{--}10^3 \text{ кг/м}^3$ и более для тяжелых бетонов используют щебень из дробленых изверженных, метаморфических и крепких осадочных пород и гравий (галька, валуны), при необходимости также подвергнутый дроблению. Мелким заполнителем являются чаще всего природный песок, в том числе из состава песчано-гравийных смесей, и отсеvy дробления горных пород на щебень.

Пористые заполнители для легких бетонов получают дроблением пористых горных пород: туфов вулканических и известковых (травертинов), известняков. Значительные количества пористых заполнителей производят при термической обработке гидратированных горных пород, обладающих способностью вспучиваться при обжиге (глинистые породы, шунгиты, вулканические стекла, вермикулит и др.). Реже используют техногенные отходы — шлаки металлургических производств, электротермофосфорные и др., а также золы тепловых электростанций.

Пористые горные породы — известняки, диатомиты и вулканические туфы — средней плотностью не более 2100 кг/м^3 являются также источником получения стенового камня. Его распиловку на блоки необходимого размера производят непосредственно в массиве.

На территории России учтено более 1 тыс. месторождений строительных камней с запасами по промышленным категориям порядка 20 млрд м^3 и по категории C_2 — около 10. Разрабатывается более

500 месторождений. Ежегодно добывают около 100 млн м³ строительных камней.

В США в 2015 году было добыто 1,32 млрд т строительного камня для производства щебня на общую сумму 13,8 млрд долларов. Во всех штатах страны на 3700 месторождениях работает 1430 компаний. В США ежегодно ввозится по импорту около 20 млн строительных камней, таким образом, 76 % всего потребляемого щебня используется в строительстве, в основном в дорожном строительстве; 11 % используется при производстве бетона; 7 % — при производстве извести; 2 % — в сельском хозяйстве и 4 % — в прочих отраслях промышленности и строительства.

Из общего объема отечественного щебня, произведенного в 2015 году, около 70 % составили известняки и доломиты, 13 % — гранит, 6 % — базальт, 5 % — прочий камень, 4 % — песчаник и кварцит, а оставшиеся 2 % делят между собой в порядке убывания тоннажа мрамор, вулканический пепел и туфы, известковый мергель, сланец и ракушняк.

Значительную часть пористых заполнителей бетона получают обжигом различных горных пород: глин, суглинков, глинистых сланцев, шунгитов (керамзит, шунгизит), кремнистых пород (термолит), перлитов и иных вулканических стекол (вспученный перлит), вермикулита и других гидратированных слюд (вспученный вермикулит).

В качестве заполнителей бетонов используют также техногенные материалы — металлургические, топливные и прочие шлаки: литые, вспученные (поризированные), гранулированные.

Области применения. *Бутовый камень* (бут) — камень неправильной формы размером более 140 мм, который используется для кладки фундаментов, стен нежилых зданий и других сооружений в качестве заполнителя бутобетона при возведении массивных сооружений (плотины, молы, дамбы и др.), а также для отмосток при дорожном строительстве и других работах. Выпуск бутowego камня на карьерах строительных камней составляет около 5 % от объема всей товарной продукции.

Штучные камни представляют собой изделия правильной геометрической формы с обработанными поверхностями. Основной вид такой продукции — бортовые камни, предназначенные для выделения проезжей части дорог, въездов, тротуаров. Брусчатые

камни (брусчатка) — весьма долговечный материал для дорожных покрытий.

Прочие виды штучные изделий: архитектурно-отделочные детали, парапеты, ступени, плиты подоконные, накрывочные, цокольные и облицовочные, а также промышленные каменные изделия (валы, бегуны, жернова) для карьеров строительных камней не специфичны, так как требуют особых приемов разработки. Они производятся преимущественно на карьерах облицовочных камней и специальных предприятиях.

Пильные камни — блоки стандартного размера вырезаются дисковыми фрезами непосредственно в массиве горной породы. Представляют они эффективный стеновой материал, используются также для изготовления тонких армированных перегородок, перемычек. Дома из пильного камня отличаются повышенными звуко- и теплоизоляционными свойствами и не требуют ремонта внешних стен.

Щебень — наиболее массовый продукт, его выпуск обычно составляет 85–95% от объема всей товарной продукции. Щебень выпускается разделенным на фракции: 5(3)–10; 10–20; 20–40; 40–80 (70–140) мм.

Щебень используют:

- 1) в качестве основного заполнителя (тяжелого) бетона во всех бетонных и железобетонных строительных конструкциях; в качестве крупного заполнителя асфальто- и цементобетона, также балластного слоя покрытий автомобильных дорог и аэродромов;
- 2) для балластировки железнодорожных путей;
- 3) для всякого рода отсыпок, отмосток, планировочных работ.

Для легких бетонов используют щебень, полученный из пористых горных пород, а также искусственные пористые материалы, обычно керамзит, реже термолит, металлургические и топливные шлаки и др. Искусственные пористые заполнители, в особенности вермикулит и перлит, являются лучшим материалом для звуко- и теплоизоляции.

Дробленый песок-отсев используют в качестве заполнителя совместно со щебнем в бетонных (и асфальтобетонных) смесях и самостоятельно в штукатурных и кладочных растворах, а также в различных балластных и планировочных отсыпках. Выход этого материала — около 3–5%.

Щебень и дробленый песок, обладающие декоративными свойствами, используют для отделки фасадов и интерьеров сооружений, укладки мозаичных полов.

Тонко измельченный минеральный порошок, преимущественно карбонатных пород, служит компенсирующим наполнителем в асфальтобетонных смесях, чисто карбонатный порошок применяют для известкования почв. Некоторую часть щебня известняков используют на строительную и технологическую известь для обжига.

Промышленные типы месторождений. Промышленные типы месторождений горных пород, используемых в качестве сырья для производства строительных камней и заполнителей бетона, охарактеризованы в таблице 25.

Таблица 25. Промышленные типы месторождений горных пород, используемых для производства строительных камней и заполнителей бетонов [14]

Тип месторождения	Формы продуктивных тел	Продуктивные породы	Генетические типы	Размеры (м)	
				В плане	Мощность
Крупные массивы	Батолиты, крупные штоки	Гранитоиды	Магматогенные интрузивные	Тысячи	
Штоки, мощные жилы и дайки, купола	Штокообразные тела	Габброиды		Сотни	
	Рифы	Известняки	Биогенные	Сотни	Десятки и сотни
Пласты, пластообразные залежи	Покровы, потоки	Базальтоиды, туфы вулканические	Магматогенные эффузивные	Тысячи	До сотен
	Толщи	Мраморы, кварциты	Метаморфогенные		
	Слои	Карбонатные породы, песчаники и др.	Седиментогенные		

Природные и технологические типы сырья. Добыча горных пород, применяемых в качестве сырья для производства строительных камней и заполнителей бетона, ориентировочно составляет (%):

гранитоиды.....	37;
габброиды.....	3;
эффузивы.....	10;
осадочные.....	48 (в том числе карбонатные — 40);
другие.....	2.

Технологические типы строительных камней определяются физико-механическими свойствами горных пород. Важнейшим свойством является прочность, имеющая существенное значение для всех направлений использования строительных камней.

Технологические типы камней, выделяемые по прочности, в основном совпадают с природными типами: камни прочные — гранитоиды, габброиды, базальты, диабазы и кварциты; камни средней прочности — мраморы, плотные известняки и доломиты; камни малой прочности — туфы вулканические, пористые карбонатные породы, травертины.

Оценка месторождений при поисках и разведке. Поиски месторождений строительных камней проводятся, как правило, на площадях, тяготеющих к узлам сосредоточенного строительства. Планируются поисковые работы на основании геологических карт масштаба 1:200 000 и других геологических материалов.

В качестве поисковых критериев привлекаются петрографо-генетические — для выделения комплексов магматических пород, формационно-стратиграфические — для выявления карбонатных комплексов, геоморфологические с привлечением аэро- и космоснимков, позволяющих в скульптурном рельефе выделить возвышающиеся массивы скальных пород. Производят оценку прогнозных ресурсов категории Р₃.

Поисковые работы носят маршрутный характер и сопровождаются составлением геологических карт и схем масштабов 1:50 000–1:10 000. При этом используют поисковые признаки:

- наличие действующих и заброшенных карьеров по добыче строительного, облицовочного, пильного, сахарного камня, а также цементного, известкового, флюсового и некоторых других видов сырья;
- наличие останцов, выходов, высыпок скальных пород на водоразделах и осыпей на склонах;

- обнажения скальных горных пород в долинах постоянных и временных водотоков и искусственных выемках;
- глыбы и плохо окатанные валуны скальных пород в русловых отложениях постоянных и временных водотоков;
- наличие на топокартах обозначений отдельных камней, крутых перепадов рельефа, водопадов и резких изгибов рек.

Поиски сырья для легких заполнителей имеют свою специфику. В процессе поисковых работ выявляют и анализируют благоприятные и неблагоприятные географо-экономические предпосылки.

К благоприятным относят наличие автомобильных и железных дорог, водных путей, линий электропередач, источников промышленного водоснабжения, близость к узлам сосредоточенного строительства, действующим и проектируемым предприятиям строительной индустрии.

К неблагоприятным географо-экономическим предпосылкам относят наличие заповедников, заказников, охранных, зеленых и запретных зон, крутых и глубоких оврагов, путепроводов через автострады и железнодорожные магистрали, расположенные между предполагаемым месторождением и потребителем сырья, наличие жилых, хозяйственных, производственных сооружений на поисковом участке, отсутствие мостов через водные преграды. Обязательно определяют ценность сельскохозяйственных угодий в пределах территории поисков. Оценивают прогнозные ресурсы сырья по категории P_2 .

После выявления нескольких потенциально перспективных участков каждый из них исследуется более детально при необходимости с использованием расчисток, канав, скважин колонкового бурения. Расстояния между горными выработками и скважинами — от 0,5 до 2 км. Ресурсы каждого участка оцениваются по категории P_1 .

Из геофизических методов, применяемых при поиске месторождений строительного камня, наиболее информативными и распространенными являются электроразведочные, в первую очередь вертикальное электроразведочное (ВЭЗ) и различные виды электропрофилирования (симметричное, комплексное и др.).

Методами электроразведки с высокой точностью определяют мощность вскрышных пород, а иногда и полезной толщи, выявляют карстовые воронки, скрытые тектонические нарушения, зоны дробления, основные водоносные горизонты. Методы электроразведки

полезны при расчленении разрезов, определении формы и элементов залегания продуктивных тел.

По материалам, полученным в результате поисков, при сопоставлении с географо-экономическими факторами производят выбор участка для постановки оценочных работ.

Оценочные работы позволяют произвести уточнение поверхности и контуров выбранного участка, определение развития зоны выветривания, строения полезной толщи, качества камня, гидрогеологических условий, наличия попутных полезных ископаемых, оценку пригодности горных пород, обладающих декоративными свойствами, для использования в качестве облицовочных материалов. На месторождениях, расположенных в рудоносных районах и провинциях, скальные горные породы изучают на присутствие в них благородных и редких металлов, особенно золота и платины. В тех случаях, когда сырье пригодно для производства более ценной и дефицитной продукции, вопрос об использовании горных пород месторождения в качестве строительного камня согласовывают с заинтересованными организациями.

В процессе оценочных работ составляют геолого-литологические (петрографические) карты. При этом учитывают все изменения элементов залегания продуктивных тел, выделяют участки (слои), различающиеся по текстуре, структуре и другим особенностям, что позволяет выделить технологические сорта сырья. Густоту и форму разведочной сети выбирают в соответствии с конкретными условиями месторождения. Запасы подсчитывают по категории C_2 , а на наиболее перспективном участке благодаря сгущению разведочной сети — и по категории C_1 .

Разведочные работы выполняют на закрепленном лицензией месторождении или его части. При этом завершают изучение геологического строения месторождения, уточняют геологическую карту (на инструментальной основе), выявляют распределение типов и сортов сырья, определяют изменчивость его свойств. Запасы подсчитывают по категории C_1 и предварительно оцененные — по категории C_2 . Перевод их в промышленные категории производят в период освоения месторождения.

Поверхностные части месторождения, мощность вскрышных пород, развитие зоны выветривания изучают посредством проходки канав, расчисток, мелких скважин. Разведку месторождения на

глубину производят скважинами колонкового бурения на всю мощность продуктивной толщи или до заранее установленного горизонта (глубины отработки). Единичные скважины проходят на большую глубину для характеристики подстилающих пород.

В процессе оценочных и разведочных работ используют геофизические методы, в первую очередь электроразведку, сейсмо- и магниторазведку. Для выделения и оконтуривания продуктивных тел, определения элементов их залегания применяют ВЭЗ, симметричное электропрофилирование, сейсмо- и магниторазведку. Для этих же целей применяют электрокаротаж. В качестве вспомогательных методов используют радиоволновое и акустическое межскважинное просвечивание.

Все разведочные выработки и обнажения, вошедшие в контур подсчета запасов категории C_1 и выше, подвергают опробованию. Выход керна по скважинам должен быть не менее 80 %. Суммарная длина ненарушенных столбиков керна, из которых отбирают образцы для физико-механических испытаний, должна составлять не менее 25 % от мощности каждой разновидности пород.

Основным видом опробования является штупфное. В скважинах образцы отбирают в виде столбиков керна длиной 6–7 см при общей длине, достаточной для изготовления пяти образцов в ходе испытаний по сокращенной программе, которым подвергаются все пробы. При этом определяют плотность (удельная масса), среднюю плотность (объемная масса), пористость, водопоглощение, производят петрографическое описание (для части проб). Отбор проб производят для зон, затронутых выветриванием, через 0,25–0,5 м, в остальной части — через 2–3 до 5 м, в слоистых сериях — послойно.

Пробы для определения физико-механических свойств по полной программе отбирают в трех-четырёх пересечениях, характеризующих весь разрез. Каждая разновидность горных пород характеризуется не менее чем тремя пробами, которые отбираются не реже чем через 5–7 м при массивном и 3–4 м при слоистом строении полезной толщи. Отбираемые столбики керна должны обеспечить изготовление 15 образцов-цилиндриков диаметром 5 см. Из открытых выработок, обнажений отбирают монолиты размером $20 \times 20 \times 20$ см, из которых высверливают цилиндрические образцы. Помимо названных выше свойств, определяют предел прочности на сжатие в сухом, водонасыщенном состоянии и после замораживания (по

пять образцов). При необходимости определяют сопротивление изгибу и удару, истираемость.

С целью сокращения числа испытаний по полной программе (дорогих и длительных) и более рационального использования результатов сокращенных испытаний выявляют корреляционные зависимости между прочностью, пористостью, средней плотностью и водопоглощением.

Химические анализы выполняют из тех же штучных проб. Только для слоистых карбонатных пород, если предполагается попутное использование их для производства извести, применяют бороздочное опробование: в скважинах отбирают половину (четверть) керна. Определяют содержание SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , R_2O , SO_3 , потери при прокаливании.

В минимально необходимом объеме опробуют вскрышные породы для изучения возможностей их комплексного использования и последующих рекультивационных мероприятий.

Технологические свойства строительных камней определяют в лабораторных и полупромышленных условиях. Их количество и объем устанавливает заказчик в зависимости от выдержанности качества сырья и характера исследования. Масса таких проб составляет обычно от 10–15 до 250 кг.

Направление, характер и объем полупромышленных технологических исследований определяются программой, разработанной совместно с организацией, производящей такие исследования. Технологические свойства изучают с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для проектирования технологической схемы переработки сырья с наиболее полным, рациональным и комплексным использованием полезного ископаемого.

По результатам гидрогеологических исследований изучают основные водоносные горизонты, которые могут привести к обводнению эксплуатационных горных выработок, и определяют параметры, необходимые для расчета возможных водопритоков и разработки водопонижающих и дренажных мероприятий.

Инженерно-геологические исследования направлены на изучение всех факторов, обеспечивающих устойчивость бортов карьера и стабильность окружающих ландшафтов или вызывающих нежелательные явления (оползни, сели и т. д.). В необходимых случаях проводят геокриологические исследования.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучают с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения или его участка. Для этой же цели оценивают возможные источники хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, выделяют площади, под которыми отсутствуют залежи природного ископаемого, для строительства объектов производственного и жилищно-хозяйственного назначения, размещения отвалов.

Запасы строительных камней в охранных зонах крупных водоемов и водотоков, заповедников, памятников природы, истории и культуры не подсчитывают. Кроме запасов, разведанных на заданную потребность (амортизационный срок), предварительно оценивают резервные запасы, превышающие их до двух раз. Амортизационный срок для мелких карьеров принимается равным 10–15, для средних — 20–30 и для крупных — 40–50 годам.

Разработка месторождений. Разработка месторождений пород для производства строительных камней и заполнителей бетона осуществляется в подавляющем большинстве открытым способом (карьеры). Подземная разработка штольнями и шахтами применяется в основном при добыче пильного камня.

Карьеры по объемам добычи горной массы подразделяются на мелкие — до 700, средние — от 700 до 2000, крупные — свыше 2000 тыс. м³ в год. Разработка карьерами ведется по общепринятым технологическим схемам одним или несколькими добычными уступами. Для отбойки и рыхления скальных пород применяют буровзрывные работы с использованием аммиачно-селитренных, селитренно-тротиловых и других взрывчатых веществ. Заряды закладывают в скважины, пробуренные с поверхности уступа. Для разделки негабаритных пород используют шпурсы. На мелких карьерах при добыче бутового камня иногда применяют ручную выборку.

Транспортировку горной массы на дробильно-сортировочные фабрики производят автосамосвалами. Эксплуатационные потери горной массы при взрывных работах не превышают 0,5%.

Производство штучных изделий на карьерах, где применяют бризантные взрывчатые вещества, ограничено развитием в массиве микротрещиноватости, ведущей к разрушению изделий. При открытом способе разработку месторождений пильных камней произ-

водят с помощью камнерезных машин с дисковыми или кольцевыми фрезами. При подземной добыче применяют дисковые или баровые машины.

Промышленная переработка сырья. Технология производства строительных камней и заполнителей бетона включает дробление, сортировку пород и тепловую обработку глин. Технологическая схема дробильно-сортировочных фабрик состоит из нескольких стадий дробления горной массы в щековых и конусных дробилках с промежуточным грохочением для отделения стандартных фракций. Технологический цикл включает также промывку щебня и классификацию песка из отсевов дробления.

При переработке по такой технологии производят различные строительные камни, щебень, гравий и песок. Пильные камни получают непосредственно в результате горных работ путем специальной пиловки или других видов отделения камней от горного массива.

Технология производства заполнителей бетонов включает обжиг скальных или глинистых материалов при различных температурах на обжиговых машинах, включая агломерационные. В результате обработки минерального сырья получают следующие заполнители бетона: керамзит, аглопорит, перлит, вермикулит и др.

Наиболее массовым искусственным заполнителем легких бетонов является керамзит. Он представляет собой гранулы пористого материала мелкойчешуйчатой структуры с упроченной оболочкой, обладающие малой плотностью при значительной прочности и высокими теплозащитными свойствами. Его получают посредством ускоренного обжига легкоплавких глин. При пластическом способе подготовки сырья породу гомогенизируют при необходимости с корректирующими добавками в вальцах и глиномешалках. Формуют гранулы на дырчатых валках или кирпичеделательных прессах с перфорированными плитами. Гранулы проходят сушку и подогрев до 200–400 °С в барабанных сушилках, теплообменниках или непосредственно в начальной зоне вращающейся печи. Затем гранулы проходят зоны нагрева до 1100–1250 °С и вспучивания в нижней части печи. Коэффициент вспучивания в зависимости от качества сырья достигает 3–4, средняя плотность гранул — 400–600 кг/м³.

Аглопорит — легкий пористый материал, получаемый способом контактного быстрого (3–4 мин) спекания гранул на решетках агломерационных машин при температуре до 1400–1600 °С. Для произ-

водства аглопорита используют слабо или совсем не вспучивающиеся глинистые породы. В шихту вводят корректирующие добавки и мелко измельченное топливо.

Кремнистые породы (за исключением некоторых опок) в естественном состоянии непригодны для использования в качестве заполнителей для бетонов, так как они имеют низкий коэффициент размягчения и высокую реакционную способность. Их промышленная переработка на термолит устраняет эти недостатки. При сухом способе производства термолита из каменных пород, главным образом опок, сырье проходит стадии дробления на щековых и валковых дробилках и отсева на фракции. Слабые и рыхлые породы (трепелы, диатомиты) перерабатывают пластическим способом. Шихту готовят в глиномешалках, при необходимости с введением добавок. На дырчатых вальцах формуют гранулы. Гранулы, щебень или песок обжигают во вращающихся печах при температуре 1150–1250 °С. При этом материал почти полностью теряет реакционную способность и приобретает повышенную водостойкость и морозостойкость.

Перлит вспученный получают обжигом водосодержащего вулканического стекла (обсидиан, перлит и др.). Дробленый фракционированный материал первоначально подсушивают в барабанах при температуре 250–400 °С для удаления избыточной воды, затем обжигают в шахтных печах во взвешенном состоянии при температуре от 760–900 до 1100–1260 °С. Вспучивание происходит вследствие быстрого выделения структурной воды в момент размягченного состояния породы. Коэффициент вспучивания изменяется от 3 до 10. При медленном нагревании вспучивания не происходит.

Вермикулитсодержащую породу подвергают мелкому дроблению (до 2 мм), затем обжигу в шахтных печах с перегородками. Вспучивание начинается при температуре 120–200 °С и наиболее интенсивно происходит при 900–1100 °С. Мелкие частицы выносятся отходящими газами и улавливаются в циклоне, более крупные удаляются с пода печи. Объем частиц вермикулита увеличивается в 20–30 раз. Отделение его от пустой породы при необходимости производят флотацией.

Скальные породы, используемые в целях производства щебня для строительных работ (за исключением заполнителей легких бетонов), должны обладать средней плотностью не менее 2 т/м³. В та-

ких породах строго ограничивается содержание вредных примесей:

- аморфных разновидностей кремнезема (халцедон, опал, кремнь и др.) — не более 50 ммоль/л;
- серы, сульфидов (пирит, пирротин и др.) и сульфатов (гипс, ангидрит и др.) в пересчете на SO_3 — не более 0,5 % по массе;
- слюд и других слоистых силикатов, равномерно распределенных в породе, — не более 15 % по объему;
- магнетита, гидроксидов железа, апатита, нефелина, фосфорита как породообразующих минералов, равномерно распределенных в породе, — не более 10 % (каждого по отдельности), но при их сумме, не превышающей 15 % по объему;
- свободных волокон асбеста — 0,25 % по массе;
- угля и древесины — 1 % по массе.

При превышении указанных пределов проводят специальные исследования для определения возможности использования таких горных пород. К числу вредных примесей относят также галоиды (галит, сильвин и др.), цеолиты, графит, горючие сланцы.

При наличии в полезной толще включений, прослоев труднопромываемых глинистых пород (содержание фракций мельче 0,005 мм — 30–60 %, сопротивление сдвигу — 0,35–0,60 МПа) более 7 % по объему на высоту рабочего уступа или весьма труднопромываемых глин (более 60 % и более 60 МПа соответственно) до 1 % использование допустимо, если специальными испытаниями доказана возможность получения щебня, отвечающего установленным требованиям по содержанию пылеватых, глинистых частиц и глины в комках.

Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду. При разведочных работах получают материалы, позволяющие определять характер и степень воздействия разработок месторождения на окружающую среду и оценивать стоимость природоохранных и последующих рекультивационных мероприятий.

Вскрышные и вмещающие породы опробуют не только в качестве попутных полезных ископаемых, но и главным образом для использования их при рекультивации.

В процессе разработки месторождений основным источником загрязнения является пыль, образующаяся главным образом при взрывных работах. Однако на карьерах строительных камней пыле-

образование не столь велико благодаря высокой прочности разрабатываемых горных пород, поэтому при переработке горной массы достаточно обычных аспирационных средств.

Строительные материалы (щебень, песок и др.), полученные из горных пород, подвергают обязательной радиационно-гигиенической оценке. Материалы с эффективной активностью радионуклидов ($A_{эф}$) до 370 Бк/кг могут применяться во всех видах сооружений и прежде всего в строящихся жилых и общественных зданиях. При $A_{эф}$ от 370 до 740 Бк/кг возможно использование материалов при дорожном строительстве в пределах населенных пунктов и при возведении производственных зданий и сооружений. При $A_{эф}$ от 740 до 1350 Бк/кг материалы могут использоваться только при дорожном строительстве вне населенных пунктов.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких областях применяются строительные камни и заполнители бетона?
2. Каковы промышленные типы месторождений горных пород, используемых для производства строительных камней и заполнителей бетонов?
3. Как осуществляется разработка месторождений пород для производства строительных камней и заполнителей бетона?
4. Что включает в себя технология производства строительных камней и заполнителей бетона?

Глава 7

МИНЕРАЛЬНЫЕ КРАСКИ

Общие сведения. Минеральные краски, или природные минеральные пигменты, представляют собой горные породы и минералы, которые в сочетании со связующими придают различным поверхностям устойчивую окраску.

Природные минеральные пигменты, в отличие от органических, практически нерастворимы в воде, спирте, слабых кислотах, жидком стекле и связующих. Окрашивание производится неизменными цветными частицами путем равномерного их распределения и покрытия поверхности. Ценными свойствами минеральных красок являются яркость, однородность и устойчивость окраски по отношению к природным и техногенным воздействиям, сравнительная простота переработки, безвредность, дешевизна, близповерхностное залегание и широкая распространенность.

Минералы и породы, используемые как минеральные краски, окрашены оксидами, гидроксидами, безводными солями и кислотами поливалентных металлов в самые разнообразные цвета. *Хромофором природных красок служат* ионы железа, марганца, хрома, никеля, меди, ванадия, кобальта, кальция, а также органическое вещество.

Наиболее важное значение в окрашивании (в желто-красные, зеленые и голубые цвета) выполняют ионы железа. Самым сильным хромофором является железо в виде Fe^{+3} . Окраска значительного числа пород и минералов обусловлена присутствием марганца (коричневый и черный цвета), хрома и никеля (зеленый цвет), меди (зеленый и синий) и кальция (белый).

Потребность промышленности в минеральных красках велика. *Мировое производство* лакокрасочных продуктов, в значительной

части базирующееся на природных красителях, увеличивается на 4–6 % в год. *Мировая добыча* минеральных пигментов находится на уровне 450 тыс. т в год.

Лидирующими в мировой добыче цветных минеральных красок являются: Индия — 150 тыс. т, Россия — 65–70 тыс. т, Украина — 60–65 тыс. т, США — 40 тыс. т, Испания — 26 тыс. т и Франция — 15 тыс. т. В других странах, широко использующих природные пигменты, добыча составляет от 0,5–1,0 до 8–10 тыс. т.

Ввозят минеральные пигменты США, Германия, Англия, Канада, Япония и некоторые другие страны. Значительную часть минеральных красок вывозят Индия, Украина, Испания, США, Чили, ЮАР, Кипр.

В России разведана крупная сырьевая база природных пигментов. В настоящее время учтено 65 месторождений минеральных красок с суммарными запасами сырья 27,5 млн т, в том числе: 41 — глинистого (10,85 млн т); 15 — железоксидного (2,6 млн т); 2 — кремнеземистого (0,2 млн т); 1 — карбонатного (1,4 млн т); 6 — волконскоита. В Российской Федерации разрабатывалось 9 месторождений минеральных красок с добычей 70 тыс. т в год.

Области применения. Минеральные краски придают окрашиваемым материалам защитные, декоративные и некоторые другие свойства и находят применение в основном в качестве пигмента для производства красок (более 70 %), красящего наполнителя (20–22 %) и сырья для получения порошковых и искусственных пигментов (6–8 %).

В качестве пигмента минеральные краски применяют в лакокрасочной промышленности для производства готовых к употреблению масляных, лаковых, эмалевых, силикатных, кремнеорганических, антикоррозионных и других красок, сухих пигментных порошков, паст и красочных составов для получения красок на месте, а также для изготовления художественных красок. Наиболее широко используют охры, сиены, мумии, сурики, умбры и другие железистые и глинистые пигменты, характеризующиеся высокой укрывистостью, свето- и атмосферостойкостью.

Порошкообразные и пастообразные составы охры, мумии, сурика и некоторых других пигментов со связующими находят большое применение в строительстве. Их используют при производстве на месте водных красок (клеевых, известковых, эмульси-

онных, цементных и др.), при поверхностном и объемном окрашивании штукатурки, кирпича, бетонных, цементных, гипсобетонных, асбоцементных поверхностей, в производстве облицовочных плиток, стеклоэмалевых покрытий, декоративного окрашивания стекла и других изделий. При отделочных работах их применяют в качестве побелочного материала (в водных красках) как разбавители пигментов; для получения замазки и шпаклевки используют белые пигменты, главным образом мел и известняк, реже — каолин, тальк, пирофиллит и гипс.

В производстве *художественных красок* практически всех цветов пригодны пигменты, обладающие теплыми тонами, близкими к натуральным, с высокой светопрочностью, атмосферо-, водо- и маслостойкостью, химической совместимостью с другими пигментами. Некоторые из них обладают прозрачностью, необходимой для живописи. Такие пигменты пригодны для производства красок на масле, яичной или растительной эмульсии (темпера), водных красок со связующими из растительных клеев (акварель, гуашь) или воска (энкаустик), сухих красок в виде карандашей (пастели). Помимо охры, сурика, мумии, умбры, сиены и некоторых других пигментов, получаемых из пород и руд, широко используют цветные красочные минералы — азурит, лазурит, малахит, волконскоит, глауконит и др. Природные красители, используемые для производства художественных красок, имеют свою номенклатуру.

В качестве *красителя-наполнителя* тонкоизмельченные природные пигменты (охра, мумия, умбра, сурик, мел, известняк, каолин, тальк, гипс, сажа и др.) применяют в полиграфической, бумажной, обоевой, фарфорокерамической, пищевой, косметической, галантерейной промышленности при производстве некоторых строительных материалов, пластмасс, волокна, клеенки, кожзаменителей, линолеума, пластилина, карандашей и прочих изделий. Для получения порошковых и синтетических красителей, пигментов целевого назначения (термочувствительные, светящиеся, необрастающие, керамические и антикоррозийные) используют главным образом железосодержащие минеральные краски.

Минералов природных красок, в той или иной степени влияющих на свойства готовой продукции — минеральных пигментов, насчитывается более 20. К основным из них относят: из рудных минералов — гематит, гетит, лепидокрокит, ярозит, бемит, пиролюзит,

азурит, малахит; из нерудных — кальцит, глауконит, волконскоит, гарниерит, лазурит, вивианит, гипс, каолин.

Промышленные типы месторождений. По вещественному составу, геолого-минералогическим признакам и технологическим свойствам выделяют пять основных промышленных типов месторождений красочного сырья (табл. 26).

Железооксидный тип представлен оксидами и гидроксидами железа и породами, сильно обогащенными ими. Цвета пигментов — красный, желтый, коричневый или черный с различными оттенками. Железооксидный тип включает сурик железный, сиену, мумию железооксидную, охру железооксидную.

Глинистый тип представлен породами, окрашенными оксидами и гидроксидами железа, марганца и (или) органическим веществом в желтый, красный, розовый, фиолетовый, коричневый, серый и черный цвета разных оттенков. К нему относят охру, мумию, умбру и цветные глины.

Карбонатный тип представлен углекислыми соединениями кальция и магния белого, желтоватого и красноватого цветов. К карбонатному типу относят мел, известняк, доломитовую муку и красящие минералы — малахит и азурит.

Кремнеземистый тип — это горные породы и минералы, основная часть которых представлена силикатами или алюмосиликатами. Окраска зависит от химически связанных с кремнекислотой оксидов железа, никеля и других металлов, которые придают им желтые, красные, розовые, зеленые и синие цвета. К нему относят глауконит, гарниерит, цветные пески.

Сульфатный тип — это горные породы и минералы, основную часть которых составляют водные и безводные сульфаты щелочно-земельных металлов. Они представлены главным образом гипсом и ангидритом. Цвета пигментов — белый, голубовато-белый, серый, желтоватый, розовый.

Помимо этих пяти основных типов месторождений выделяют углистый, сернистый, фосфорно-кислый и некоторые другие, практическое значение которых невелико. Основное промышленное значение имеют месторождения минеральных красок осадочного (морского и континентального) генезиса и выветривания. По величине запасов месторождения красочного сырья подразделяют: на весьма крупные — сотни миллионов тонн, круп-

ные — десятки тонн, средние — до 10 т; мелкие — первые тонны.

Природные и технологические типы красочного сырья. Основные типы природного красочного сырья выделены в зависимости от вещественного состава красочных пород и минералов.

1. Сырье железоксидного типа.

Охра железоксидная — окисленная железная руда, хромофором которой являются гидроксиды железа, в основном гетит. Содержание Fe_2O_3 в ней достигает 85 %, цвет — золотисто-желтый, темно-желтый.

Сиена — разновидность железоксидных пигментов, состоящая из железа и коллоидной кремнекислоты с примесью глинистых минералов. Содержание Fe_2O_3 в ней составляет 40–60 %, Mn_2O_3 — 1–5 %. Марганец придает сиене коричневый оттенок, отчего цвет ее — желто-коричневый.

Мумия железоксидная — окисленная железная руда красного цвета, состоящая из безводных оксидов железа, глинистых минералов и кремнекислоты. Содержание Fe_2O_3 в ней составляет 35–65 %.

Сурик железный — окисленная железная руда или болотная железная руда, хромофором которой является гематит. Содержание Fe_2O_3 в руде составляет не менее 65 %. Цвет — темно-красный и ярко-красный.

2. Сырье глинистого типа.

Охра глинистая — глина, окрашенная гидроксидами железа. Содержание Fe_2O_3 в ней превышает 8 %, в среднем составляет 18–25 %. Цвет — от светло-желтого до золотистого.

Мумия глинистая — глина, окрашенная безводными оксидами железа в красный цвет. Содержание Fe_2O_3 в ней — более 20 %.

Умбра представляет собой глину, в которой алюминий замещен железом, окрашенную гидроксидами железа и марганца в коричневый цвет. Обычно содержание Fe_2O_3 в ней — около 40 %, Mn_2O_3 — 8–10 %. Цвет коричневый с зеленоватым оттенком.

Волконскоит — глинистый минерал из группы монтмориллонита, содержащий 15–20 % оксида хрома. Цвет его от травянисто-зеленого до черно-зеленого.

3. Сырье кремнеземистого типа.

Глауконит — водный алюмосиликат железа, магния и калия. Цвет его — от светло- до темно-зеленого. Содержание хромофора (Fe_2O_3) в глауконитсодержащих породах изменяется от 7–10 до 17–24 %.

Таблица 26. Основные промышленные типы месторождений минеральных красок

Тип месторождений	Генетический тип	Форма залежи	Размеры (м)
Железо-оксидный	Лагунно-морской	Пластовая, линзообразная	Сотни — первые тысячи
	Выветривания	Пластовая, линзообразная	Сотни — первые тысячи
	Озерно-болотный	Линзообразная	Десятки —сотни
Глинистый	Лагунно-морской	Линзообразная	Десятки —сотни
	Выветривания	Линзы, пласты, карманы	Сотни
	Озерно-болотный	Пластовая	Сотни
	Аллювиальный	Пластовая	Сотни
Карбонатный	Лагунно-морской	Пластовая	Сотни — первые тысячи
	Выветривания	Пластовая	Сотни — первые тысячи
Кремнеземистый	Лагунно-морской	Пластовая	Сотни — первые тысячи
Сульфатный	Лагунно-морской	Пластовая	Сотни

4. Сырье карбонатного типа.

Мел — осадочная карбонатная порода, состоящая на 98–99% из кальцита. Наиболее чистые сорта имеют белый цвет. Примеси глины, кварца, органического вещества, гетита или гематита придают ему разные оттенки — от серого до желтоватого.

Известняк — осадочная карбонатная порода, состоящая из кальцита (до 95–99% CaCO_3) с примесями терригенных частиц (до 5%). Цвет — белый, желтовато-белый.

Карбонатная охра — доломитовая мука или известняк, дезинтегрированный до сыпучей массы, окрашенный гидроксидами железа. Цвет — от светло- до темно-желтого. Содержание Fe_2O_3 — от 10 до 30–60%.

5. Сырье углистого типа.

Сажа природная — рыхлые, мягкие углистые скопления, являющиеся продуктом неполного сгорания богатых углеродом органи-

Мощность (м)	Среднее содержание хромофора (%)	Масштаб месторождения
От 2–5 до 20–30	50–75	До средних
2–20 (редко до 70)	30–60	До средних
0,1–3	50–70	Мелкие и очень мелкие
0,5–2	5–25	До средних
0,5–5	10–24	Мелкие
1–2	10–30	Мелкие
0,5–2	15–20	Мелкие
10–40	50–54 CaO	Средние, крупные
2–3	20	Мелкие
1–5	10–15	До средних
10–30	85–95 CaSO ₄ ·2H ₂ O	От средних до весьма крупных

ческих веществ (горение окисленных бурых углей). Хромофором является углерод. Цвет — черный. Часто содержит до 9–10 % Fe₂O₃.

6. Сырье сульфатного типа.

Гипс и ангидрит — водный и безводный серно-кислый кальций. Цвет — белый или бесцветный, иногда окрашены примесями в серый, желтый и другие цвета.

Кроме того, выделяют другие разновидности красочного сырья.

Мумия бокситная — высокожелезистый боксит, хромофором которой служит безводный оксид железа. Содержание оксида железа — не менее 17 %. Цвет — кирпично-красный.

Пиролюзит — перекись марганца. В марганцевых рудах содержание пиролюзита составляет до 82 % (содержание Mn — 64 %).

Вивианит — водная фосфорно-кислая закись железа (Fe₃(PO₄)₂ × 8H₂O). Встречается в виде светло-голубых скоплениями небольшими гнездами или пропластками. Вивианит обычно

бывает бесцветен, на воздухе быстро принимает голубую, а затем синюю окраску.

Выделяют и другие природные разновидности красочных пород и минералов:

- металлические (железная слюдка);
- глины, окрашенные оксидами и гидроксидами железа, марганца или органическим веществом (желтая, красная, серая и черная глинистая);
- красочные минералы (гарниерит, азурит, ярозит, малахит, лазурит);
- шунгит, графит, асфальт, киноварь, каолин, тальк, пиррофиллит, цветные туфы, цветные сланцы и др.

Все красочное сырье для производства природных минеральных пигментов по физико-механическим свойствам разделяют на твердые (преимущественно кристаллические) и мягкие (преимущественно аморфные) красочные породы и минералы.

Мягкое — рыхлое пигментное сырье, не требующее значительных затрат энергии на дезинтеграцию. Эти большие куски, плотные и крепкие, быстро дезагрегирующиеся водой при взбалтывании. Сырье представлено глинистыми (цветные глины, охра, умбра и мумия), железоксидными (охра, мумия, сиена, пиролюзит и сурики), углистыми (сажа, ожелезненные угли), карбонатными (мел, доломитовая мука) и некоторыми другими пигментами.

Твердое — пигментное сырье, требующее механического способа дезинтеграции и больших затрат энергии на измельчение. Это часть железоксидных (охра, мумия, сурик, железная слюдка), карбонатных (известняк, азурит), сульфатных (гипс) и кремнеземистых (глауконит, лазурит) пигментов.

По минеральным ассоциациям и физическим свойствам минеральные краски могут быть объединены в три технологических типа, отличающиеся методами обогащения:

- мономинеральное красочное сырье (сурик, мумия, охра, мел, гипс, волконскоит, лазурит, малахит), требующее только механической переработки;
- полиминеральное красочное сырье (охра, сиена, умбра, болотные руды, окисленные железные и марганцевые руды, глауконит, красочные минералы), требующие отделения от загрязняющих примесей и механической переработки;

— моно- и полиминеральное красочное сырье (известняки, красочные минералы), требующее глубокой физико-химической переработки.

Разработка месторождений. Горно-геологические условия большей части месторождений минеральных красок благоприятны для открытой разработки:

- мощность вскрышных пород (преимущественно рыхлых) не превышает 15–20 м;
- соотношение мощностей вскрышных пород и красочного сырья — менее (10–20):1;
- физико-механические свойства продуктивных и вмещающих пород кардинально отличаются;
- обводненность отсутствует или она слабая.

При разработке *открытым способом* высококачественных пигментов считают нормальным соотношение мощности вскрыши и полезного ископаемого 10:1 и допустимым — 45:1. Так, на Рудаевском месторождении (Воронежская обл.) глинистого типа пласт охры мощностью 0,2 м разрабатывают при вскрыше, сложенной в основном песками, — до 9 м, а мощностью более 0,3–0,5 м — при вскрыше до 20 м.

Выемку красочного сырья производят одноковшовыми экскаваторами, грейдерами или вручную. Рыхлые и мягкие породы (глинистые, мел, рыхлые железо- и марганцеворудные и некоторые другие пигменты) легко поддаются экскавации без предварительного рыхления. Их транспортируют на ленточных конвейерах, автосамосвалах или вагонетками.

Перед выемкой плотных и твердых пород горную массу измельчают взрывами до размеров кусков, удобных для дальнейшей погрузки и транспортировки (максимум 500–700 мм); негабариты также разделяют взрывным способом. При разработке твердых красочных пород высота уступов карьеров составляет чаще всего 10–15 м.

На месторождениях с крутым падением пластов карьерную отработку производят по транспортной системе, обеспеченной параллельным передвижением уступов с продольным забоем.

Разработку красочного сырья небольшой мощности, мелких месторождений художественных красок, болотных железных руд и красочных минералов производят открытым способом вручную.

В случае сравнительно глубокого залегания минеральных красителей, значительной мощности и крепости перекрывающих пород,

крутого залегания продуктивного слоя отработку месторождений красочного сырья производят *подземным способом*. Основными вскрывающими выработками при подземной разработке являются наклонные и вертикальные шахты и штольни, от которых проходят ряд вспомогательных выработок. Системы отработки месторождений — этажно-камерная, камерно-столбовая, камерная с обрушением и без обрушения.

Подземную разработку месторождений красочного сырья производят значительно реже, чем открытую. Ее чаще применяют на месторождениях красящих минералов и красочного сырья, добываемых попутно при разработке железных, марганцевых, полиметаллических и бокситовых месторождений.

Из нетрадиционных способов разработки месторождений пигментов следует указать на *скважинную гидродобычу* рыхлых железных руд на Курской магнитной аномалии. Гидроразмыв рудного массива осуществляют снизу вверх с получением пульпы заданной консистенции. В ряд скважин закачивают воду со сжатым воздухом, а из других — откачивают пульпу. Крупные фракции используют в виде железорудного сырья, а из самых мелких фракций изготавливают красители.

Промышленная переработка сырья. Красочное сырье в редких случаях непосредственно используют в виде минеральных красок. Обычно перед его потреблением требуется несложная обработка: удаление крупных частиц, инертных примесей и измельчение. Основные примеси и их влияние на качество пигментов приведены в таблице 27.

Таблица 27. Влияние примесей и допустимое их содержание в минеральных пигментах различного назначения [6]

Тип минерального пигмента	Область применения пигмента	Примесь	Допустимое содержание примеси (%)	Характер действия примеси
1	2	3	4	5
Сурик, мумия	Лакокрасочная промышленность	Водорастворимые соли железа	1,0–1,5	Коагуляция, изменение консистенции красок, нарушение красочной пленки

1	2	3	4	5
Умбра, охра	Окрашивающие цементы и асбестоцемента	Хлористые и сернистые соединения	0,1–0,3	Нарушение красочной пленки, коррозия металлических материалов
	Производство резины и искусственных кож	Щелочные металлы и марганец	0,1	Старение резины, снижение прочности изделий
Сурик, мумия, умбра, охра, волконскоит, сиена, марс	Художественные краски	Влага, органическое вещество	0–5	Снижение растяжимости, коагуляция, ухудшение пессированности и укрывистости
Мел, известняк, гипс	Наполнители красок и лаков	Кремнезем	0,5–0,7	Придание нежелательной окраски
		Глинозем и оксид железа	0,7	
	Бумажная промышленность	Оксид железа	0,2	Снижение белизны бумаги, придание нежелательной окраски — желтой
		Кремнезем, органическое вещество	0,2	Снижение белизны бумаги, придание нежелательной окраски — серой
	Химическая промышленность	Водорастворимые соли марганца	0,8–1,3	Понижение прочности, твердости, водостойкости изделий
		Хлорид-ион, сульфат-ион, глинозем и оксид железа	1,5–3,5	
Производство резины и искусственных кож	Кремнезем и оксид железа	0,15	Старение резины, размягчение каучука при вулканизации	

Основной целью при переработке природных пигментов не является получение химически чистого продукта. Важно, чтобы полученный пигмент обладал набором требуемых малярно-технических характеристик: цветом, интенсивностью окраски, укрывистостью, маслостойкостью и др.

Предварительное обогащение значительной части красочного сырья производят на месте разработки и в основном сводят к рудо-разборке, сушке и при необходимости к дроблению. Завершающую переработку красочного сырья производят на красочных заводах, обычно расположенных вблизи залежей сырья.

На эксплуатируемых месторождениях художественных красок обогатительных установок, как правило, нет. В связи с незначительной добычей сырья на большей части месторождений и территориальной их разобщенностью переработку сырья производят в цехах пигментов заводов художественных красок.

Способ обогащения пигментного сырья обусловлен его вещественным составом (химическим, минералогическим), гранулометрической характеристикой, структурой, физико-механическими свойствами и требуемым видом готовой продукции.

Промышленную переработку технологических типов красочных пород и минералов осуществляют сухими и мокрыми способами обогащения (табл. 28).

Сухому обогащению подвергают преимущественно однородное, высокодисперсное сырье с достаточно высоким содержанием хромофора, не содержащее пустой породы (окисленные железные руды, мел и цветные минералы). На мокрое обогащение направляют сырье, имеющее значительную долю пустых пород. Твердые породы подвергают дроблению в щековых, валковых, молотковых и других дробилках.

Мягкое красочное сырье и раздробленные твердые разновидности размалывают до дисперсного состояния в тубчатых и шаровых мельницах и подвергают воздушной сепарации по крупности частиц, при которой происходит удаление кварцевого песка, обломков гетита, извести, а также отделение мелкой пыли от воздуха.

В последнее время на многих лакокрасочных заводах используют сверхтонкое измельчение в струйных мельницах и ультразвуком. Сушку осуществляют на воздухе или в камерных сушилках при температуре до 110 °С.

Таблица 28. Основные способы обогащения и примерные технологические показатели переработки красочного сырья [6]

Минеральный тип красочных пород	Тип красочного сырья	Разновидность	Метод обогащения	Выход красочного пигмента (%)	Содержание хромофора (%)	
					Сырье	Пигмент
Моно-минеральный	Железо-оксидный	Сурик, мумия	Сухой (механический)	90–95	Fe ₂ O ₃ — 45–70	Fe ₂ O ₃ — 48–75
		Мел	Сухой (механический)	86–96	CaO — 52–54	CaO — 52–55
	Карбонатный		Мокрый (отмучивание)	93–97	CaO — 52–54	CaO — 52–55
Поли-минеральный	Сульфатный	Гипс, ангидрит	Сухой (механический)	90–95	Гипс — 85–95	Гипс — 92–99
		Сурик, мумия	Сухой (гравитационный)	85–95	Fe ₂ O ₃ — 12–70	Fe ₂ O ₃ — 15–80
	Железо-оксидный	Болотные руды	Термический (средне-температурный)	55–60	Fe ₂ O ₃ — 50–70	Fe ₂ O ₃ — 65–85
		Охра, мумия, сиена, умбра	Мокрый (отмучивание)	78–92	Fe ₂ O ₃ — 8–40	Fe ₂ O ₃ — 10–50
	Глинистый		Кремнеземистый	Сухой (гравитационный)	85–95	Fe ₂ O ₃ — 8–40
		Электромантная сепарация		60–70	Fe ₂ O ₃ — 1–7	Fe ₂ O ₃ — 2–24
Моно- и поли-минеральный	Карбонатный	Известняк, мел	Термический (высоко-температурный)	55–65	CaCO ₃ — 85–99	CaO — 52–55
		Волконскоит, азурит	Сухой (механический)	90–95	–	–
	Красочные минералы	Лазурит	Термический (средне-температурный)	80–85	–	–
		Лазурит	Мокрый (флотация)	65–70	–	–

Сухой гравитационный метод обогащения состоит во фракционировании измельченного красочного сырья по удельному весу воздухом и применим к красочным пигментам, имеющим небольшое количество примесей в виде песка, железняка, известковых включений, твердых пород, гальки, ила, гумуса, комьев земли и других пустых пород. Переработку осуществляют по схеме: отбор крупных кусков пустой породы, сушка, дробление, размол, рассев, воздушная сепарация. В производстве сухой охры сырье из глинохранилища поступает в глиноразрыхлительную машину, затем по транспортеру его подают в наклонный вращающийся сушильный барабан. Размол производят в шаровых мельницах. Поступившие из мельницы руды просеивают и подвергают воздушной сепарации.

Пигментное сырье, особенно глинистого и железооксидного типов, обычно загрязнено посторонними породами. Сухим методом мелкие песчаные, карбонатные и другие включения даже при самой тщательной сепарации не удаляются. Высокодисперсный конечный продукт с однородной величиной зерна и насыщенного цвета из таких пород получают мокрым способом, основанным на разделении частиц сырья по плотности, обычно отсадкой. Обогащение производят по следующей схеме: сухое или мокрое дробление, отмучивание, гравитационное обогащение, обезвоживание, сушка, измельчение и классификация.

При обогащении глинистой охры сырье мешалками переводят в тонкую суспензию, которую самотеком направляют на классификаторы. Коагуляцию производят кальцинированной содой или хлористым кальцием. Осадок охры после слива воды с отстойников подают пневматическим насосом в фильтры-прессы для обезвоживания (до влажности 40 %), затем в пресс для формовки на кирпичи. Последние сушат в тоннельной сушилке, а затем подают в бункер для охлаждения и далее на сухие шаровые мельницы для размола с последующей воздушной сепарацией. Этот способ широко используют в производстве художественных красок.

Способ обогащения мела зависит от его структуры, степени дисперсности и предполагаемого применения. Для малярных работ используют обыкновенный комовой мел, подвергнутый размолу, просеву и воздушной сепарации, а также сеяный мел. При использовании мела в качестве красителя-наполнителя или разбавителя

красок, где требуется особенно большая белизна и высокая дисперсность, применяют главным образом отмученный мел.

Обогащение кремнеземистых пигментов типа кварц-глауконитовых песков производят способом электромагнитной сепарации. Схема выделения глауконита следующая: дробление, сушка, тонкое дробление, магнитная сепарация, помол и воздушная сепарация.

Волконскоит и другие красочные минералы разбирают вручную. Куски освобождают от механических включений, дробят и размалывают.

Малахит и *азурит*, получаемые главным образом в виде тонкого порошка (отхода гранильных и ювелирных фабрик), только измельчают.

Лазурит после предварительного удаления извести (растворением в уксусной кислоте) обогащают прокаливанием в муфельных печах, а затем измельчают.

Термическая обработка природного красочного сырья представляет собой прокаливание (обжиг) красочных пород и минералов при различных температурах. При термической обработке происходит дегидратация и удаление органических веществ, окисление и изменение структуры исходного сырья. Продолжительность и температуру прокаливания определяют, исходя из вещественного состава сырья, требуемого цвета и качества пигмента. Среднетемпературная термическая обработка железо-оксидного сырья (сурик, сиена, мумия, болотные руды) включает: дробление, обжиг, размол и воздушную сепарацию. Обжиг проводят при температуре до 600–900 °С в газовых и электрических вращающихся муфельных или тоннельных печах. Мумию, сиену, озерные и болотные руды сначала прокаливают, а затем измельчают и сепарируют по крупности.

Схема получения железоксидных пигментов типа мумия и сурик включает: дробление в щековых дробилках, обжиг при температуре 600–700 °С во вращающихся печах, измельчение в шаровых мельницах и воздушную сепарацию по крупности.

Для получения *побелочной извести* из известняков производят высокотемпературный (1000–1300 °С) обжиг в шахтных печах с переводом углекислого кальция в безводную окись кальция с последующим гашением водой. Гашеную известь в виде известкового молока используют для побелки и в качестве связующего вещества для известковых красок.

Испытание качества сырья. Определение почти всех свойств минеральных красок и сырья для их производства производят в соответствии с существующими нормативно-методическими документами.

Предварительную полевую оценку качества природных пигментов осуществляют при поисках. Она заключается:

- 1) в визуальном определении цвета (по окраске на бумаге или в порошкообразном состоянии);
- 2) интенсивности (визуально путем разбеливания инертным материалом);
- 3) дисперсности (определение остатков на ситах 0,2; 0,1; 0,063 мм);
- 4) укрывистости (закрашивание эталона);
- 5) маслосъемности (количественная потребность льняного масла для превращения пигмента в пасту);
- 6) степени обогатимости сырья (сравнение цвета и веса сырья и продуктов просева или отмучивания).

Окончательную качественную характеристику красочного сырья производят на разных этапах геологоразведочных работ в лабораторных и заводских условиях. Определяют цвет, химический и минеральный состав руд, содержание растворимых в воде солей, хлористых и сернистых соединений, pH, дисперсность, а также маслосъемность, интенсивность, укрывистость, светостойкость, атмосферостойчивость, антикоррозийность и обогатимость сырья (способы переработки, технологические схемы).

Одним из основных качественных показателей минеральных красок является содержание в них хроматофора:

- а) для глинистого, железооксидного и кремнеземистого типов — оксидов и гидроксидов железа;
- б) для карбонатного — оксида кальция.

Наиболее точную оценку дает химический анализ. Для приближенного суждения о содержании железа (Fe_2O_3) используют рентгенорадиометрический анализ. Его применяют в качестве экспрессного, предшествующего химическому.

Содержание хроматофора на поисковой стадии определяют: по всем установленным природным разновидностям красочного сырья; при оценке месторождений — по всем технологическим типам сырья; при разведке — по всем рядовым пробам, отобраным из выработок,

находящихся в пределах контура подсчета запасов, а также технологическим пробам, характеризующим сырье месторождения в целом.

Химический состав красочного сырья устанавливают на основании элементных анализов проб. Определяют содержание SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 и ППП; для 10–20% отобранных проб — CaO , MgO , SO_3 и щелочи. При оценке и разведке глинистых и железооксидных пигментов достаточно определять Fe_2O_3 , Al_2O_3 и ППП; для карбонатных — CaO и CO_2 . Анализ этих элементов, а также pH, водорастворимых солей, хлора и серы производят для обогащенного продукта, отражающего по существу состав готового пигмента.

Изучение минерального состава и структурно-текстурных особенностей красочного сырья и получаемых из него пигментов обеспечивает более полную картину вещественного состава. Используют минералого-петрографический анализ, оптическую спектроскопию, термический и рентгенографический анализы. Определяющим показателем качества сырья являются малярно-технические свойства, оцениваемые в большинстве случаев для готового продукта, главными из которых являются маслосемкость и укрывистость (закрашивание эталона).

Технологические испытания красочного сырья проводят на всех этапах геологоразведочных работ. На поисковой и оценочной стадиях их сводят к определению степени обогатимости и выбору технологической схемы его переработки. Лабораторные определения физико-механических и малярно-технических свойств дают практически полное представление о качественной характеристике красочного сырья и в большинстве случаев являются достаточными для оценки промышленной ценности месторождения. На разведочной стадии лабораторные, укрупненно-лабораторные технологические испытания сводят к определению физико-механических и малярно-технических показателей готового продукта, получаемого из различных типов красочного сырья месторождения.

Опробуют различные методы переработки и выбирают наиболее приемлемый. Обогащение и испытание получаемого продукта осуществляют по полной схеме: определяют оптимальные режимы обогащения, исследуют готовый продукт и при необходимости проводят его ГОСТирование.

Для наработки пигментов проводят полупромышленные технологические испытания перерабатываемости красочного сырья.

Промышленные испытания осуществляют на действующих заводах по производству пигментов.

Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду. По многочисленным данным, сырье для производства пигментов и продукты его переработки токсичных веществ практически не содержат. Основные элементы красочных пород и минералов — Fe, Cr, Ca и другие элементы не входят в число токсичных. Предельно допустимая концентрация (ПДК) их в воздухе, воде, почве и продуктах питания довольно высокая. Наиболее токсичными химическими элементами минеральных красок являются Co, Ni, Cu, Mn и некоторые другие, содержание которых в сырье невелико. ПДК их следующие: Co — 50, Cu — 100, Ni — 50, Cr — 100 мг/кг; фитотоксичность: Mn — 500, Co — 100, Cu — 20, Ni — 80, Cr — 100 мг/кг.

Железо при обычном содержании его в растениях 50–250 мг/кг имеет низкую фитотоксичность и не нормируется. ПДК железа в хозяйственных и бытовых водах составляет 0,3–0,5, питьевых — менее 0,3, рыбохозяйственного назначения — 0,2–0,3 мг/л. При сильном загрязнении воздуха железо и большая часть его соединений оказывают лишь общетоксичное действие на человека. Железистая (охровая) пыль по своему химическому составу совершенно безвредна. ПДК железа в воздухе рабочей зоны производства составляет 10 мг/м³ и обычно не контролируется. Подпороговая концентрация железа, вызывающая хронические заболевания, — 150–250 мг/м.

При геологоразведке минеральных красок в большинстве случаев особых загрязнений природной среды не наблюдается. Минеральные краски всех типов обычно имеют низкую степень радиоактивности и по радиационно-гигиеническим свойствам не опасны.

Основными источниками нарушения природной среды при разработке месторождений красочного сырья являются карьеры и шахты по его добыче, а также используемый при работах автотранспорт. При переработке красочного сырья имеют место выбросы силикатной пыли в процессе дробления, пылегазовой смеси при измельчении и термообработке, а также сброс сточных вод обогатительных фабрик при мокром способе переработки сырья.

Пыль из карьеров и атмосферные выбросы обогатительных фабрик, в составе которых оксиды железа, кальция, алюминия, а также силикаты, железо, цинк, магний, тяжелые металлы (Cu, Ni, Cr), —

основные источники поступления этих элементов в окружающую среду. Это ведет к загрязнению почвы (превышение в 10–12 раз фоновых содержаний), ожелезнению и накоплению химических элементов в пахотном слое и растениях. Подобные выбросы предприятий ограничивают зоной радиусом от 6–7 до 10–12 км.

Перспективен используемый в Финляндии нетрадиционный метод очистки сточных вод пропусканием их через заросшие болота (особенно моховые). При этом железо и марганец из воды извлекаются, а вред болотной растительности не наносится.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы области применения природных минеральных пигментов?
2. Перечислите основные промышленные типы месторождений красочного сырья.
3. Какие главные типы природного красочного сырья вы знаете?
4. Как осуществляется промышленная переработка красочного сырья?

Глава 8

ТОРФ

Общие сведения. Торф — органическая горная порода, образующаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержащая не более 50 % минеральных компонентов на сухое вещество. Торф в ряде каустобиолитов занимает особое место как молодое геологическое образование, ежегодный прирост которого значительно превышает его добычу (в 120 раз). Торф является возобновляемым ресурсом, продолжая накапливаться на 60 % глобальных торфяников. Тем не менее, общемировой объем торфяников сокращался со скоростью 0,05 % в год за счет освоения земель для сельскохозяйственных нужд и строительства. Всего мировые ресурсы торфа составляют 5–6 трлн т на общей площади около 400 млн гектаров.

По данным Геологической службы США, *мировые запасы торфа* составляют 12 млн т, большая часть которых сосредоточена в Финляндии (50 %), Белоруссии (22 %) и России (8 %).

Российская Федерация располагает крупнейшими в мире ресурсами торфа и занимает одно из ведущих мест по изучению и использованию торфа в народном хозяйстве. Общее количество месторождений в России — более 65 тыс. (табл. 29). В благоприятных формах рельефа (тектонические впадины, ледниковые депрессии, надпойменные террасы) образовались крупнейшие торфоболотные системы. Заторфованность территории в этих случаях достигает максимальных величин, например в Беларуси — 15, Швеции — 16, Финляндии — 32, Западной Сибири — почти 50 %.

Большая часть торфяных ресурсов России сосредоточена в Западной Сибири; только в Томской и Тюменской областях сконцен-

трировано более половины ресурсов страны. Возможные масштабы ежегодной добычи торфа определяются в 230 млн т. Так, Северный экономический район располагает значительными геологическими ресурсами торфа, обеспеченность которыми на уровне добычи 2005 года составляет около 1000 лет. Район характеризуется высокой обеспеченностью разведанными торфяными запасами по категориям А + В, достаточными на 120 лет. В Центральном и Волго-Вятском экономических районах практически все запасы торфа изучены по категориям А + В.

Таблица 29. Ресурсы торфа по типам залежи (млн т) [4]

Регион	Тип				Всего
	Верховой	Переходный	Низинный	Смешанный	
Российская Федерация	81 731	23 415	44 697	4 738	154 583
Нечерноземная зона	15 951	5 409	13 179	1 474	36 014
Экономические районы:					
Северо-Западный	10 943	3 105	5 091	832	19 972
Центральный	1 884	334	2 505	239	4 963
Уральский	2 634	1 826	4 422	275	9 158
Западно-Сибирский	63 034	15 524	26 530	29 853	107 774
Восточно-Сибирский	2 225	714	779	254	3 972
Дальневосточный	488	2 047	3 544	23	6 103

В Центрально-Черноземном и Поволжском экономических районах геологоразведочные работы на торф завершены. Северо-Западный экономический район характеризуется значительными торфяными ресурсами и интенсивной торфодобычей. Обеспеченность его торфяными ресурсами превышает 160 лет. Торфяные ресурсы Уральского экономического района сосредоточены в основном в Пермской и Свердловской областях, в остальных районах ресурсы ограничены.

Западно-Сибирский экономический район уникален по концентрации торфяных залежей. Почти 70 % ресурсов страны находится в этом районе. Общая площадь торфяных болот в Западной Сибири оценивается в 40 млн га. В силу геологического строения, климатических и природных условий на этой территории интенсивное заболачивание и торфообразование происходило на протяжении почти 10 тыс. лет. Ежегодный прирост торфа на территории Западной Сибири (в пересчете на сухое вещество) составляет около 10–20 млн т в год. Этот край является уникальным по концентрации торфовианитов и вивианитовых торфов — болотных фосфатов, прогнозные ресурсы которых оцениваются в 37 млн т. Восточно-Сибирский экономический район характеризуется крайне неравномерной изученностью торфяных ресурсов. Дальневосточный экономический район в целом имеет недостаточную изученность торфяных ресурсов, за исключением Камчатской области.

Области применения торфа. Основными потребителями торфа являются сельское хозяйство и энергетический комплекс. На ранних стадиях добычи торф применялся в качестве бытового топлива, но затем началось его широкое использование в промышленности и энергетике в виде фрезерной крошки, брикетов, полубрикетов, кусков, гранул. В большинстве стран мира торф в качестве топлива (главным образом, как бытовое топливо) используется в ограниченном количестве.

Большая часть торфяных ресурсов используется в сельском хозяйстве. В некоторых странах построены заводы, выпускающие торфоминеральные удобрения. Малоразложившийся сфагновый торф используется на подстилку животным и на птицефермах, для приготовления парниковой почвы, насыщенной минеральными удобрениями. В США, Канаде и некоторых тропических странах торфяные месторождения используются для выращивания овощей и садовых культур, посевов риса.

В большинстве стран мира торф в виде крошки применяется для упаковки скоропортящихся продуктов, овощей и фруктов при дальних перевозках. В некоторых странах он используется для очистки сточных вод и поверхности земли от нефтепродуктов, а также в качестве сырья для химической и энергохимической промышленности.

Из торфа путем термической переработки получают кокс, газ, брикеты, активный уголь, битумы, воски, гуминовые кислоты и дру-

гие продукты. Почти во всех странах мира торф широко применяется в *медицине и курортологии*, в ряде стран — как изоляционный и строительный материалы. Продукты переработки торфа находят широкое применение в машиностроении, мебельной, полиграфической и косметической промышленности, в производстве товаров бытовой химии.

Среди новых продуктов переработки торфа положительно рекомендовали себя белковые и кормовые материалы, торфо-гуминовые и комплексные гранулированные удобрения, активные угли и сорбенты различного назначения, сырые и модифицированные воски, модельные составы для точного литья, разделительные смазки для получения изделий из пенополиуретанов для нужд автомобильной промышленности, стабилизаторы и разжижители природных материалов в строительной промышленности и при бурении скважин.

Состав торфов. Органическая часть торфа состоит из гелифицированных, фюзенизированных, липоидных компонентов и водорослей. Под микроскопом органическое вещество имеет желтый, бурый, коричневый, черный цвета и различную степень сохранности структуры.

Гелифицированные компоненты представлены остатками древесины, кустарников, их корнями и поровыми тканями, стеблями и корешками трав, паренхимой листьев и хвои, остатками сфагновых и гипновых мхов. Значительная часть осок, хвоща, шейхцерии и пушицы представлена их подземными частями — корнями и корневищами.

Фюзенизированные компоненты имеют второстепенное значение. Они представлены древесными и травянистыми остатками. В шлифах цвет их — от темно-коричневого до черного.

Липоидные компоненты представлены оболочками микроспор и пыльцы, кутикулой, семенами и включениями смол. В торфах многих месторождений встречаются панцири диатомовых водорослей.

Растения-торфообразователи различных видов существенно отличаются по химическому составу и свойствам. В сфагновых мхах содержится небольшое количество битумов, много легкогидролизуемых и водорастворимых соединений. Травянистые растения-торфообразователи по сравнению с мхами и кустарниками содержат больше целлюлозы, для которой характерна лабильность

при гумификации, что приводит к образованию торфов более высокой степени разложения. Древесные растения-торфообразователи существенно отличаются от мхов и трав высоким содержанием целлюлозы и лигнина и пониженным содержанием азота и кислых фракций. Элементный состав растений-торфообразователей колеблется незначительно и состоит из углерода (50–53 %), водорода (5,5–6,5 %) и азота (0,8–1,9 %). Азотом наиболее богаты травы и особенно шейхцерии. Большинство растений-торфообразователей содержит биологически активные вещества, концентрирующиеся в гуминовых кислотах торфов.

В торфе выделяют следующие группы соединений: битумы, водорастворимые легкогидролизующие гуминовые вещества, целлюлозу и негидролизующий остаток (лигнин).

Минералы в торфе с генетических позиций разделяют на терригенные, аутигенные и биогенные.

Терригенные минералы поступают на торфяное месторождение путем водной и воздушной миграции. Наибольшее распространение имеют глинистые минералы, полевые шпаты и кварц. Реже наблюдаются слюда, роговая обманка, эпидот, хлорит.

Аутигенные минералы образуются непосредственно в торфяной залежи из растворенных в болотных водах химических веществ. Из таких минералов встречаются гипс, пирит, лимонит, сидерит, виванит.

Биогенные минералы образуются в растениях в процессе их отмирания. Минералами биогенного происхождения являются кремниевые и кальциевые образования (фитолит и веселит).

Неорганические компоненты торфяной воды встречаются в ионной, молекулярной, коллоидной формах, а также в виде органо-минеральных комплексов. Из анионов в торфяной воде присутствуют HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ; из катионов — Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ .

Зола торфа состоит на 98–99 % из кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, фосфора, серы. В золе торфа встречаются до 40 микроэлементов, содержание которых не превышает десятых долей процента: медь, цинк, кобальт, молибден, марганец, никель, ванадий, хром, титан, олово, свинец и др.

Общая зависимость содержания элементов от состава торфа обусловлена водно-минеральным режимом торфяных месторождений. Высокосольные прослойки торфа образуются в условиях мак-

симального поступления на месторождение минеральных веществ с подземными водами, обогащенными солями кальция, железа, фосфора и серы. При этом образуются песчаный, глинистый, известковый, охристый, вивианитовый или сернистый вид торфа.

Промышленные типы месторождений. Торфяные залежи — напластования одного или нескольких видов торфа от поверхности месторождения до подстилающих грунтов или сапропеля — подразделяются на четыре типа: низинный, переходный, смешанный и верховой.

К *низинному типу* относятся залежи, сложенные полностью или более чем наполовину видами низинного торфа, причем слой видов верхового торфа не превышает 0,5 м; к *переходному* — залежи, сложенные полностью или не менее чем наполовину видами переходного торфа, причем слой видов верхового торфа не превышает 0,5 м; к *смешанному типу* — залежи, сложенные видами верхового торфа не более чем наполовину ее глубины, но и не менее чем на 0,5 м; к *верховому типу* относятся залежи, сложенные видами верхового торфа полностью, либо не менее чем наполовину ее глубины.

Каждый тип залежи подразделяется на подтипы (лесной, лесотопяной и топяной) и виды.

К *лесному подтипу* относятся залежи с преобладанием в толще лесных торфов; к *лесотопяному подтипу* — залежи, полностью сложенные лесотопяными или состоящие из лесных (лесотопяных и топяных) торфов; к *топяному подтипу* — залежи с преобладанием топяных торфов.

Вид торфяной залежи — низшая единица классификации залежей, она выделяется по преобладающим видам торфа и по характеру их напластования на глубине. Вид залежи получает свое название по преобладающему виду торфа.

В соответствии с геоморфологической классификацией выделяются группы торфяных месторождений пойм, террас, водораздельного моренного рельефа.

Месторождения пойм отличаются удлиненной формой в плане, преобладанием в растительном покрове осоковых и осоково-гипновых и тростниковых фитоценозов. По различию геоморфологических признаков пойм данная группа делится на месторождения надморенных пойм, плавневых пойм, стародельтовых пойм, долинных пойм, пойменно-притеррасных и пойм сквозных долин.

Торфяные *месторождения террас* чаще имеют округлую форму, покрыты растительностью верхового типа. В зависимости от расположения на площади террас группа делится на притеррасные месторождения первых надпойменных террас, месторождения склонов вторых надпойменных террас, симметричные месторождения вторых аллювиальных террас и террас размыва; притеррасные месторождения вторых надпойменных террас, склонов третьих надпойменных террас и староречий.

Торфяные *месторождения водораздельного моренного рельефа* делятся на торфяные месторождения зандровых равнин, повышенных моренных равнин и котловин.

По геоморфологическим условиям залегания могут быть выделены *месторождения овражные, горные, провальных воронок* и другие, которые занимают меньшие площади и менее распространены.

Природные и технологические типы торфа. *Тип торфа* — высшая таксонометрическая единица классификации видов торфа, отражающая исходные условия торфонакопления по степени минерализации питающих вод. Выделяются три типа — верховой, переходный и низинный.

Подтип торфа — таксонометрическая единица классификации типов торфа, отражающая соотношение основных растений-торфообразователей по их потребности в обильном водном питании. В каждом типе торфа различают три подтипа: лесной, в ботаническом составе которого древесных остатков от 40 до 100%; лесотопяной — от 15 до 35%; топяной — не более 10%.

Группа торфа — таксонометрическая единица классификации видов торфа, выделяемая на основании соотношения в торфе остатков отдельных групп растений-торфообразователей. В каждом типе торфа различают шесть групп: древесную, древесно-травяную, древесно-моховую, травяную, травяно-моховую, моховую.

Вид торфа — низшая таксонометрическая единица классификации торфа, характеризующаяся постоянным сочетанием преобладающих остатков отдельных видов растений-торфообразователей, отражающих исходные растительные ассоциации.

Комплексное использование торфа обуславливает необходимость деления всего разнообразия природных видов на несколько сравнительно однородных группировок с более или менее постоянным составом и одинаковыми свойствами. Этому принципу соответ-

ствуется промышленная классификация торфяного сырья (табл. 30). В ее основу положены четыре параметра: показатель ботанического состава торфа (три типа), степень разложения (три класса), теплота сгорания (три группы) и зольность торфа (шесть подгрупп). В этой последовательности расшифровываются индексы торфа по промышленной классификации. Например: П113 — торф переходного типа, первого класса по степени разложения, первой группы по теплоте сгорания и третьей подгруппы по зольности.

Таблица 30. Промышленная классификация торфа [4]

Показатель ботанического состава		Показатель степени разложения		Показатель теплоты сгорания		Показатель зольности	
Тип	pH	Класс	%	Группа	ккал/кг	Подгруппа	%
Верховой	До 3,6	1	0–20	–	–	–	–
		2	21–34	–	–	1	0–5
		3	>35	–	–	2	5,1–10
Переходный	3,6–4,8	1	0–20	1	До 5200	3	10,1–15
		2	21–34	2	5201–5600	4	15,1–23
		3	>35	3	>5600	5	23,1–35
Низинный	>4,8	1	0–15	–	–	6	35,1–50
		2	16–34	–	–	–	–
		3	>35	–	–	–	–

Выделенные в промышленной классификации торфяного сырья 18 таксонометрических единиц по первым трем параметрам и шести подгруппам по зольности позволяют установить, какому из возможных направлений использования торфа соответствует каждый качественно определенный вид торфяного сырья (табл. 31).

Разработка месторождений. Разработка торфяных месторождений производится исключительно открытыми горными работами. Добыча осуществляется в основном экскаватором, фрезерным способом и щелевым фрезерованием. Вместе с добычей производится и первичная подготовка торфа к использованию. В качестве товара торф представлен кусковым или сыпучим материалом.

Технологический процесс производства кускового торфа состоит из следующих последовательно выполняемых операций: добычи торфа-сырца и его переработки, выстилки торфяной массы на поле

с одновременным формированием на куски установленной формы и размеров, сушки торфяных кирпичей и уборки готовой продукции в штабели.

Кусковой торф производится экскаваторным способом, когда торфяная залежь разрабатывается на полную или максимально возможную глубину, и способом щелевого фрезерования на глубину 0,4–0,8 м.

Фрезерный способ относится к послойно-поверхностным, так как торфяная залежь разрабатывается тонкими слоями с поверхности короткими циклами. Торфяные месторождения для разработки фрезерным способом предварительно осушают и подготавливают эксплуатационные площади, спланированные по определенным схемам.

Технологический процесс производства торфа состоит из трех стадий:

- 1) получения торфяной крошки путем фрезерования верхнего слоя торфяной залежи на глубину 6–20 мм фрезерными барабанами;
- 2) сушки слоя крошки на поверхности эксплуатационной площади до установленной влажности;
- 3) уборки торфа в штабели.

После фрезерования, сушки и уборки одного слоя фрезерного торфа производится новое фрезерование, и затем все стадии производства повторяются в указанной последовательности. Законченный комплекс по фрезерованию торфяной залежи называется технологическим циклом производства фрезерного торфа.

В зависимости от вида получаемой продукции и применяемого оборудования технологический процесс добычи фрезерного торфа осуществляется по трем схемам.

Первая технологическая схема состоит из фрезерования торфяной залежи на глубину 8–20 мм, трех ворошений слоя фрезерной крошки, сбора высушенного торфа в валки и уборки валков в полевые штабели. Технологический цикл продолжается один-два дня.

Вторая технологическая схема состоит из фрезерования торфяной залежи на глубину 6–12 мм, одного ворошения и уборки готовой продукции пневматическим способом. Продолжительность цикла не превышает одного дня.

Третья технологическая схема состоит из фрезерования залежи на глубину 15–20 мм, двух ворошений и уборки готовой продукции

из расстила в штабели пневматическим способом. Технологический цикл продолжается два дня.

По первой технологической схеме торф добывается для получения топлива, брикетов, торфоминеральных удобрений и продуктов гидролиза; по второй — для получения торфяного топлива, брикетов; по третьей — для получения подстилки.

Промышленная переработка торфа. Торф используется как в сыром, так и в обработанном виде. Необработанный торф наиболее широко используется в сельском хозяйстве. Однако подавляющий объем добываемого торфа используется в виде обработанной торфяной крошки и продукции из нее (удобрения, горшочки, брикеты, плиты и т. д.), широко потребляемой сельским хозяйством, энергетикой, строительной и химической промышленностью.

В сельском хозяйстве используются различные органические удобрения из торфа в виде компостов, торфоминеральных удобрений полевого и заводского производства для различных грунтов и субстратов теплиц и парников, питательных брикетов, микропарников и микросадиков, торфодерновых ковров, углеводно-протеинового корма, стимуляторов роста и т. д.

В качестве торфяной продукции применяется фрезерный торф, который характеризуется отсутствием семян сорняков и болезнетворных бактерий, обладает хорошей сыпучестью и может транспортироваться. Для торфяной подстилки используется слаборазложившийся торф с высокой влагоемкостью.

Торфяные топливные брикеты — куски правильной формы в виде призмы с закругленными углами. Влажность продукции составляет 11–18 %, зольность — до 15 %, прочность на изгиб плашмя — 2,5–4, на ребро — 4–6 МПа, плотность в навале — 700 кг/м³ и в укладке — 950 кг/м³, теплота сгорания при влажности 15 % и зольности 11 % равна 16,6 МДж/кг. Влагоемкость за 0,5 ч пребывания в воде с температурой 20 °С равна 30–50 %. Брикетирование — процесс превращения массы фрезерного торфа в куски правильной формы. Он состоит из следующих операций: подготовки торфа к сушке, сушки до влажности 14–18 %, прессования сушенки, охлаждения и складирования брикетов.

Фрезерный торф как сырье для брикетирования характеризуется нормируемыми и дополнительными показателями: типом, видом, ботаническим составом и степенью разложения залежи, фракци-

онным составом, содержанием не смерзающейся и смерзающейся влаги, теплоемкостью и теплопроводностью, пористостью, склонностью к саморазогреванию и самовозгоранию и теплотой сгорания.

Изоляционные плиты из торфа представляют собой тепло- и звукоизоляционный материал. Сырьем для изоплит служит верховой сфагновый торф со степенью разложения от 5 до 12 % и влажностью 91–94 %. Допускается добавление в торф до 30 % по сухому веществу грубого древесного волокна и других растительных остатков. Плиты выпускаются однослойными, двухслойными и трехслойными. В зависимости от назначения они подразделяются на следующие виды: водостойкие — содержащие гидрофобизаторы; трудносгораемые — содержащие антипирены; биостойкие — содержащие антисептики; комплексные — совмещающие в себе вышеуказанные свойства; обыкновенные — изготовленные без добавления каких-либо веществ, придающих плитам особые свойства. Торфяные изоляционные плиты применяются для теплоизоляции промышленных холодильников, строительных конструкций промышленных зданий, овощехранилищ, трубопроводов.

Пиролиз торфа — процесс химического изменения топлива под действием высоких температур. Пиролиз торфа начинается при температуре 140–150 °С с образованием пирогенетической воды. Выделение газа происходит при температуре 170–190 °С, дегтя — 200–230 °С. При температуре 550 °С прекращается выделение смолы и пирогенетической воды, выделение газа продолжается до 900 °С. В зависимости от степени деструкции торфа пиролиз подразделяют на бертиниование, полукоксование и коксование.

Бертиниование — первоначальная стадия пиролиза до выделения дегтя; обычно оно проводится при температуре 200–300 °С. *Полукоксование* — термолит до 550 °С. *Коксование* — пиролиз торфа до выхода летучих веществ не более 7 % — осуществляется при температуре 700–800 °С. По мере увеличения степени разложения исходного торфа выход твердых продуктов пиролиза и смолы увеличивается, а выход пирогенетической воды и газа уменьшается (табл. 32).

При увеличении температуры нагревания выход твердых продуктов пиролиза падает, а летучих продуктов возрастает (табл. 33).

Газификация — процесс превращения органической части топлива в горючий газ посредством взаимодействия воздуха при

Таблица 32. Выход продуктов полукоксования на сухую массу (%) [4]

Степень разложения торфа (%)	Полукокс	Деготь	Пирогенетическая вода	Газ
15	38,8	7,4	28,8	25,0
30	39,3	16,2	21,4	23,1
50	42,4	16,2	19,1	22,3

Таблица 33. Выход продуктов пиролиза на горючую массу (%) [4]

Температура пиролиза (°С)	Твердые продукты	Деготь, смола	Пирогенетическая вода	Газ
530	38–46	14–19	10–22	24–31
700	33–39	14–19	11–23	26–38
820	31–38	14–18	10–24	26–40
900	30–36	14–19	10–23	28–44

высокой температуре с кислородом, водяным паром, углекислотой или их смесями. Процесс газификации осуществляется в газогенераторах различных конструкций. Основным условием нормального течения процесса газификации является равномерная и хорошая газопроницаемость слоя топлива, поэтому содержание мелочи менее 25 мм в торфе не должно быть больше 12%. Кроме того, температура размягчения золы не должна превышать 1100°С. Для слоевых процессов газификации пригоден мелкокусковой и кусковой торф влажностью до 45% из залежей верхового типа со степенью разложения 25–55% и залежей низинного типа со степенью разложения 25–40%, за исключением лесных.

В результате гидролиза торфа кислотами получают полисахариды, белок и некоторые иные продукты. Скорость гидролиза повышается с возрастанием концентраций серной или соляной кислоты и температуры. Технологическая схема гидролиза торфа разбавленной кислотой приведена на рисунке 9, а схема окисления негидролизуемой части торфа — на рисунке 10.

Кормовые дрожжи — продукт биохимической переработки сахаров. На основе торфяных гидролизатов с помощью специальных

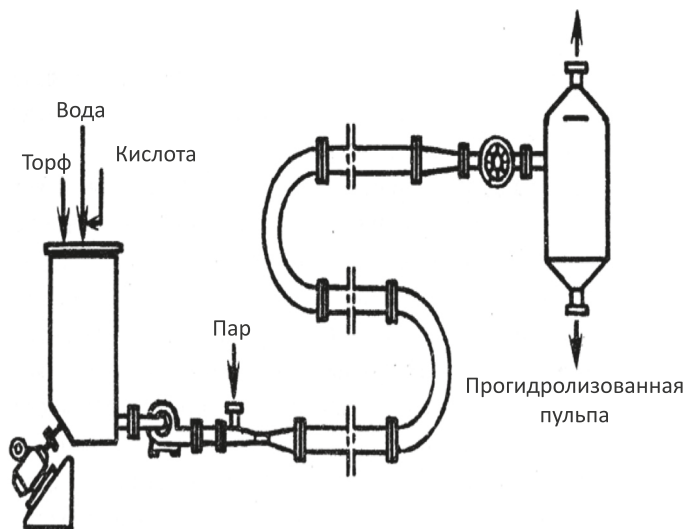


Рис. 9. Технологическая схема непрерывного гидролиза торфа разбавленной кислотой

дрожжей можно получить белковые, каротиноидные и жировые препараты. Эффективность производства дрожжей можно повысить за счет рационального использования негидролизованного остатка. Торфяные гидролизаты могут использоваться как питательная среда для культивирования липидо- и каротинообразующих дрожжей. Применение специально выделенных из торфа дрожжей позволяет получать из 1 т абсолютно сухого торфа 50–80 кг липидов.

Другим направлением использования гидролизатов является получение на их основе *многоатомных спиртов*, которые используются в пищевой промышленности для производства аскорбиновой кислоты, замасливателей при производстве синтетических волокон, пластических масс, поверхностно-активных веществ, антифриза и т.д. Получение таких спиртов осуществляется гидрированием в присутствии катализатора. Выход многоатомных спиртов составляет 165–170 кг на 1 т сухого торфа.

Наличие в торфе *биологически активных веществ* позволяет использовать его в животноводстве. Для активации биологически ак-

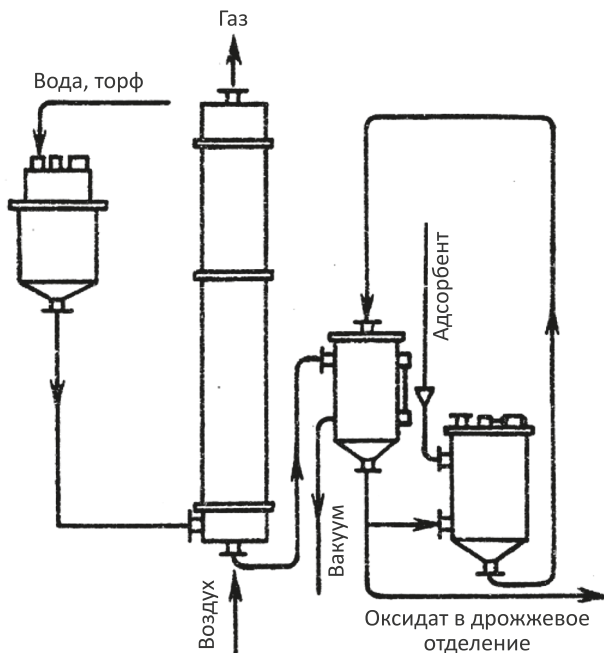


Рис. 10. Технологическая схема окисления негидролизуемой части торфа

тивных веществ торфа добавляется негашеная известь, кальцинированная сода, мочевина и др., при одновременном пропаривании при температуре 110–115 °С и давлении 60–70 кПа в течение 1,5–2 ч. Питательная ценность получаемых при этом кормов составляет 0,5–0,6 кормовых единиц в 1 кг сухого вещества.

Воск из торфа получают путем его экстракции органическими растворителями. Возможны два способа экстракции: настаиванием в растворителе и фильтрацией растворителя через слой торфа. В первом случае торф выдерживается в растворителе и после извлечения продукта растворитель сливают, отгоняют и получают битум. При втором способе фильтрация растворителя через слой торфа идет непрерывно. Для производства воска используется верховой торф.

Перспективным направлением использования торфа является получение из него *активных торфяных углей* различного назначения. Высокая удельная поверхность углей выдвигает их в ряд луч-

ших сорбентов. При этом торфяные угли в два-три раза дешевле промышленных марок. Активные угли из торфа применяются для очистки сточных вод и питьевой воды.

Эффективность торфяной продукции значительно улучшается при комплексном использовании торфа. По сравнению с чисто энергетическим направлением химическая переработка повышает эффективность использования торфа во много раз. В настоящее время разработан большой ассортимент продуктов, получаемых из торфа при химической переработке (рис. 11).

Разработаны две схемы переработки верхового торфа. По *первой схеме* в качестве основного технологического приема принята экстракция с получением воска (рис. 12), по *второй схеме* основным приемом является гидролиз с получением главного продукта — кормовых дрожжей. По первой схеме получают 40–60 кг воска на 1 т сухого торфа. Остаток от экстракции рекомендуется использовать для получения активных торфяных углей, наполнителей пластмасс и торфощелочных реагентов. По второй схеме переработки к уже известным продуктам добавляются гранулированные удобрения.

Испытание качества торфа. Пробы торфа отбираются в пунктах отбора проб, количество и местоположение которых определяется проектом работ. Пробы отбираются послойно. Масса пробы должна быть не менее 400 г. Сборные пробы составляют по категориям сырья из послойных проб для выполнения по ним агрохимических, химических и теплотехнических анализов. Масса сборной пробы должна составлять не менее 700 г.

Свойства торфа. Плотность является важной характеристикой, которая используется во многих технологических расчетах (при определении цикловых сборов, выхода готовой продукции, усадки торфа, осадки торфяной залежи и др.). Плотность зависит не только от влаги, но и от дисперсности. Необходимо различать понятия «истинная плотность», «кажущаяся плотность» и «насыпная плотность». Под истинной плотностью понимают отношение массы вещества, лишенного пор, к его объему. В обычных условиях пикнометрические методы определения плотности дают кажущуюся плотность (масса единицы объема пористого вещества). Насыпная плотность — масса сыпучего вещества в объеме свободной засыпки.

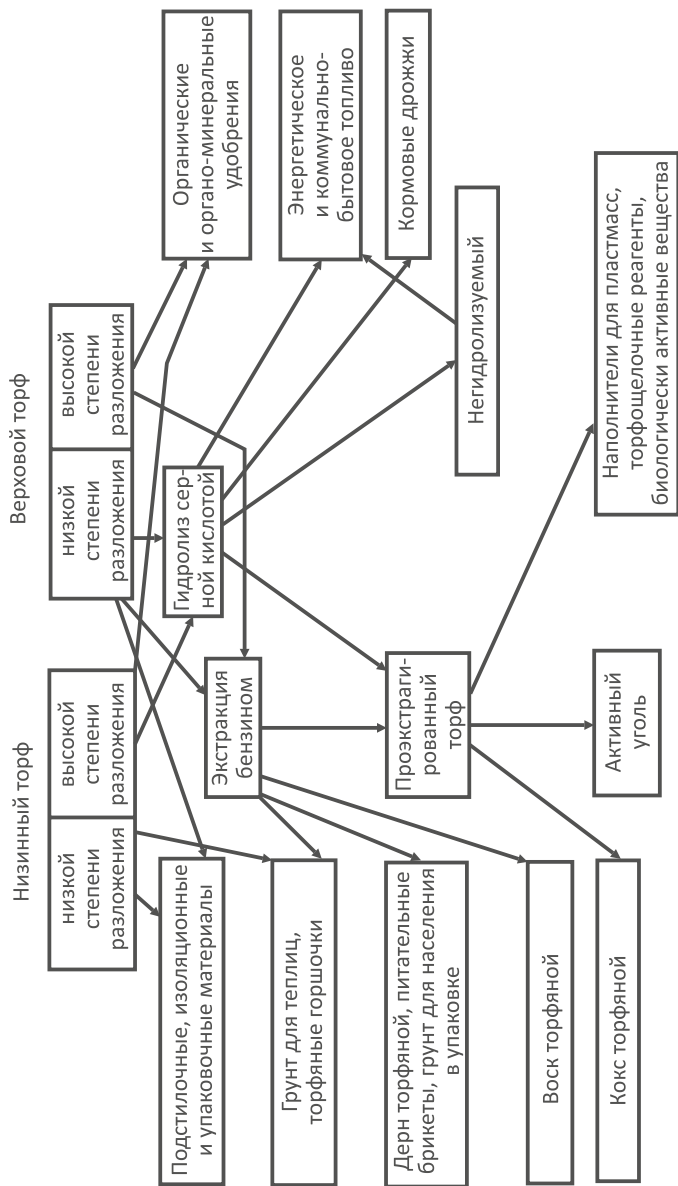


Рис. 11. Схема комплексного использования торфа [4]

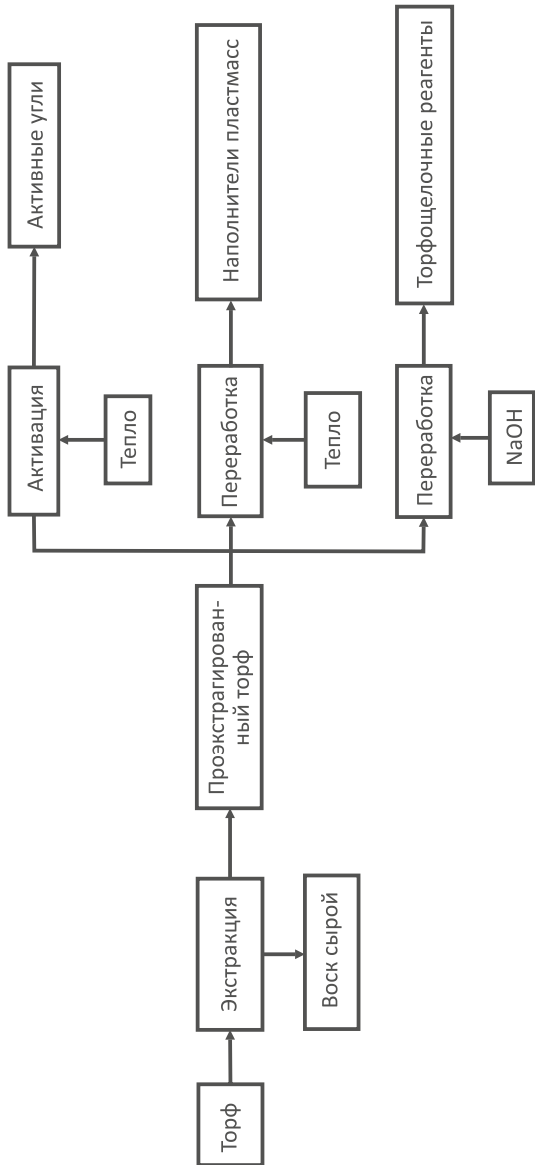


Рис. 12. Схема химической переработки верхового торфа высокой степени разложения [4]

Плотность скелета торфа — отношение массы сухого вещества торфа (скелета) ко всему объему торфа (объему влажного материала).

1. *Тепловые и электрические свойства торфа.*

Удельная теплоемкость торфа (C) зависит от содержания влаги и определяется по формуле:

$$C = C_T + C_B W / 1 + W = C_T + (C_B - C_T) \cdot \omega \cdot / 100,$$

где C_T — удельная теплоемкость сухого торфа, не зависящая от вида, степени разложения и переработки торфа, равная $1,96 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

C_B — удельная теплоемкость воды, равная $4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

W — влагосодержание (кг/кг);

ω — влажность (%).

Коэффициент теплопроводности λ — это количество теплоты, проходящей через единицу площади поперечного сечения торфа при единичном градиенте температуры. Коэффициент теплопроводности торфа почти не зависит от ботанического состава и степени разложения.

Коэффициент температуропроводности a_Q ($\text{м}^2/\text{с}$) характеризует скорость выравнивания температуры в торфе.

Коэффициент термодиффузии δ характеризует интенсивность переноса влаги при разности температур в различных точках и равен отношению градиента влагосодержания к градиенту температуры в условиях стационарного состояния.

Удельная теплота сгорания торфа — это количество тепла, выделившееся при полном сгорании единицы массы топлива (Дж/кг). Теплоплотность — теплота сгорания единицы объема топлива (Дж/м³). Теплоплотность характеризует тепловую ценность сравниваемых топлив.

Удельное электрическое сопротивление торфа зависит от его влажности и плотности, а также от содержания минеральных компонентов. Электросопротивление торфа в залежи на глубине более 1 м обычно колеблется от 0,5 до 159 Ом·м.

Электрокинетический потенциал (ξ -потенциал) торфа характеризует электрический потенциал частиц торфа относительно движущейся жидкой фазы. От величины ξ -потенциала зависят скорость электроосмоса, электрофореза и величина потенциала, возникающего при фильтрации воды через торф.

2. Механические свойства торфа.

Соппротивление сдвигу в торфе складывается из сил трения, пропорциональных нормальному давлению, сил сцепления, пропорциональных площади среза, и сил вязкого соппротивления.

Прочность — свойство торфа соппротивляться разрушению от действия напряжений. Механическая прочность торфа характеризуется пределом прочности, т. е. условным напряжением, отвечающим наибольшей нагрузке, предшествовавшей разрушению образца.

Крошимость кускового торфа — способность торфа и брикетов под влиянием погодных условий, различных механических нагрузок и воздействий частично превращаться в крошку. Крошимость характеризуется количеством образующейся мелочи — частиц и кусков размером менее 25 мм в поперечнике.

Дисперсность торфа — степень раздробления вещества на частицы. Чем выше дисперсность торфа, тем лучше качество торфяной продукции.

3. Оптические свойства торфа.

При падении луча света на дисперсную систему могут наблюдаться следующие явления: прохождение, преломление, отражение, рассеяние и абсорбция (поглощение) света. Рассеяние или дифракция света имеет место, когда длина волны падающего света больше диаметра частиц. Если диаметр частиц больше длины волны, то обнаруживается отражение света.

4. Изучение технологических свойств торфа.

Определение технологических свойств торфа, а также выполнение комплекса агрохимических и химических анализов проводится с соблюдением требований соответствующих государственных стандартов, стандартов предприятий и других нормативно-технических документов. Существует большое количество методов определения влаги торфа. Первая группа методов основана на прямом определении количества влаги во время сушки навески торфа при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Вторая группа методов основана на косвенном определении влаги. К ней относятся радиоизотопные, электрические, химические и физико-химические методы.

Зольность торфа — отношение массы минеральной части торфа, оставшейся после прокаливания, к массе сухого торфа. В золе торфа преобладают оксиды кремния, кальция, железа. Свойство золы торфа подвергаться деформации и разжижению при нагревании

характеризует ее плавкость. Плавкость зависит от химического состава золы. Сущность метода определения плавкости золы торфа состоит в нагревании до температуры 1500°C в печи трехгранной пирамидки золы на декстрине и в замеры температуры трех характерных моментов изменения формы образца: начала деформации, размягчения и начала жидкоплавкого состояния.

Кислотность — одна из важнейших характеристик торфа, играет большую роль при изучении генезиса торфа, определяет интенсивность микробиологической деятельности торфообразовательного процесса. Кислотность относится к одной из основных агрохимических характеристик торфа. Различают активную и потенциальную кислотности, последнюю разделяют на обменную и гидролитическую.

Торф является полидисперсной системой и содержит частицы в широком интервале размеров, поэтому для оценки дисперсности используют мокрый ситовый, седиментометрический и электронно-микроскопический анализы.

Групповой химический состав органической части торфа определяется методами С. С. Драгунова, аммиачным и Инсторфа. Наиболее распространен последний. Для анализа берется навеска торфа массой 14–20 г, высушенного до равновесной влаги. Торф измельчается и рассеивается на сите с размерами ячеек 0,25 мм. В результате группового химического анализа выделяют из торфа следующие группы соединений: битумы — Б, водорастворимые — ВР, легкогидролизующиеся — ЛГ, гуминовые вещества — ГВ (гуминовые кислоты — ГК), целлюлозу — Ц и негидролизующий остаток (лигнин — Л). Торфы различаются по содержанию этих компонентов. Схема анализа следующая: битумы выделяются бензолом; водорастворимые и легкогидролизующиеся вещества — нагреванием с 4%-ным раствором соляной кислоты; гуминовые кислоты — нагреванием с 0,1 н. раствором едкого натрия; целлюлозу — с помощью 80%-ного раствора серной кислоты; негидролизующий остаток — лигнин — после выделения целлюлозы.

Теплота сгорания торфа определяется калориметрическим методом. Навеску торфа сжигают в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода и вычисляют количество выделившейся при этом теплоты.

Плотность торфяных кирпичей и брикетов определяют путем замеров объема жидкости, вытесненной испытуемым образцом, погруженным в волюменометр.

Степень разложения торфа определяется следующими методами: макроскопическим, микроскопическим и с помощью центрифугирования. Макроскопический метод (глазомерный) используется в полевых условиях. Степень разложения устанавливается по цвету торфа, окраске отжимаемой воды, сохранности растительных остатков, характеру разложившейся части торфа и другим признакам. Микроскопический метод состоит в определении относительной площади, занятой гумусом. Рассматривается тонкий разжиженный слой торфа на предметном стекле через микроскоп с увеличением 100–140. Площадь выражается в процентах и принимается за показатель степени разложения. Метод центрифугирования заключается в отделении коагулированного гумуса торфа от волокна ситовым анализом в водной среде с формированием объемов осадков центрифугированием и последующим определением степени разложения с помощью графика. Этот метод не применим для определения степени разложения торфа, подвергнутого переработке.

Определение содержания мелочи производят путем отсева пробы известной массы m на проволочном сите с ячейками 25×25 мм и взвешивания подрешетного продукта m_1 . Содержание мелочи к массе всей пробы (%): $M = 100m_1/m$. Засоренность определяется аналогично: $Z = 100m_1/m$, где m_1 — масса подрешетного продукта, кг.

Механическая прочность торфяных брикетов и полубрикетов на истирание определяется на пробе массой $5 \pm 0,25$ кг. Проба помещается в барабан, который вращается в течение 10 мин с частотой 25 об/мин. Затем пробу рассеивают на сите. Надрешетный продукт (куски размером более 25 мм) взвешивают (m_1). Прочность $\Pi = -m_1 \cdot 100/m$, %, где m — масса продукта, загруженного в барабан (кг).

Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки торфа на окружающую среду. Торфяные месторождения являются одним из компонентов экологических систем, играющих важную роль в природных процессах окружающих территорий. Современное использование торфяных месторождений и торфа нерационально с экологической точки зрения.

Много торфа сжигается в топках, велики потери его от минерализации и эрозии при осушении болот. Считается, что сохранение болотных экосистем наиболее полно поддерживает равновесие биосферы. По данным американских исследователей, повышение концентраций оксидов азота приводит к каталитическому разрушению

озонового слоя в стратосфере. Осушенное болото выделяет в сотни раз больше оксидов азота, чем неосушенное. Этот источник образования оксидов азота не уступает по мощности техногенным загрязнителям. При осушении торфяных болот утрачиваются свойственные им функции аккумуляторов влаги и регуляторов поверхностного стока. Происходит необратимый процесс их разрушения.

Ресурсы торфа по современным направлениям использования подразделяют на целевые фонды: земельный, разрабатываемый, охраняемый, запасной резервный. Земельный фонд — это мелиорированные торфяные месторождения, используемые как угодья в сельском и лесном хозяйствах. Разрабатываемый фонд — месторождения для промышленной добычи торфа. Месторождения, используемые в природоохранных, научных и рекреационных целях, входят в охраняемый фонд. Запасной фонд включает торфяные месторождения, располагающие сырьем для производства кормовых дрожжей и воска. В резервный фонд входят месторождения перспективных направлений использования.

Кроме этих традиционных, наметилось еще одно направление в использовании торфяных месторождений — использование болотных вод, обогащенных органическими веществами, для получения из них биостимуляторов, лечебных паст, парфюмерных препаратов и т. д.

Исходя из представления о сущности торфяных ресурсов как одной из сфер рационального природопользования, выделяют две группы ограничений разработки торфяных месторождений. В первую группу включены запреты на осушение болот, расположенных в истоках рек, являющихся местообитанием уникальных, реликтовых и исчезающих видов фауны и флоры, а также входящих в заповедники и заказники. К ограничениям второй группы относятся предельные значения ряда экологически существенных параметров освоения и эксплуатации торфяных месторождений. Природоохранные мероприятия второй группы направлены на ограничение выбросов вредных компонентов в атмосферу (окислы азота, углерода, серы) и стоков их в водоемы (фенолы), а также внесения их в почву при использовании торфа в качестве удобрения. Предельно допустимые концентрации установлены санитарными нормами (табл. 34).

Дозы внесения в почву компостов, относящихся к первому классу, не ограничиваются. Для компостов второго класса доза внесения

Таблица 34. Предельное содержание тяжелых металлов и бора в торфяных удобрениях (мг/кг на сухое вещество) [4]

Элемент	Класс качества компостов			
	1	2	3	4
Свинец	<100	100–750	750–3750	<3750
Бор	<25	25–120	120–600	>600
Кадмий	<3	3–25	25–125	>125
Хром	<100	100–650	650–3250	>3250
Медь	<100	100–750	750–3750	>3750
Молибден	<5	5–25	25–125	>125
Никель	<50	50–250	250–1250	>1250
Ртуть	<2	2–15	15–75	>75
Цинк	<300	300–2500	2500–12 500	>12 500

в почву ограничивается 5 т вещества на 1 га или 10 т в течение трех лет при исключении из севооборота овощей и фруктов. Недопустимо внесение торфяных удобрений, компостов, в которых содержание тяжелых металлов и бора соответствует третьему и четвертому классам.

При переработке и сжигании торфа экологическое равновесие нарушают значительные объемы отходящих газов. Предельно допустимые концентрации (ПДК) выброса вредных компонентов при сжигании торфа приведены в таблице 35.

Таблица 35. Предельно допустимые концентрации токсичных соединений при сжигании торфа [4]

Элемент	Токсичное соединение	Предельно допустимые концентрации в воздухе (мг/м ³)	
		Средние суточные	Разовые
Азот	NO ₂	0,085	0,085
	NH ₄	0,2	0,2
	HNO ₃	0,4	0,4
Ванадий	V ₂ O	0,002	–

Элемент	Токсичное соединение	Предельно допустимые концентрации в воздухе (мг/м ³)	
		Средние суточные	Разовые
Кобальт	CoO	–	0,5
Кадмий	CdO	0,03	0,1
Марганец	MnO ₂	0,01	0,03
Мышьяк	As, As ₂ O ₃	0,003	–
Ртуть	Hg, HgCl, HgS	0,0003	–
Свинец	Pb	0,0007	–
Селен	Se	0,1	–
	SeO ₂	0,2	–
Сера	H ₂ S	0,008	0,008
	SO ₂	0,05	0,5
	H ₂ SO ₄	0,1	0,3
Фтор	F	0,01	0,03
Фосфор	P ₂ O ₅	0,05	0,15
Хлор	Cl ₂	0,03	0,1
	HCl	0,2	0,2
Углерод	Сажа	0,05	0,15
Минеральные компоненты	Пыль нетоксичная	0,15	0,5

Контрольные вопросы и задания

1. Где применяется торф?
2. Каковы составляющие торфа?
3. Какие промышленные типы месторождений торфа вы знаете?
4. Перечислите природные и технологические типы торфа.
5. Как разрабатываются торфяные месторождения?
6. Что вы знаете о промышленной переработке торфа?
7. Что такое гидролиз и пиролиз торфа?

Глава 9

САПРОПЕЛИ

Общие сведения. *Сапропели* — органо-минеральные донные отложения пресноводных озер. Основной состав органического вещества сапропелей формируется из остатков отмирающих в водоеме растительных и животных организмов, а также частично пополняется привносимым органическим веществом. Физические свойства, количество и состав минеральных компонентов сапропелей зависят от условий их питания, химического состава питающих водоемы вод и эрозийных процессов.

Основные физические свойства сапропелей:

плотность.....	1,4–2,7 г/см ³ ;
удельная поверхность.....	1100–3200 м ² /кг;
естественная влажность.....	72–98%;
влагоемкость.....	78–87%;
объемная масса.....	1090–1170 кг/м ³ ;
дисперсность.....	50–250 мкм;
pH.....	4,2–8,2;
гидролитическая кислотность.....	30–50 мг-экв/100 г;
емкость поглощения.....	60–75 мг-экв/100 г;
сумма обменных оснований.....	90–200 мг-экв/100 г;
степень насыщенности основаниями....	64–80%.

В итоге сложных физических, химических и биологических процессов сапропели, помимо органического вещества, оказываются обогащенными кальцием, фосфором, железом, микроэлементами и физиологическими активными веществами.

Сапропели имеют желеобразный вид. Окраска темно-оливковая, коричневая, серая, серо-желтая, голубоватая, розовая и даже

красная. Цвет сапропелей указывает на присутствие некоторых органических и неорганических компонентов: оливковый — хлорофилла, розовый — каротина или марганца, голубоватый — вивианита, черный — железа, серый — глины или извести. Обычно сапропели не имеют запаха, только некоторые разновидности пахнут сероводородом. Реакция среды сапропелей — от слабокислой до слабощелочной.

Сапропели широко распространены на земном шаре. Процессы их накопления происходят и в настоящее время. Причем для многих водоемов они приобретают прогрессирующий характер. Особенно интенсивное сапропелеобразование характерно для средней полосы Европы и Азии. На Американском континенте сапропелевые отложения приурочены к району Великих озер (Канада, США). В Западной Европе сапропели имеются на Скандинавском полуострове, во Франции, в Германии, Польше. Многочисленные сапропелевые месторождения встречаются в странах Балтии, Белоруссии и Украине. Россия занимает одно из ведущих мест по запасам сапропелей — 2,6 млрд т.

Области применения. Огромные ресурсы сапропелей, состав их органической и минеральной частей позволяют считать сапропелевые отложения ценным полезным ископаемым, пригодным для использования в различных отраслях народного хозяйства и особенно в сельском хозяйстве в качестве удобрений и минерально-витаминной подкормки животных и птиц. В зависимости от состава и свойств сапропели могут использоваться как удобрения в чистом виде, с минеральными добавками и компостироваться. Сапропели используются в медицине в качестве лечебных грязей, отжимов, лечебных препаратов. В перспективе на основе сапропелей возможно получение биологически активных препаратов, белковых веществ, использование их в качестве технологических добавок при производстве водопроницаемых дренажных труб для подпочвенного и капельного орошения, облегченного стенового кирпича, керамзита, применение их как активного наполнителя в полимерсодержащих композициях и бетонных изделиях и как связующих для производства теплоизоляционных материалов, древесно-волоконистых плит.

Агрономическую эффективность сапропелей определяют содержание азота, фосфора, калия, обменная кислотность, содержание илистой фракции и биологически активных веществ. С целью по-

вышения эффективности использования минеральных удобрений, сокращения потерь от вымывания питательных веществ применяется их гранулирование с торфом или сапропелем. В качестве кондиционирующих добавок к минеральным удобрениям используют карбонатные сапропели с содержанием карбоната кальция не менее 20 %. Кроме того, карбонатные сапропели применяются для известкования почв взамен мела и доломитовой муки. Ускоренное окультуривание малопродуктивных земель непосредственным намывом больших доз сапропеля позволяет в течение длительного периода (10–15 лет и более) получать стабильные урожаи сельскохозяйственных культур.

Эффективность сапропеля как кормовой добавки объясняется высоким содержанием в его составе каротина и витамина В₁₂. В 1 кг сырого сапропеля содержится 17–20 мкг каротина и 32–48 мкг витамина В₁₂. Включение его в рацион крупного рогатого скота активизирует пищеварительные процессы, ускоряет рост животных, повышает молочную продуктивность и жирность молока. Сапропелевые кормовые добавки являются средством профилактического лечения ряда заболеваний животных, в первую очередь легочных и желудочно-кишечных.

Использование сапропелей в лечебной практике обусловлено тем, что они имеют хорошую пластичность, обладают высокими адгезионными и дисперсионными свойствами, комплексом биологически активных веществ органической природы, набором ценных жизненно важных минеральных микроэлементов, бактерицидны и не содержат возбудителей болезней.

Буровые растворы на основе сапропелей обладают ценными свойствами — пониженной плотностью и низкой концентрацией твердой фазы. На основе сапропелей легко приготавливаются как пресные, так и минерализованные буровые растворы.

Состав сапропелей. Неорганической части сапропелей присущи простые минеральные формы — кварц, кальцит, сидерит, полевошпат, глинистые минералы. В погребенных сапропелях чаще обнаруживаются сидерит, сульфаты, алюминаты, усложняется состав карбонатов и силикатов. В сапропелях с диатомовыми водорослями накапливается аморфная форма кремния. Среди минералов железа преобладают оксиды, реже пирит, фосфат железа, сидерит. Бурые оксиды представлены гетитом, гидрогетитом. Среди фосфатов

железа встречаются вивианит и керченит. Из фосфатных минералов в сапропелях преобладает апатит. Качественный и количественный минеральный состав неорганической части сапропелей представлен в таблице 36.

Таблица 36. Минеральный состав сапропелей (%) [3]

Минерал	Фракция (мкм)			
	250–100	100–50	50–10	250–10
Кварц	18,6–90,0	57,8–87,4	43,0–69,0	54,7–72,8
К-Na полевые шпаты	5,7–16,4	11,5–29,9	15,9–43,2	14,0–41,7
Мусковит	1,2	1,4	1,9	1,7
Биотит-хлорит	7,5	28,6	6,2	0,4–9,8
Глауконит	0,3	0,2	1,1	0,9
Карбонаты	67,4	17,7	36,2	23,5
Агрегаты	1,6	0,9	1,3	0,9
Разрушенные минералы	7,6	3,8	5,9	3,0

Основные типы сапропелей содержат органические компоненты, среди которых выделяются останки животных и высших растений, пыльца и споры, а также большое количество водорослей (диатомовых, сине-зеленых, протокочковых, золотистых десмидиевых и вольвоксовых).

Элементный состав органического вещества сапропелей характеризуется высоким содержанием углерода (48–65 %). Особенностью сапропелей является повышенное по сравнению с торфом содержание водорода (от 5 до 8 %), азота (от 2,5 до 7 %), а также серы (от 0,1 до 4,5 %), содержание карбонатного углерода варьирует от следовых концентраций до 12 %, а в карбонатном типе сапропелей содержание этого углерода — около 50 %.

Промышленные типы месторождений. Промышленные типы сапропелевых месторождений определяются их генезисом, сложностью строения залежей и соотношением органического и минерального вещества (табл. 37).

По генезису сапропелевые отложения подразделяются на три типа: биогенный, кластогенный и смешанный. Первый (*биогенный*) образован преимущественно за счет отмирания растительных

Таблица 37. Промышленные типы месторождений сапропелей [3]

Генетический тип	Класс	Вид	Зола (%)	Содержание оксидов (%)		Биологический и минеральный состав (%)	
				Ca	Fe		
Биогенный	Органический	Протококковый	30	8	5	Протококковые	35
		Цианофицейный	30	8	5	Цианофицейные	35
		Смешанно-водородслевый	30	8	5	Сумма водородслей	45
		Торфянистый	30	8	5	Высшие растения	35
		Зоогеново-водородслевый	30	8	5	Животные	15
	Кремнистый	Диатомовый	65	8	5	Диатомовые	35
Кладогенный	Органо-силикатный	Органо-песчанистый	30–65	8	5	Органические остатки	40
						Кварц	30
		Диатомово-песчанистый	30–65	8	5	Диатомовые	20
						Кварц	30
		Органо-глинистый	30–65	8	5	Органические остатки	40
						Глинистые минералы	40
	Диатомово-глинистый	30–65	8	5	Диатомовые	20	
					Глинистые минералы	30	
Силикатный	Песчанистый	65–85	8	10	Кварц	30–50	
	Глинистый	65–85	8	10	Глинистые минералы	30–50	

Генетический тип	Класс	Вид	Зола (%)	Содержание оксидов (%)		Биологический и минеральный состав (%)	
				Ca	Fe		
Смешанный	Карбонатный	Органо-известковистый	30–65	8–20	10	Органические остатки	40
						Кальцит	До 20
		Глинисто-известковистый	30–65	8–20	10	Органические остатки	30
						Кальцит	До 20
	Известковый	30–85	20	10	Органические остатки	15–50	
					Кальцит	20–40	
	Железистый	Органо-железистый	30–65	8	5–10	Органические остатки	15–50
						Лимонит	5–10
		Известково-железистый	30–65	8–20	5–10	Кальцит	До 20
						Лимонит	5–10
Лимонитовый		30–65	8	10	Лимонит	10	
Сульфидный	30–65	8	10	Пирит-марказит	10		

и животных организмов озера, второй (*кластогенный*) формируется в основном в результате привноса терригенного материала, третий (*смешанный*) образуется в тех случаях, когда наряду с биогенным процессом в создании осадка значительная роль принадлежит геохимическим процессам.

Степень сложности месторождения зависит от наличия одного или нескольких классов сапропелевых залежей. Один класс означает простое строение месторождения, сочетание двух классов — сложное строение, более двух — очень сложное. Соотношение минерального и органического вещества в сапропелевой залежи определяет разнообразие видов сапропелей.

По запасам месторождения сапропелей подразделяются (млн т): на мелкие — доли, средние — единицы, крупные — десятки, весьма крупные — сотни. Мощность сапропелевых отложений обычно не превышает 10 м, иногда достигая 40 и даже 200 м.

Технологические типы сапропелей. Технологическая типизация сапропелей построена на основе норм по определенным показателям для разных типов сырья (табл. 38).

Таблица 38. Технологическая типизация сапропелей [3]

Показатель	Норма по типам сырья		
	органического	органо-известкового	органо-кремнистого
Содержание, (% на сухое вещество):			
органического вещества	50	15	30
азота не менее	1,5	0,7	1,0
CaO не более	12	–	17
не менее	–	17	–
Fe ₂ O ₃ не более	10	10	10
SO ₃ не более	8,0	7,0	3,0
pH в солевой суспензии не менее	5,0	Неограниченная	5,0
Радиоактивное загрязнение цезием, Кu/кг	5·10 ⁻⁷	5·10 ⁻⁷	5·10 ⁻⁷

Разработка месторождений. Основным критерием выбора способа разработки залежи сапропеля является сохранение ландшафтов, поскольку добыча сапропелей изменяет морфометрию и морфологию озер. Трансформация водоема зависит от способа, объема и интенсивности добычи, а также условий залегания месторождений, по которым различают подводное залегание сапропелей и залегание под торфом. При подводном залегании система разработки выбирается, исходя из объема водоемов. Для больших водоемов используют гидромеханизованный и грейферный способы разработки.

Гидромеханизованный способ применяется при подводной разработке залежей на значительных глубинах. Гидромеханизован-

ная экскавация залежей ведется с гидротранспортом сапропелей к потребителю или на склады по трубам. Гидромеханизованный способ имеет следующие преимущества: 1) отпадает необходимость в выпуске воды из озера; 2) разработка ведется при любой глубине водоемов; 3) транспорт добытых сапропелей возможен на большие расстояния; 4) оборудование для гидромеханизации несложное; 5) процесс легко поддается автоматизации, и достигается высокая производительность при малых затратах рабочей силы. Стоимость продукции при гидромеханизованном способе наиболее низкая.

В технологическую схему добычи сапропелей входят: плавучий пульпопровод, землеснаряд, береговой пульпопровод, аккумулятор, перекачивающая станция, дренаж, водовыпуски, уборочная машина, штабелирующая машина, волкователь, фрезбарабан, ворошилка, водоотводящий канал, переезды. В зависимости от мощности месторождения и мощности предприятий по добыче применяются модули гидромеханизованной добычи сапропелей производительностью от 10 до 150 тыс. т в год.

Грейферный способ добычи сапропелей. Грейферным экскаватором сапропелевая масса грузится в баржу, которая транспортируется к берегу для разгрузки. Разгрузка баржи осуществляется также грейферным экскаватором или насосной установкой в самосвалы, которые доставляют массу на специальные площадки для сушки. При влаге 50–60% сапропель укладывается скрепер-бульдозером в бурты. Готовность сапропелевой продукции достигается через два-три месяца.

Добыча сапропелей из малых водоемов производится специальной установкой, включающей плавучий агрегат и ряд других механизмов (понтонное устройство катамаранного типа с дизелем, насос, лебедка подъема и опускания рабочего органа, лебедка перемещения установки и кабина). Грунтозаборное устройство шнеково-центробежного типа оборудовано приемником скреперающего типа. Установка комплектуется плавучим и береговым пульпопроводами. Производительность по пульпе составляет 200 м/ч.

Технологический процесс добычи сапропелей состоит из разработки сапропелевых отложений, транспортировки и укладки в чеки; намыва сапропелей послойно до 1–1,2 м с влагой 92–93%; сушки сапропеля, сброса осветленной воды и испарения оставшейся воды и фильтрации; уборки продукции, осуществляемой через год.

Добыча сапропелей, залегающих под торфом, производится экскавацией с транспортировкой гусеничными тележками и планировкой массы сапропеля бульдозером при влаге 78–82 %. Фрезерование подсохшего до 75 %-ной влажности слоя проводится дисковыми луцильниками, а уборка и штабелирование — скрепер-бульдозерами.

Промышленная переработка сырья. Технология переработки сапропелей и требования к товарной сапропелевой продукции определяются областью ее применения.

Производство удобрений. Технология приготовления сапропелевых удобрений включает окисление содержащихся в сапропелях элементов, шихтовку, окускование и температурную обработку. Послойный намыв сапропелевой массы с последующим фрезерованием и ворошением способствует хорошей аэрации сапропелей, благодаря которой происходит интенсивный контакт ее с воздухом. Закисные формы железа, серы и других элементов при этом полностью окисляются. Вследствие активизации микробиологических процессов в слое намытого сапропеля повышается содержание гидролизующих форм азота и других элементов питания. Готовая продукция обладает хорошей сыпучестью, равномерно распределяется, быстро взаимодействует с почвой.

Производство гранулированных удобрений основано на смешивании и грануляции органических и минеральных компонентов в гранулы размером 3–4 мм. В таких гранулах ячеистый органический каркас препятствует быстрому растворению минеральных и питательных веществ, что снижает гигроскопичность удобрений в целом.

Последовательность смешивания и приготовления гранулированных сапропелевых удобрений с навозом или птичьим пометом следующая. Сначала полужидкий навоз смешивается с сапропелем в соотношении 1:1 по массе, а затем смешанная масса выдерживается в штабеле, в котором, подвергаясь биотермическим преобразованиям, нагревается до 60 °С. В результате микробиологических и термических процессов происходит физико-химическое превращение органического вещества. После прохождения термической обработки массу гранулируют и сушат.

Гранулированные сапропелевые кормовые добавки являются одной из основных форм сапропелевой продукции также и в животно-

водстве. Включение сапропелевых кормовых добавок в состав комбикормов позволяет сэкономить их расход, расширяет ассортимент кормовых добавок. Для повышения качества сапропелевых кормовых добавок в практике сельского хозяйства применяется обработка их водой при повышенных температуре и давлении (гидробаротермическое воздействие). Производится это гидробаротермической обработкой при отношении твердой фазы к жидкой 1:4, температуре 160–170 °С, продолжительности 2 часа.

Требования к сапропелевому сырью для производства удобрений регламентируют максимальное содержание зольности 50 %, азота — 1,5 %; содержание в золе Fe_2O_3 — 10 %, CaO — 12 %, SO_3 — 3 %; pH — 5 %. Эти требования предъявляются для органических удобрений. Для удобрений, применяемых в мелиорации, требования ограничиваются только массовой долей золы (не более 70 %) и pH=5. К сапропелям для известкования ограничений по составу не установлено.

Более высокие требования к сапропелям предъявляются *при производстве кормовых добавок*. Крупность их в порошковом виде должна быть не более 5 мм (остаток избыточного класса — не более 10 %, в гранулах — до 10 мм). Сапропели должны содержать влаги 0,5–3,5 %; азота — 1–45 %; содержание в золе CaO — 1–45 %; SiO_2 — 1–15 %, Fe_2O_3 — 0,1–15 %; SO_3 — 0,1–3 %; P_2O_5 — 0,1–2 %; нерастворимых в 10 %-ной HCl — 2–20 %. Кроме этого, ограничивается содержание F, As, Pb, Cd, Sn, Hg, Mn, Cu, Cr, хлорорганических веществ.

Лечебные грязи регламентируются по санитарно-бактериологическим показателям (коли-титр, титр-перфингенс, стрептококки, стафилококки, столбнячная палочка), реакции среды (pH=4–6), крупности (0,22–0 мм), а также по цвету, запаху, консистенции и наличию ракушечника.

Производство промышленных материалов. Существует несколько видов технологической обработки малозольных сапропелей для получения промышленных материалов: а) термическая переработка — полукоксование, термическое растворение, термолиз; б) комплексное использование химических методов переработки — гидролиз, окисление, экстрагирование и др.

Получаемая из сапропелей керамика обладает высокой водонепроницаемостью, прочностью и морозостойкостью. Количество вводимого в смесь сапропеля составляет 25–30 % на сухое вещество.

Благодаря высокой дисперсности и пластичности сапропели могут с успехом применяться в формовочной смеси, т. к. имеют высокие физико-механические показатели.

В опытно-производственных условиях получен облегченный лицевой кирпич. Достоинство сапропеля при получении кирпича состоит в том, что введенный в состав глиномассы (20–25 %), он заменяет часть топлива, необходимого для обжига.

Требования к сапропелям для производства строительных материалов следующие: зольность — 25 %, температура воспламенения — не выше 300 °С, теплота сгорания — не менее 7500 Дж/кг, содержание летучих веществ — более 60 %. Малозольные сапропели с содержанием менее 15 % золы на сухую массу и 3,5–4,5 % азота используются для получения клеев в производстве древесно-волоконистых плит. Требования к сапропелю для этих целей по содержанию: фракции 0,1–0 мм — не менее 90 %, гуминовых кислот — 6–25 %, азота — не менее 3,0 %.

Для получения *теплоизоляционных материалов на основе сапропелевого связующего* и перлита необходимы формовочные смеси с составом сапропеля 75–80 %, перлита 20–25 %. Объемная масса изделий — 250 кг/м³, прочность — 0,4–1,2 МПа.

Буровые растворы на основе сапропелей обладают рядом ценных для практики свойств: пониженной плотностью, низкой концентрацией твердой фазы. На основе сапропелей легко приготавливаются как пресные, так и минерализованные буровые растворы. Они хорошо обрабатываются обычными химическими реагентами. Сапропели для приготовления буровых растворов соответствуют требованиям, ограничивающим содержание влаги (не более 60 %) и песка.

Испытание качества сырья. Оценка качества сапропелей определяется направлением их использования. Органическая часть оценивается по групповому и элементному составам. Оценка качества сапропелевого сырья производится на основании результатов лабораторных исследований. В состав лабораторных работ входят: 1) определение общетехнических свойств по всем отобраным пробам, составление сборных проб по основным классам, выделенным при камеральной обработке материалов разведки; 2) выполнение по сборным пробам комплекса специальных анализов (агрохимических, химических, физических), необходимых для оценки данного

класса сапропеля. Состав комплекса специальных исследований определяется направлением использования сапропеля.

Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду. Отечественный и зарубежный опыт по добыче сапропелей и восстановлению озерных экосистем включает следующие основные экологические требования к технологии их извлечения: 1) не должно образовываться мути в процессе разведки и добычи; 2) при намыве в отстойники и обезвоживании сапропелей необходима утилизация отстойных вод с помощью обезвоживания, не требующего применения химических реагентов.

Увеличение антропогенного воздействия на водоемы и высокие требования к чистоте и качеству сельскохозяйственной продукции требуют строгого контроля за внесением в почву с сапропелевыми удобрениями тяжелых металлов.

Основой требований к сапропелевому сырью является содержание тяжелых металлов в сапропелях. По этому показателю сапропели разделяются на классы: *класс пригодности 1* — использование сапропелей в качестве удобрений не ограничивается; *класс пригодности 2* — доза использования сапропелей ограничивается 80 кг/га. Сырье, не соответствующее первому и второму классам, требует специальных исследований. В таблице 39 приведены допустимые концентрации тяжелых металлов при производстве удобрений. Чтобы исключить отрицательное воздействие сапропелевых удобрений на почву, установлен уровень содержания различных компонентов в сапропелях: тяжелых металлов, пестицидов, бензопирена, радионуклидов, сернистых соединений, нитратов, возбудителей болезней.

Таблица 39. Классы пригодности сапропелей для производства удобрений по содержанию тяжелых металлов (мг/кг) [3]

Тяжелые металлы	Класс пригодности	
	1	2
Кадмий	≤1,5	1,5–9,6
Молибден	≤2,5	2,5–14,0
Никель	≤50,0	50,0–200
Цинк	≤50,0	50,0–220

Тяжелые металлы	Класс пригодности	
	1	2
Медь	$\leq 30,0$	30,0–150
Кобальт	$\leq 25,0$	25,0–150
Ртуть	$\leq 1,0$	1,0–7,5
Радиоактивное загрязнение цезием	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы области применения сапропелей?
2. Каков состав сапропелей?
3. Какие существуют промышленные типы сапропелевых месторождений?
4. Перечислите природные и технологические типы сапропелей.
5. Опишите технологию переработки сапропелей и требования к товарной продукции.

Глава 10

ДИАТОМИТЫ, ТРЕПЕЛЫ, ОПОКИ

Диатомиты, трепелы и опоки — это кремнистые тонкопористые осадочные породы, состоящие в основной своей массе из активного кремнезема, обладающие небольшой объемной массой и высокой удельной поверхностью.

Характерной особенностью *диатомитов* является необычайная легкость. Объемная масса их в куске обычно находится в пределах 0,5–0,8 кг/м³, пористость достигает 70–75 %, прочность — не более 25–30 кг/м². Кремнезем формирует раковинки диатомитовых водорослей размером 0,01–0,4 мм, содержание которых может достигать 10–20 млн в 1 см³ породы.

Опоки имеют более высокую прочность (обычно от 50 до 200 кг/м²), пористость не менее 55 %, объемную массу в пределах 1,1–1,6 кг/м³. Кремнезем представлен мельчайшими (менее 0,005 мм) глобулярными и микрочернистыми частицами.

Трепелы по внешнему виду напоминают диатомиты, а по микроструктуре — опоки. Объемная масса их обычно меньше единицы, пористость — в пределах 50–70 %.

Биохимические по своему происхождению трепелы берут свое начало в морских и озерных бассейнах. Опал в трепелах и опоках — продукт растворения и переотложения кремнистого вещества скелетов диатомей. Кремнезем, необходимый для постройки панцирей, диатомовые водоросли извлекали из воды, куда он в свою очередь приносился либо в форме продуктов химического выветривания пород прилегающей суши, либо в составе вулканических пеплов, осевших на дне моря (озера).

Основными показателями качества рассматриваемых пород являются процентное соотношение основных составляющих породы, их минеральный состав и особенности микроструктуры.

Многочисленные анализы компонентного состава показали, что активный (опал-кристобалитовый) кремнезем содержится в них обычно в количестве от 40 до 80 %, глинистый материал — от 10 до 40 %, песчано-алевритовый — до 10 %.

Минеральный состав основных компонентов неоднороден. Намечается непрерывный ряд превращений рентгеноаморфного опала через метастабильную фазу опал-кристобалита в λ -кристобалит и λ -кварц. В диатомитах кремнезем представлен рентгеноаморфным опалом, в трепелах и опоках — в основном опал-кристобалитом и α -кристобалитом.

В составе глинистого компонента устанавливаются монтмориллонитовая и монтмориллонит-бейделлитовая, монтмориллонит-гидрослюдистая и каолинит-гидрослюдистая минеральные ассоциации. Наблюдаются смешанослойные минералы, а в пелитовой части опок и трепелов — нередко и цеолиты из группы гейландита-клиноптилолита. В составе песчано-алевритового материала наряду с кварцем нередко встречается глауконит. Особенности минерального состава этих пород находят отражение в их химическом составе.

Важными показателями диатомитов, трепелов и опок, позволяющими (наряду с данными о минеральном и компонентном составе) судить об адсорбционных, каталитических их свойствах, являются результаты изучения микроструктурных особенностей и характера пористости. Это неравномерно-пористые сорбенты, среди которых выделяются четыре группы:

1) относительно крупнопористые опоки и трепеловидные опоки с диаметром пор от 8 до 10 нм и удельной поверхностью от 90 до $130 \cdot 10^3$ м²/кг;

2) относительно мелкопористые опоки с диаметром пор менее 80 нм, но с большей удельной поверхностью — $100 \cdot 10^3$ м²/кг и более;

3) трепелы и опоки мелкопористые с эффективным диаметром пор менее 6 нм и удельной поверхностью меньше $60 \cdot 10^3$ м²/кг;

4) диатомиты с небольшой удельной поверхностью ($(20-50) \times 10^3$ м²/кг) и большим количеством микропор и макропор (с эффективным диаметром в области 3–5, 20–30 и 1000 нм).

Благодаря своим специфическим свойствам (высокому содержанию активной кремнекислоты, тонкой пористости, легкости, высокой удельной поверхности и др.) диатомиты, трепелы и опоки являются минеральным сырьем многоцелевого назначения.

Определяющими качественными показателями выступают данные о химическом и компонентном составе (особенно о содержании растворимого SiO_2 и вредных оксидов — Fe_2O_3 и др.), объемной массе, прочности, теплопроводности, удельной поверхности и характере пористости. Пределы их содержания для конкретных направлений использования приведены в промышленной классификации (табл. 40).

Гидравлические добавки. Основным критерием качества гидравлических добавок, используемых при производстве вяжущих материалов (преимущественно цементов), является их гидравлическая активность — способность реагировать со свободным оксидом кальция цемента. В этом отношении опал-кristобалитовые породы превосходят все другие природные гидравлические материалы — трассы, глиежи, маршаллиты, туфы и т. п.

Высокие показатели гидравлической активности показывают опоки; у лучших разностей она достигает 400–500 мг СаО, поглощенного 1 г порошка опоки за 15 титрований. Гидравлическая активность трепелов также может достигать 300–400 мг СаО. Диатомиты при значительных показателях активности (до 250–300 мг СаО) характеризуются высокой набухаемостью, препятствующей широкому их использованию в качестве гидравлических добавок.

Диатомиты как гидравлические добавки используются при получении белых цементов. Наряду с гидравлической активностью они обладают другим важным свойством — белизной, поэтому показателем качества их является также содержание в породе красящих оксидов, прежде всего Fe_2O_3 . Нормы добавки диатомита в белые цементы — до 6%, степень белизны их (коэффициент яркости по молочному стеклу) должна быть не менее 72.

Теплоизоляционные изделия и материалы. В теплоизоляционной промышленности диатомиты используются как в естественном виде (в качестве засыпной порошковой изоляции), так и в виде разнообразных обжиговых и мастичных изделий. Особого внимания среди них заслуживают теплоизоляционный кирпич, сегменты и скорлупы, получаемые при обжиге сформованного диатомита как с выгорающими добавками, так и без них, а также различные асбест-известково-кремнистые материалы, изготавливаемые из смеси диатомового порошка, извести и асбеста (асбозурит, вулканит).

В связи с широким ассортиментом изделий требования промышленности, использующей теплоизоляционную продукцию, суще-

ственно варьируют, однако главными критериями оценки качества сырья являются его объемная масса и связанный с ней показатель теплопроводности.

При оценке качества диатомитов как сырья для получения теплоизоляционного кирпича и сегментов допускается содержание глинистого материала до 30 %, обуславливающего необходимую связующую способность формируемых масс и значительную прочность изделий. Снижение объемной массы у глинистых разностей достигается введением выгорающих добавок и различных пенообразователей.

Строительный кирпич. Для производства строительного кирпича обычно используются средне- и низкокачественные глинистые разности диатомита. В отличие от обычного строительного кирпича такой кирпич вдвое легче, характеризуется высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, однако он менее морозостоек и прочен.

Термолит — искусственный легкий заполнитель бетонов, получаемый путем дробления и обжига опал-кristобалитовых пород. В результате их спекания происходит изменение минерального состава кремнезема, образуется прочный, легкий, морозостойкий щебень и гравий, являющийся прекрасным искусственным заполнителем бетонов различного назначения. Диапазон колебаний насыпной плотности и прочности термолита весьма широк — от 350 до 900 кг/м³ и более при прочности от 150 до 900 кг/м². Наиболее кондиционные для получения термолита — тонкопористые бескарбонатные или слабокарбонатные разности опок, трепелов и диатомитов со значительным содержанием (20–30 %, а в ряде случаев и выше) глинистого (желательно монтмориллонитового) материала и невысоким (менее 10 %) — обломочного.

Кондиционирующие материалы. Порошки естественных диатомитов и (в меньшей степени) трепелов — прекрасные удерживающие средства. Как в порошкообразном, так и гранулированном виде их можно использовать в качестве своеобразных сред — носителей инсектицидов, микроэлементов и т. д.

Диатомиты и трепелы являются массами, предотвращающими слеживание, слипание удобрений, особенно аммиачной селитры, мочевины, калийных удобрений. Они поглощают избыток влаги, обеспечивают сыпучесть удобрений.

Известны примеры использования порошков диатомитов и в ряде других направлений сельскохозяйственной практики — как

Таблица 40. Промышленная классификация опал-кристобалитовых пород [5]

Область применения	Сорт	Петрографический тип	Содержание опала, глины, песка, карбоната, %	Химический состав				Физико-химические свойства		
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Г	S	Q
Гидравлические добавки в том числе для белых цементов	ВК	О, Т	>55, <40, <10, <5	>80	<8	—	<2	>350	—	—
	НК	О, Т	>35, <45, <30, <25	>50	<10	—	<15	150–250	—	—
	—	Д, Т	>60, <35, <5	>80	<8	<2	<2	>150	—	—
Теплоизоляционные материалы и изделия	ВК	Д	>70, <25, <10	80–90	<6	—	<1	—	—	<0,7
	НК	Д, Т	>55, <35, <20	55–80	6–10	—	<1	—	—	0,7–0,9
Легковесный строительный кирпич	ВК	Д, Т	<80, <40, <15, <5	70–80	3–10	—	2	—	—	0,9–1,2
	НК	Д, Т, О	>30, >20, <25, <10	<85	3–15	—	<7	—	—	0,9–1,2
Термолит	ВК	О, Д, Т	60–85, 5–17, 2–8, <5	60–85	5–15	2–8	<10	—	—	0,7–1,2
	НК	О, Д, Т	50–90, 5–20, <2,5–12	>85	>15	<2	>10	—	—	—
Фильтровальные материалы и наполнители	Т	Т	—	<60	<5	<2	>10	—	—	—
	ВК	Д	>80, <15, <5	>85	<5	<2	<1	—	20–65	<0,7

	НК	Д, Т	>60, <30, <10	75–85	<10	3–4	<1	—	—	0,7–0,9
Адсорбенты	ВК	О,	>60, <30, <10	>80	<7	<4	<1	—	>110	—
	НК	О, Т, Д,	0, >45, <40, <15	70–80	7–10	<5	<1	—	80–110	—
Осушители	ВК	О	>60, <25, <5	>80	5–7	<4	<1	—	>110	—
	НК	О	>50, <35, <10	70–80	5–10	3–5	<1	—	80–110	—
Биостимуляторы	—	Т, Д	>60, <30, <5, <5	>80	<6	<3	<1	—	—	—
Кондиционирующие добавки	ВК	Д	>70, <25, <10	>80	<7	<3	<1	—	>30	<0,8
	НК	Д, Т	>55, <35, <20	70–80	<10	<4	<5	—	>20	0,8–1
Стекольное сырье	ВК	О, Т	>70, <25, <10	>80	<7	<3	<1	—	—	—
	НК	О, Т	>60, <30, <15	70–80	<10	<4	<5	—	—	—
Искусственный волластонит	—	Т, О	40–60, <5, <5, 40–60	>40	<2,5	<1,5	<50	—	—	—

Примечание: ВК — высококондиционное сырье, НК — низкокондиционное сырье, Д — диатомиты, О — опоки, Т — трепелы; Г — гидравлическая активность, мг, СаО, поглощенного 1 г добавки за 15 титрований; S — удельная поверхность (м²/г); Q — объемная масса (т/м³).

средство уничтожения амбарных вредителей, предохранения зерна от заражения насекомыми, в составах при лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта. В таких странах, как Канада, Дания, на нужды сельского хозяйства используется основная часть добываемого диатомита.

Для получения фильтровальных порошков различных наполнителей и носителей используются обычно диатомиты, в меньшей степени трепелы. Среди основных требований к ним — их высокая чистота, отсутствие в исходном продукте вредных оксидов и примесей (Fe_2O_3 , серы, органики и т. п.).

В естественном, не обработанном виде диатомовые порошки обычно малопригодны в качестве фильтровальных материалов и наполнителей. В связи с этим производится их облагораживание (удаление глинистой и песчаной примесей, вредных оксидов и органики). При обжиге (обычно около 1000°C) фильтровальные свойства порошков также повышаются.

Промышленность, использующая диатомитовые порошки в качестве катализаторов или носителей катализаторов, предъявляет еще более жесткие требования к содержанию вредных оксидов. Так, в соответствии с техническими условиями нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности порошок, используемый в качестве никель-кизельгурового и фосфор-кизельгурового катализатора, должен содержать SiO_2 не менее 98%, R_2O_3 — не более 2%. Аналогичная картина наблюдается и в отношении наполнителей различных пластмасс, химических материалов, медпрепаратов и т. д.

Адсорбенты. Опоки, трепелы, диатомиты являются высокоэффективными адсорбентами при осветлении нефтепродуктов, очистке трансформаторных масел, регенерации автолов и т. д. Адсорбционные свойства их находятся в прямой зависимости от величины удельной поверхности и объема адсорбционного пространства.

По адсорбционным свойствам они подразделяются на две основные группы:

- 1) диатомиты, процент осветления которых изменяется от 20 до 45, при величине удельной поверхности $(20-65) \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$;
- 2) опоки и трепелы, процент осветления которых колеблется в широких пределах — от 30 и выше до полного обесцвечивания, а удельная поверхность — $(80-200) \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ и более.

В последнее десятилетие появились интересные разработки по эффективности использования опал-кристобалитовых пород в качестве биостимулирующих кормодобавок.

Одно из новых направлений использования кремнистых и карбонатно-кремнистых пород — получение специальной *воластонитовой керамики*. Синтез воластонита может быть осуществлен на основе искусственно подобранной смеси со стехиометрическим составом окислов $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ в пределах 0,8:1–1,1:1. Желательно при этом минимальное содержание других окислов — Fe_2O_3 , Al_2O_3 и др.

Доказана принципиальная возможность получения *высококачественной стекольной шихты* из трепелов и опок (диатомиты показали неудовлетворительные результаты в связи с неполным растворением кремневых створок при обработке породы щелочами) (табл. 41).

Таблица 41. Характеристика стекольной шихты

Исходная порода	Химический состав шихты (%)		
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3
Трепел	55–74	0,01–0,05	0,1–0,85
Опока	60–74	0,15–0,25	0,6–1,1

Силикатный модуль полученной шихты (отношение $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) не превышает 3–3,2 (ниже требуемой нормы). Повышение его возможно путем введения в шихту добавки чистого кварцевого песка.

К числу перспективных следует отнести следующие сферы применения диатомитов, трепелов и опок:

- в качестве абразивов при полировке изделий из мягкого металла (меди, алюминия и др.), мрамора, стеклянных изделий и т. п.; основным показателем качества сырья в данном случае является отсутствие грубых песчано-алевритовых механических примесей;
- в качестве порошков для уничтожения амбарных вредителей; порошок диатомита должен состоять преимущественно из створок диатомей и их обломков;
- в качестве химического сырья для получения жидкого стекла (силиката натрия); преимуществом опал-кристобалитовых

- пород перед кварцевыми песками и кварцитами является хорошая растворимость их (опок и трепелов) в щелочах;
- в качестве компонента связующих материалов при брикетировании пылеватых руд (например, медных руд);
- в составах препаратов для лечения желудочно-кишечного тракта и т. д.

Россия располагает крупной, достаточно хорошо изученной сырьевой базой различных по качеству и свойствам диатомитов, трепелов и опок. Ресурсы высококачественных разновидностей диатомитов, трепелов и опок сосредоточены в 5 провинциях и 13 перспективных районах.

Восточно-Европейская провинция высокоперспективна в отношении диатомитов и опок. Залежи их связаны с отложениями палеогеновой терригенно-кремнистой и верхнемеловой терригенно-кремнисто-карбонатной формаций. Кремнистые породы прослеживаются в виде линз и выдержанных по простиранию пластов мощностью 10–30 м, редко до 60–80 м среди глинисто-песчано-кремнистых образований. Ассоциируют они с глауконитами, кварцевыми песками, мелово-мергельными породами. Выделяются Поволжский, Среднерусский перспективные районы. Установлены высокие адгезионные свойства диатомитов и возможность использования их как кондиционирующих материалов. Опоки изучены в основном как гидравлическое сырье и для нужд цементной промышленности. Изучена возможность использования опок в качестве адсорбентов при очистке масла, регенерации автолов и т. п. Наиболее интересным для промышленного освоения является район, расположенный к северу от Брянска, где выявлены и разрабатываются крупнейшие в России Зикеевское месторождение опок (район ст. Жиздра — с. Зикеево) и Фокинское — гидравлических опок.

Западно-Сибирская провинция территориально отвечает Западно-Сибирской низменности и Тургайскому прогибу. Здесь развита терригенно-кремнистая формация эоцена, сложенная диатомитами, опоками, кремнистыми (диатомитовыми) глинами. Мощность формации — от 20 до 200 м.

Наиболее перспективным является Зауральский район. Диатомиты связаны с ирбитским продуктивным горизонтом среднего-верхнего эоцена. Полоса выходов их шириной до 50–100 км прослеживается вдоль восточного склона Урала от города Серова до города

Троицка, мощность продуктивной толщи — до 20–30 м. Крупные месторождения диатомитов, по качеству приближающихся к поволжским, разведаны в Свердловской, Челябинской и Курганской областях.

Северная провинция, занимающая обширную территорию севера европейской части России, перспективна для поисков месторождений диатомитов, формирование которых происходило в озерах и районах с типично выраженным послеледниковым ландшафтом и широким развитием кислых кристаллических пород. Наиболее перспективен Кольско-Карельский район. Залежи диатомитов составляют дно современных озер, мощность их редко превышает 3–5 м. Запасы отдельных месторождений обычно невелики, однако общие ресурсы района значительны (здесь разведано 34 месторождения с запасами по промышленным категориям более 30 млн т). Диатомиты представляют интерес прежде всего как сырье для получения высококачественных диатомитовых порошков.

Дальневосточная и Тихоокеанская провинции также характеризуются широким развитием туфогенно-кремнистых, преимущественно неогеновых образований, перспективных для поисков месторождений диатомитов, опок и трепелов. Наибольший промышленный интерес представляют Сихотэ-Алиньский район, где разведан ряд месторождений диатомитов, и Сахалинский, обладающий крупными запасами высококачественных опок.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключаются характерные особенности диатомита, трепела и опоки?
2. Где применяются диатомит, трепел и опока?
3. Какова промышленная классификация опал-кристобалитовых пород?
4. Что вы знаете о сырьевой базе России диатомита, трепела и опоки?

Глава 11

ПЕРЛИТЫ

Общие сведения о перлите и его разновидностях. Первоначально термин «перлит» использовался в петрографии для обозначения кислых и других по составу вулканических стекол с характерной перлитовой отдельностью. При ударе из такой породы выкалывались шарики с характерной иризирующей поверхностью, внешне напоминающие жемчуг или перл. Вулканические стекла подобного типа обладают способностью вспучиваться при обжиге и превращаться в легкий пористый материал, именуемый вспученным перлитом, или искусственной пемзой. После того как началось широкое промышленное использование перлита, было установлено, что способностью вспучиваться обладают и другие разновидности кислого стекла: пористые, полосчатые, брекчиевые, тонкообломочные и т. д.

В настоящее время перлитом, или вулканическим стеклом, имеющим промышленное применение, называют кислое (массовое содержание SiO_2 — 68% и более) вулканическое стекло, содержащее более 1–1,5% химически связанной воды и обладающее способностью вспучиваться при высокотемпературном (800–1200 °С) обжиге.

В 1982 году вышел ГОСТ на перлитовое сырье (ГОСТ 25226–82), согласно которому перлитовые вулканические стекла подразделяются на *пористые* — класс А и *массивные* — класс Б. Различаются они по внешнему виду, физико-механическим свойствам, технологии вспучивания и качеству вспученного продукта.

Пористые перлиты. К ним относятся перлиты, пористость которых колеблется от 10 до 70% (табл. 42).

Это желтовато-серые, светло-серые или светло-коричневые породы. Для большинства разновидностей характерна отчетливая

ориентировка пор размером от 1–2 мкм до 3–8 мм, которые распределены хаотически или группируются в полосы.

Таблица 42. Классификация пористых перлитов [9]

Сорт перлита	Общая пористость (%)	Средняя плотность сырого перлита (т/м ³)	Насыпная плотность (кг/м ³)
Плотный	10–15	1,9	1050–1080
Слабопористый	20–30	1,6–1,9	990–1020
Пористый	50–70	1,2–1,6	800–950
Пемзовидный	50	0,9–1,2	720–840

Размер пор и пористость связаны прямо пропорциональной зависимостью: чем большее количество в нем крупных пор, тем выше пористость перлита. В мелких порах или вакуолях микронного размера обычно присутствуют растворы хлоридов, которые являются своеобразными минерализаторами, влияющими на вязкость стекла при его плавлении. В более крупных порах могут присутствовать минералы-узники, такие как опал, кристобалит, магнетит, шпинель, серпентин, хризотил, амфибол и др. Количество этих минералов в породе ничтожно, и они практически не оказывают влияния на качество сырья.

В зависимости от насыпной плотности вспученного продукта пористые перлиты делят на три группы качества. К первой группе относят перлитовые породы, из которых при обжиге получают вспученный перлит с насыпной плотностью менее 90 кг/м³, из сырья второй группы получают вспученный перлит с насыпной плотностью 90–120 кг/м³, а из сырья третьей — от 120 до 150 кг/м³.

Содержание примесей риолита и обсидиана по массе не должно превышать 5, 7 и 10% соответственно. При вспучивании перлита в шахтных печах эти примеси обычно отсеиваются, и их количество мало сказывается на качестве вспученного продукта. Пористые перлиты класса А обычно распространены в областях молодого вулканизма, возраст которого датируется от неогена до раннечетвертичного периода.

Массивные перлиты. К массивным перлитам (класс Б) относят породы, пористость которых составляет 1–2 % и менее. Окраска их может быть черной, зеленой, красновато-коричневой, желто-коричневой и зависит от распространения и валентности железа, наличия минеральных примесей, содержащих элементы-хромофоры, и от некоторых других особенностей состава и строения стекла. В отличие от пористых перлитов, во многих разновидностях массивных перлитов отчетливо выражена перлитовая текстура.

Массивные перлиты, так же как и пористые, подразделены на три группы качества: первая с насыпной плотностью вспученного перлита до 120 кг/м^3 , вторая — от 120 до 300 кг/м^3 , третья — от 300 до 500 кг/м^3 . Содержание примесей не должно превышать 5, 10 и 20 % соответственно. Кроме включений инородных пород для массивных перлитов характерна примесь минеральных агрегатов, которые образуются за счет частичного разложения перлитового стекла и поэтому как бы замещают его. Минеральные агрегаты обычно состоят из цеолитов и глинистых минералов. Среди цеолитов наиболее часто встречаются клиноптилолит и морденит, среди глинистых минералов преобладающее положение занимают минералы группы монтмориллонита (сметтиты), селадонит, возможна гидрослюда. В зависимости от содержания вторичных минералов среди перлитов могут быть выделены неизменные, сильно-, средне- и слабоизмененные разновидности. В неизменных перлитах содержание цеолитов и глинистых минералов не должно превышать 5 %, в слабоизмененных оно колеблется от 5 до 10 %, в средне- и сильноизмененных — превышает 10 и 20 % соответственно.

Минералы, замещающие стекло, по-разному влияют на качество сырья, т. е. на способность его к вспучиванию. Цеолиты, даже при содержании до 30 %, не ухудшают качества перлитового сырья, в то время как монтмориллонит, селадонит и каолинит в количестве до 10–15 % резко уменьшают способность перлитового сырья к вспучиванию.

Другие разновидности перлитового сырья. Среди стекловатых пород вулканического происхождения могут быть выделены разновидности, которые по своим петрографическим особенностям не могут быть отнесены к двум выделенным основным разновидностям перлитового сырья. Например, *рыхлые перлитовые пеплы*, перотложенные в водной среде, залегают среди моренных ледниково-

озерных отложений. Пеплы состоят из весьма тонких частиц вулканического стекла до 10–100 мкм в поперечнике. При обжиге они вспучиваются так же, как и перлиты пористой текстуры класса А.

Особое место в классификации перлитовых пород занимают *перлитовые сваренные туфы*. Они характеризуются типичной игнибритовой текстурой. При весьма интенсивном сваривании обломков они приобретают массивный облик. Вспучиваемость их весьма низкая даже в том случае, когда в стекле отсутствуют инородные включения и примеси. Также особое место среди вспучивающихся разновидностей вулканических стекол занимают *обсидианы*. Среди них встречаются разновидности, содержащие мельчайшие пузырьки газовой-жидких включений, массивные разновидности, брекчиевые, полосчатые. Наиболее высокой вспучиваемостью обладают обсидианы, содержащие газовой-жидкие включения, и однородные, прозрачные в тонком сколе разновидности. Из обсидианов при обжиге, как правило, получается крупнопористое стекло с низкой прочностью и весьма небольшой насыпной плотностью около 60–150 кг/м³.

Вода в вулканическом стекле. Все вспучивающиеся разновидности вулканического стекла в том или ином количестве содержат воду и гидроксид, а также газы N₂, CO₂, CO и др.

Выделенные разновидности перлитового сырья отличаются как по количеству присутствующей в них воды, так и по ее качественной характеристике. В пористом перлите содержание воды обычно варьирует от 1,5 до 4,5 %. Результаты исследования пористых перлитов показали, что в стекле присутствуют два типа воды и гидроксил. При нагревании они выделяются в различных температурных интервалах: 100–250, 250–400 и 400–700 °С.

В *пористом перлите* на долю воды, выделяющейся при температурах 250–400 °С, приходится до 70–80 % от ее общего количества. Поскольку вода этого типа довольно прочно энергетически связана в структуре стекла, ее называли структурной или химически связанной. Структурная вода покрывает стенки тончайших капилляров и вакуолей молекулярного размера и связана с каркасом стекла водородными связями.

Количество низкотемпературной воды в пористом перлите составляет 10–20 %. Предполагается, что она расположена в центре капилляров, образует ассоциированные группы и практически не связана с каркасом стекла. Вода этого типа названа подвижной, так

как она легко выделяется при нагревании и при довольно низких температурах и давлениях может войти в стекло.

В массивных перлитах соотношение между типами воды и гидроксидом несколько иное. Содержание подвижной воды обычно достигает 30–40 %, на долю структурной воды приходится также 30–40, а на долю гидроксила — 10–20 %.

Дегидратация массивных и пористых перлитов происходит по-разному. Вследствие высокой пористости и большой удельной поверхности пористого перлита при повышении температуры происходит последовательное уменьшение содержания структурной воды.

При дегидратации массивного перлита в первую очередь выделяется большая часть подвижной воды. В связи с тем, что пористость массивного перлита крайне невелика, значительная часть подвижной воды находится в перлите в тончайших вакуолях, которые замкнуты или имеют узкие выходные отверстия, т. е. бутылочную форму. При температуре 150–200 °С начинает выделяться подвижная вода. В замкнутых и бутылочных вакуолях создается относительно высокое парциальное давление водяного пара. Поскольку каждая вакуоль играет роль микроавтоклава, происходит гидратация силикатного каркаса стекла, и часть подвижной воды переходит в структурную. Эта особенность дегидратации массивного перлита играет важную роль при выборе оптимального режима вспучивания. При температуре 250–300 °С начинается выделение структурной воды.

Некоторые геологические закономерности. По соотношению подвижной и структурной воды все перлиты можно разделить на две группы. Для перлитов, которые попадают в первую группу, это соотношение составляет 1:3, 1:5. Характерно, что в эту группу попадают главным образом пористые перлиты. Для перлитов второй группы соотношение подвижной и структурной воды составляет 1:1 или 2:1. Ко второй группе преимущественно относятся массивные перлиты.

Пористые и массивные перлиты занимают различное положение в пределах геологических тел: потоков, экструзивных куполов. Характерна также приуроченность их к вполне определенным вулканотектоническим структурам.

Пористые перлиты обычно участвуют в строении вулканических тел, для которых характерно резко неравномерное распределение летучих, в частности воды, по вертикали. В основании потоков

и экструзивных куполов обычно залегают вулканические стекла с низким содержанием воды, относимые к обсидиановому типу. Содержание воды в обсидианах составляет десятые и сотые доли процента. Выше обсидиана залегает перлит, содержащий около 3–3,5 % воды. Промежуточные разновидности в таких телах, как правило, отсутствуют. Характерно, что пористость перлитов снизу вверх возрастает от 10 до 70 %.

Содержание воды в перлитовой зоне меняется весьма незначительно — от 3 до 4 %. Резкое различие в содержании воды между обсидианом и перлитом, занимающим различное положение в строении вулканических тел, а также преобладание структурной воды в пористых разновидностях перлита свидетельствует об эндогенном происхождении этой зональности. Очевиден вывод о том, что пористые перлиты образовались в результате вспучивания лавы при остывании вулканических тел.

Массивные перлиты характеризуются аномально высоким содержанием воды — от 5 до 8 %. Вода обычно распределена равномерно по разрезу потока или купола. Характерна также связь массивных перлитов с проявлениями цеолитов. Массивные перлиты, в которых соотношение подвижной и структурной воды составляет 1:1 или подвижная вода преобладает, как правило, приурочены к вулканотектоническим депрессиям, в которых интенсивно проявилась гидротермальная деятельность. Интенсивно цеолитизированные породы, залегающие в нижней части разреза, обычно постепенно переходят в слабо измененные и неизменные перлиты.

Добыча перлита. Наиболее крупными подтвержденными запасами перлита обладают Турция (57 млн т), Греция и США (по 50 млн т) и Венгрия (28 млн т). Минеральные ресурсы перлита огромны и могут исчисляться многими миллиардами тонн. Так, в Китае ресурсы перлита оцениваются в 260 млн т, а в Армении — более 160 млн т.

Добыча перлита в 2014 году составила (тыс. т):

Турция.....	1150;
Греция.....	700;
США.....	480;
Япония.....	200.

Суммарная добыча сырья — 2,5 млн т в год.

В России разведано девять месторождений с общими запасами промышленных категорий более 26,4 млн м³. Все они расположены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах: в Бурятии, Читинской области, в Хабаровском и Приморском краях.

Перлит является продуктом широкой международной торговли. Главные экспортеры — Греция, США, Турция, Венгрия, Италия. Значительные объемы добычи перлита — в Японии и Китае. Крупнейшими импортерами выступают Канада, развитые европейские страны, а также США, Япония и Италия. Основные потребители перлита и продукции, производимой на его основе, — страны высокоразвитой экономики: Западная Европа, Япония и США (80% мирового потребления).

При эксплуатации месторождений перлита необходим комплексный подход. На многих месторождениях попутно с перлитом могут добываться сопутствующие ему породы, которые образуют вскрышу или подстилают перлитовое тело. Вмещающие кислые вулканы могут использоваться для производства стекловаты, облицовочной плитки, в качестве щебня и т. д. Цеолиты, которые часто подстилают перлитовую зону, с успехом применяются в сельском хозяйстве и цементной промышленности. Некоторые пористые, наиболее слабо вспучивающиеся разновидности могут быть использованы в естественном состоянии как заполнитель в тяжелые бетоны. Обсидиан, который постоянно сопутствует перлиту, а местами образует самостоятельные тела, рекомендуется применять в стекольной, керамической промышленности и как поделочный камень.

Комплексный подход к разработке месторождений поможет не только уменьшить себестоимость основного продукта — перлита, но и правильно организовать работы по добыче, а также избежать образования ненужных отвалов и уменьшить загрязнение окружающей среды отходами производства.

Технология переработки. Вспучивание перлита, как и керамзитового сырья, заключается в обжиге, в результате которого за относительно короткое время образуются газовые пузырьки по всему объему материала на стадии его пиропластического состояния. Температура вспучивания может варьировать от 850 до 1200 °С. В отличие от перлита, керамзитовое сырье перед вспучиванием должно расплавиться, а для этого необходима дополнительная затрата

тепла. Для перехода перлита в пластичное состояние без стадии аморфизации достаточно частичного его размягчения.

Главным агентом вспучивания в перлите является структурная вода. Высокое ее содержание в пористом перлите способствует его высокой вспучиваемости. Из пористых перлитов получают вспученный перлит с насыпной плотностью от 30 до 200 кг/м³. Дегидратация пористого перлита и удаление структурной воды ухудшают его технологические свойства и уменьшают способность к вспучиванию. Вспучивание пористого перлита осуществляется методом термоудара без предварительного обжига, т.е. в одну стадию. При этом происходит резкое уменьшение вязкости стекла и переход его в пиропластическое состояние. Выделение газов, главным образом газообразной воды, носит характер взрыва, а стекло при этом вспенивается. Вместе с водой во вспучивании участвуют и другие газы: Н₂, N₂, СО₂, СО, однако роль их второстепенна. Вода влияет на вязкость расплава, т.е. выступает минерализатором. Минерализаторами, снижающими вязкость стекла при нагревании, служат также рассолы хлоридов, присутствующих в стекле в виде включений.

Вспучивание массивного перлита, содержащего значительное количество подвижной воды, осуществляется в две стадии. Это связано с тем, что при резком нагревании массивного перлита подвижная вода вызывает растрескивание стекла еще до того, как оно размягчилось. Достижение оптимального количества воды в стекле достигается предварительным обжигом при температуре 300–450 °С в течение 10–30 минут. Режим предварительной термической обработки перлита в значительной степени зависит от его химического, петрографического состава и структуры.

Часть подвижной воды в массивном перлите присутствует в вакуолях микронного и молекулярного размеров. В процессе предварительного обжига происходит перераспределение между типами воды, часть подвижной воды меняет свою позицию и переходит в структурную. Предварительный обжиг не только вызывает удаление избыточного количества воды, но и приводит к облагораживанию технологических свойств сырья.

Характерно, что те разновидности перлитового сырья, в которых структурная вода выделяется при наиболее высокой температуре, как правило, вспучиваются с образованием относительно крупного тонкостенного пузырька. Мелкие пузырьки микронного уровня

в таких разновидностях практически отсутствуют. При дроблении подобный перлит почти не дает легких всплывающих частиц, что весьма важно для производства фильтровальных порошков.

Структурно-текстурные особенности сырья также влияют на характер пористости. Из массивных разновидностей получают вспученный перлит, в котором количество закрытых пор значительно выше, чем во вспученном перлите, полученном из разновидностей пористого и пемзовидного сырья. В зависимости от назначения перлита для вспучивания используют печи различных конструкций. Вспученный перлитовый песок получают в шахтных печах. Для вспучивания щебня используют вращающиеся печи.

Особенности размещения месторождений перлита. Месторождения перлитов приурочены к районам давней или текущей вулканической активности. Наиболее богатые месторождения разведаны в США, Турции, Японии, Иране, Мексике, Армении, Греции, Грузии, Италии, ЮАР, Венгрии, России. Эти же страны являются крупнейшими производителями материалов и изделий на основе перлитов. Российские месторождения перлитов находятся на Северном Кавказе, в Бурятии, на Камчатке и в Магаданской области.

При оценке сырьевых ресурсов той или иной страны или отдельных крупных регионов на перлит необходимо дифференцированно подходить к оценке качества сырья как отдельных месторождений, так и более крупных вулканотектонических структур. Опыт работы на месторождениях, которые сформировались в различной геологической обстановке, показал, что существует в той или иной степени выраженная предрасположенность перлитового сырья разных месторождений для применения в конкретной отрасли промышленности. Все месторождения перлита могут быть разделены на два типа.

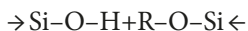
Первый тип месторождений представлен так называемыми пористыми перлитами, которые наиболее предпочтительны для производства теплоизоляции, а также для использования в сыром виде в качестве заполнителя бетонов, в керамике, стекольной промышленности и т. д. Данные месторождения концентрируются в районах проявления позднеплиоцена четвертичного вулканизма. В этих регионах выделяются области островодужного вулканизма и зоны вулканотектонической активизации более древних структур (Закавказье, Монголо-Охотская складчатая зона и т. д.).

Месторождения второго типа связаны с регионами проявления более древнего вулканизма: от позднего палеозоя до мезозоя и позднелиоценового времени. Выделяются древние складчатые области (герцинские и варисийские структуры Казахстана) и зоны мезозой-кайнозойской вулканотектонической активизации древних платформ (Забайкалье, Монголия). Перлитовое сырье этих месторождений наиболее предпочтительно для производства строительных сортов вспученного перлита. Российские месторождения перлитов находятся на Северном Кавказе, в Бурятии, на Камчатке и в Магаданской области.

Промышленное применение. Широкое использование вспученного перлита в промышленности основано на трех его главных свойствах: весьма низкой теплопроводности, низкой объемной массе и химической инертности.

Одно из главных свойств перлитового заполнителя — его весьма низкая теплопроводность — 0,1–0,3 Вт/(м·К). На этом свойстве основано его широкое применение в физике низких температур и строительстве. При резком перепаде температур от –150 до +150 °С теплопроводность изменяется от 0,02 до 0,1 Вт/(м·К).

Одним из основных факторов, существенно влияющих на тепло- и температуропроводность вспученного перлитового песка, является его влажность. Наиболее эффективный способ защиты материалов от увлажнения — их гидрофобизация кремнийорганическими соединениями. Кремнийорганические соединения взаимодействуют с поверхностными группами ОН. Взаимодействие происходит по следующей схеме:



где R — органический радикал.

Образование дисилоксановых связей Si–O–Si приводит к связыванию молекул гидрофобизатора в сплошную силоксановую сетку. Эта сетка, органические радикалы которой ориентированы наружу, в отдельных точках химически связывается с гидроксильными группами поверхности. Покрытия подобного рода весьма устойчивы в эксплуатации.

Объемная плотность является одним из основных показателей, определяющих технические области применения вспученного перлита. Для оценки технических свойств оперируют так называемой

насыпной плотностью. Насыпная плотность вспученного перлита — одна из основных его характеристик — зависит главным образом от качества перлитового сырья, его способности к вспучиванию и режима технологической обработки перлита при вспучивании. Насыпная плотность перлитов отечественных месторождений колеблется от 30 до 600 кг/м³. Все остальные технические характеристики в значительной степени являются производными.

Основные характеристики получаемого из перлитового сырья песка и щебня регламентированы ГОСТом 10832–83. Песок в зависимости от насыпной плотности подразделяют на марки: 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400 и 500.

По размеру зерен песок делится на фракции (мм):

рядовой.....	от 0,16 до 5;
крупный.....	от 1,25 до 5;
средний.....	от 0,16 до 2,5;
мелкий.....	от 0,16 до 1,25;
пудра.....	менее 0,16.

Объемное содержание крупных и мелких зерен для каждого фракционного интервала не должно быть более 15 %.

Щебень в зависимости от насыпной плотности также делят на марки: 200, 250, 300, 400 и 500, а в зависимости от размера зерен — на две фракции: от 5 до 10 мм и от 10 до 20 мм.

По составу песок и щебень должны быть однородными. В зависимости от однородности выделяются песок и щебень первой и высшей категории. В песке и щебне высшей категории показатель неоднородности по зерновому составу не должен превышать 10 %.

Поскольку от размера исходного зерна зависят физико-механические свойства получаемого перлита, необходимо вспучивать материал с заданной крупностью. Это обеспечивается предварительным измельчением перлитовой породы перед обжигом до частиц требуемых размеров.

Химическая инертность, или реакционная способность, — весьма важный показатель, влияющий на выбор области его применения. Вспученный перлит довольно устойчив в кислых средах, однако он проявляет заметную активность при взаимодействии с растворами щелочей.

В промышленности перлит применяется как в виде сырой породы, так и в виде вспученного продукта. Маложелезистые разновидности перлита применяются в керамике и стекольной промышленности. Для этой цели в небольшом количестве применяются перлитовые вулканические пеплы. Главное промышленное использование имеет перлит в виде вспученного продукта, или так называемый вспученный перлит. Вспученный перлит используется более чем в 20 отраслях промышленности (рис. 13).

Вспученный перлит используется главным образом в строительной индустрии. Одно из основных применений его в строительной индустрии — получение легких бетонов.

В России для районов с сейсмичностью 6–8 баллов широко применяются однослойные стеновые *перлитобетонные панели* из перлитобетона марки «75» плотностью от 950 до 1050 кг/м³. Наиболее целесообразно комплексно использовать перлит в крупнопанельных зданиях. В том случае, если основные конструкции изготавливаются из перлитобетона, масса жилого дома будет в 1,5 раза меньше массы здания из сборного железобетона. При этом также наблюдается значительная экономия цемента и стали, что особенно важно для сейсмических районов, где требуется максимальное уменьшение массы зданий.

В настоящее время наиболее широко используются такие материалы на основе перлита и неорганического связующего, как асбоперлитцемент, силикатоперлит, ячеистый перлитобетон, карбоперлит, гипсоперлит, керамоперлит, перлитовый легковес.

Асбоперлитовые изделия характеризуются следующими свойствами: плотность — 200–400 кг/м³, теплопроводность при 270 и 325 °С — 0,08 и 0,20 Вт/(м·К) соответственно.

Силикатоперлит изготавливается из вспученного перлитового песка и известково-песчаного или известково-золяного связующего. Теплопроводность силикатоперлита в зависимости от плотности колеблется от 0,1 до 0,4 Вт/(м·К). Ячеистый перлитобетон характеризуется высокими теплоизоляционными и звукопоглощающими свойствами. В качестве связующего используются известь, портландцемент. Теплопроводность материала — 0,06 Вт/(м·К).

Карбоперлит получают полусухим прессованием массы, состоящей из вспученного перлита и извести, с последующей обработкой газами, содержащими CO₂. Теплопроводность в зависимости от плотности колеблется от 0,06 до 0,16 Вт/(м·К).

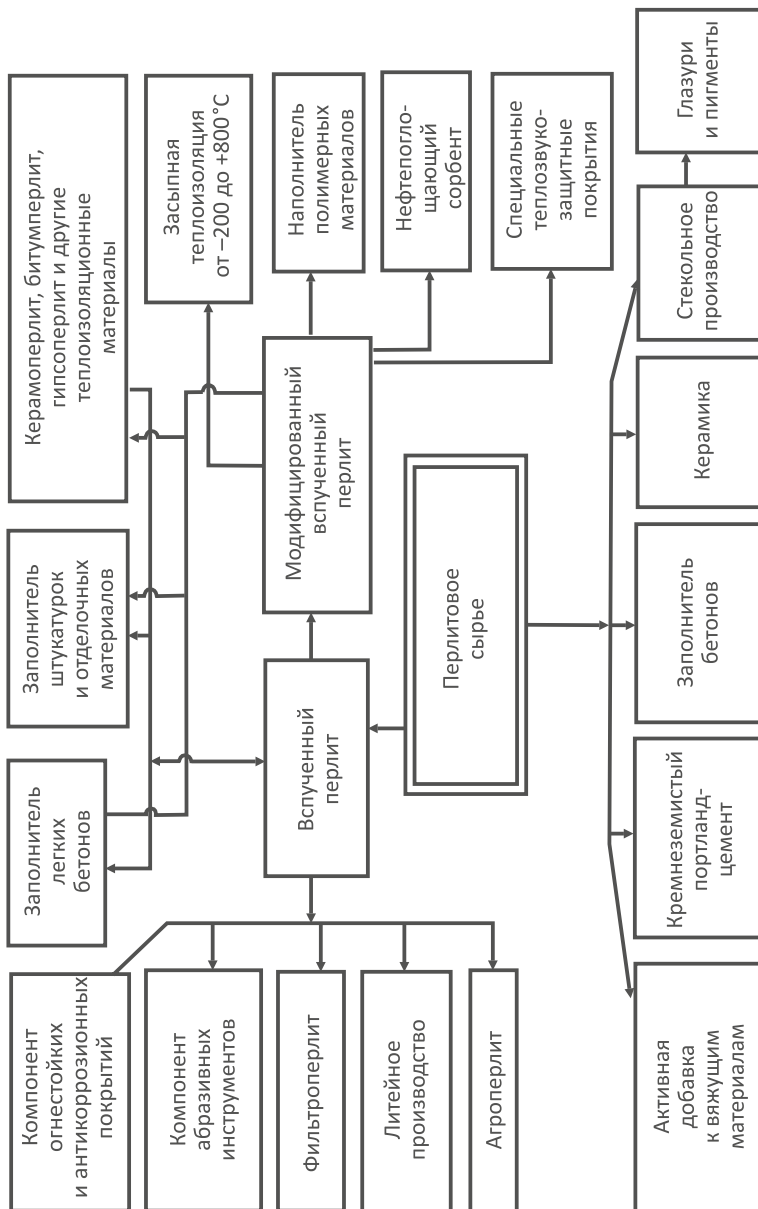


Рис. 13. Схема комплексного применения перлитового сырья [9]

Гипсоперлит изготавливают на основе строительного гипса и вспученного перлита плотностью 80–150 кг/м³ способами литья, вибрирования и полусухого прессования. Теплопроводность этого материала 0,15–0,20 Вт/(м·К).

Керамоперлит изготавливается из вспученного перлитового песка и молотой глины путем обжига при температуре 300–950 °С. Теплопроводность при 20 ± 5 °С составляет 0,075–0,104 Вт/(м·К).

Кроме перечисленных материалов на неорганической связке, применяемых в строительной индустрии, следует отметить *стеклоперлит*, *перлитовый обжиговый легковес* и *базальт-перлитовый волокнистый материал*. Теплопроводность этих материалов варьирует от 0,07 до 0,11 Вт/(м·К).

Из материалов на органических связках наибольшее применение нашли *битумперлит* и *пластперлит*. Наряду с изделиями на различных связующих вспученный перлит используется в качестве теплоизоляционного материала в засыпных конструкциях при температуре эксплуатации от +800 до –200 °С. Очень распространены в промышленности *перлитовые фильтровальные порошки*. Выпускают около 50 тыс. м³ фильтроперлита в год.

Применение вспученный перлит нашел и в сельском хозяйстве. Производство *агроперлита* основано на особой технологии вспучивания. Для получения агроперлита сырой фракционированный перлит вспучивают при температуре выше 1300 °С. Агроперлит представляет собой крупнозернистый материал с ломаными открытыми порами и большим количеством закрытых пор во внутренней части зерна. Насыпная плотность агроперлита — 200 кг/м³.

В связи с тем, что перлит на 75–77 % состоит из SiO₂, его маложелезистые разновидности могут использоваться как *один из главных компонентов стекольной шихты*. В данное время существует оригинальный способ производства стекла, который основан на гидрохимической переработке перлита.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы области применения перлитов?
2. Какие существуют разновидности перлитов?
3. Какие типы воды содержатся в вулканическом стекле?
4. Как бы вы охарактеризовали мировую добычу перлита?
5. Опишите технологию переработки перлита.

Глава 12

ШУНГИТ

Шунгит не входит в международный перечень общераспространенных полезных ископаемых, но для одного из субъектов Российской Федерации — Республики Карелии — его можно считать таковым, поэтому ниже рассматривается этот специфический тип полезных ископаемых. Кроме того, в России и мире все больше вводится в эксплуатацию золоторудных месторождений в черносланцевых углеродистых формациях. При комплексной переработке углеродсодержащих благороднометалльных руд углерод может выделяться в качестве попутного продукта.

Общие сведения. Шунгит — элементарный углерод с метастабильной глобулярной надмолекулярной структурой. Он отличается от графита отсутствием трехмерной кристаллической решетки, от углей и битумов — двухмерной структурой и малым содержанием летучих компонентов.

Химические и физические свойства шунгита:

содержание углерода.....	83,5–99,6 %;
содержание летучих (H, O, N).....	0,01–8,5 %;
плотность.....	1,8–2,0 г/см ³ ;
твердость по шкале Мооса.....	3,5–4,5;
температура плавления.....	3527 °С;
температура кипения.....	4200 °С;
теплопроводность.....	0,86–1,07 Вт/(м·К)
удельное электросопротивление.....	–2,1–10 ^{–4} –8–10 ^{–4} Ом·м;
удельная адсорбционная поверхность...	12–89 м ² /г;
модуль упругости.....	2700 МПа;
модуль сдвига.....	1000 МПа;
магнитная восприимчивость —	диамагнетик;
примеси металлов —	Au, Ag и элементы платиновой группы;
цвет —	черный;

блеск —	стеклянный, алмазный;
излом —	раковистый;
хрупкость —	высокая;
растворимость —	отсутствует.

По структурным характеристикам шунгит обладает турбостратной молекулярной структурой, состоящей из поликонденсированных ароматических сеток, уложенных в субпараллельные атомные пакеты, которые азимутально разориентированы относительно друг друга. По сравнению с графитом поликонденсированная ароматическая сетка шунгита дефектна и сильно деформирована.

Шунгит занимает промежуточное место между «аморфными» (сажа, стеклоуглерод, антрацит и др.) и кристаллическими (графит, алмаз, фуллерен) формами углерода, обнаруживая признаки и тех, и других веществ. Следствием этого являются специфические, иногда уникальные технологические свойства шунгита и широкий спектр его возможного промышленного использования.

Основной компонент шунгита — углеродное вещество (УВ). Рентгенографически оно гетерогенно. Установлено не менее пяти структурных модификаций УВ — от битумоидов до графита, среди которых преобладает шунгитовая модификация (30–98 % состава УВ для разных типов и сортов руд).

УВ представлено двумя разновидностями — тонкодисперсной (ТУВ) и миграционной (МУВ). В природных типах шунгитоносных руд фиксируют три тонкодисперсные фазы УВ. В *первой фазе* — агрегаты тонкоглобулярного УВ, наиболее характерные для ТУВ разнотипных руд. *Вторая фаза* сложена УВ, сорбированным на поверхности силикатов, весьма характерна для ТУВ глинистых и слюдяных пород. *Третья* представлена частицами, четко отграниченными от окружающей минеральной среды, характерна для МУВ руд. Эти морфологические разновидности отличаются степенью структурного совершенства (максимальная — у МУВ, минимальная — у сорбированного ТУВ), характером и величиной механической и кристаллохимической связи УВ с вмещающим минеральным субстратом (минимальной у МУВ и максимальной у сорбированного ТУВ), что позволяет разделить шунгитоносные руды на трудно- и легкообогатимые, определить рациональное направление технологических исследований разнотипных шунгитоносных руд и их разновидностей.

Известны две группы разведываемых месторождений: Зажогинская в Карелии и Бакырчикская в Восточном Казахстане. Суммарные запасы и ресурсы сырья этих месторождений превышают 3 млрд т.

Области применения. Шунгит и различные типы шунгитоносных пород, руд и продукты их технологической переработки эффективно используют в производстве керамики, шумопоглощающих прокладок, огнеупоров, изделий на основе углерода, адсорбентов, строительных материалов.

Труднообогатимые средне- и высокоуглеродные руды используют: в качестве заменителя кокса и кварцита в производствах желтого фосфора, ферросплавов, карбида кремния и при жидком удалении шлаков из нагревательных колодцев; наполнителя конструкционных материалов и коррозионно-стойких композиций; адсорбента при очистке сточных вод и газовых выбросов.

Малозольные разновидности шунгитов применяют как заменители графита в противопожарных красках, пастах и подмазках. Истертые до пудры шунгиты в соответствующих пропорциях смешивают с обычными (патока, бентонитовая суспензия, вода) компонентами этих изделий.

Весьма вероятно их применение вместо традиционных углеродных материалов, особенно в композиционных изделиях, для изготовления кислотостойких футеровочных материалов, противопожарных покрытий, сталей, формовочных материалов, декоративных камней, катализаторов, смесей для обработки чугуна и легированной стали, защитных материалов при легировании и наполнителей для защитных покрытий, защиты от радиоактивного облучения и поглотителей нейтронов, фуллеренов.

В обобщенном виде современное применение шунгитов можно представить следующим образом.

Направление	Способ использования
Металлургия	Шихта в производстве ферросплавов, чугуна. Производство карбида кремния. Производство элементарного фосфора. Специальные антипожарные краски
Резиново-техническая промышленность	Производство резиново-технических изделий (РТИ) общего назначения. Производство автомобильных шин. Производство мото- и велопокрышек. Производство высоконаполненных РТИ специального назначения: электропроводных, антистатических

Направление	Способ использования
Композиционные материалы и изделия	Электропроводные пластмассы. Антистатические пластмассы, трубы. Шунгит-полимерные фильтры многоцелевого назначения. Декоративные облицовочные материалы
Лакокрасочная промышленность	Производство антипригарных красок и паст. Производство масляных и алкидных эмалей. Производство антикоррозионных красок. Производство электропроводных красок
Строительство	Специальные бетоны, кирпич, штукатурки, радиозащитные материалы. Теплые полы, стены и другие поверхности на основе электропроводных красок. Огнеупорные покрытия
Приборостроение	Специальные испытательные камеры. Защитные покрытия. Защитные покрытия специальной и бытовой техники (радиозащитные покрытия)
Дорожное строительство	Строительство незамерзающих участков дорог, пешеходных переходов на основе шунгитовых асфальтов. Строительство специальных трасс на основе шунгитовых асфальтов
Коммунальное хозяйство	Очистка промышленных сточных вод. Очистка дождевых вод. Водоподготовка. Очистка стоков больниц. Обеззараживание питьевых и сточных вод

Промышленные типы месторождений. Известны два промышленных типа месторождений шунгитового сырья: благородно-металльно-шунгитовый и собственно шунгитовый (табл. 43). По величине запасов шунгитового сырья, которые составляют сотни миллионов тонн, месторождения обоих типов относят к весьма крупным.

Природные и технологические типы шунгитового сырья. Природные типы шунгитового сырья различают по содержанию углерода, структурно-вещественным особенностям и минеральному составу вмещающего субстрата. По степени обогатимости шунгитоносные руды подразделяют на легкообогатимые (месторождения Восточного Казахстана) и труднообогатимые (месторождения Карелии). Кроме того, на месторождениях Восточного Казахстана сосредоточены десятки миллионов тонн техногенных скоплений шунгитоносных руд в отвалах золотодобывающих комбинатов. Значительные скопления переработанных углеродных руд с природным

Таблица 43. Промышленные типы месторождений шунгитового сырья [2]

Генетический тип	Геологическая формация	Типы шунгитоносных руд	Содержание углерода* (%)	Форма, размеры и строение рудных тел
Регионально-метаморфический	Докембрийская флишеидная шунгит-карбонат-черносланцевая	Шунгиты II	35–80 (43–54)	Пласты, площадь — десятки км ² , мощность — 4–35 м
		Шунгиты III	20–35 (24–31)	Слои и пласты, площадь — десятки км ² , мощность — 1–70 м
		Шунгиты IV	10–20 (14–16)	Слои и прослои, площадь — десятки км ² , мощность — первые метры
		Шунгиты V	До 10 (4–5)	Слои и пласты, площадь — десятки км ² , мощность — 1–25 м
		Высокоуглеродистый шунгитовый	25–80 (30–60)	Линзовидные тела мощностью 0,3–4 м и протяженностью 1–10 км, образующие горизонты мощностью до 10 м и протяженностью более 50 км. Представлены шунгитовыми брекчиями, чередующимися с зонами развития шунгитовых и шунгитистых милонитов
Линейно-метаморфический (метасоматический)	Позднепалеозойская низкотемпературных метасоматитов по углеродсодержащим вулканогенно-осадочным породам	Среднеуглеродистый шунгитовый	5–25 (8–15)	Линзовидные тела мощностью 0,5–70 м и протяженностью 2–250 м, заключающие мелкие тела шунгитовых руд. Представлены чередующимися шунгитистыми и шунгитосодержащими рудами, где первые образуют более 60 % объема рудных тел
		Низкоуглеродистый шунгитосодержащий	До 5 (1–3)	Линзовидные и пластообразные тела мощностью до 100 м и протяженностью до 1000 м. Представлены шунгитосодержащими рудами и слабо-углеродистыми породами

*В скобках — устойчивое содержание углерода.

и техногенным шунгитовым веществом сконцентрированы также в отходах горнодобывающих и металлургических предприятий.

Разработка месторождений. Разработку месторождений шунгитового сырья производят традиционными способами: открытым, подземным и комбинированным.

Открытым способом обрабатывают неглубоко залегающие (поверхностные и близповерхностные) пологие залежи и горизонты месторождений Карелии. Вскрытие месторождений осуществляют карьерами. Разработку рудных тел ведут уступами с применением буровзрывных работ. Выемку руды производят экскаваторами, а транспортировку — автосамосвалами или железнодорожным транспортом.

Подземным способом обрабатывают глубоко залегающие крутопадающие рудные тела. Месторождения вскрывают шахтой, пересекающей залежь от верхних до нижних горизонтов. Наклонные тела вскрывают с лежачего бока и из пройденной шахты проводят квершлаг, пересекающие месторождение на разных горизонтах. Подготовку месторождений ведут поэтапно. В противоположные от шахтного ствола стороны прокладываются главные штреки, оборудуемые для откатки; из главных штреков — промежуточные, нарезающие поле на добычные блоки; в крутопадающих телах — гезенки, восстающие, межэтапные штреки, в необходимых случаях орты. В процессе добычных работ подготовленные блоки обрабатывают с массовым обрушением и извлечением руды на поверхность.

Комбинированный способ применяют при переходе от неглубоко залегающих к глубоким горизонтам месторождений. Применение этого способа не имеет особенностей, отличающих его от действующих на месторождениях других видов сырья.

Наиболее важные *факторы, влияющие на выбор способа добычи*: глубина залегания, форма и параметры рудных тел; их количество; наличие тектонических нарушений; наличие благороднометалльной (обычно основной) минерализации; инженерно-геологические условия; обводненность участка; экологическая обстановка.

Промышленная переработка сырья. В зависимости от обогатимости и минерализации шунгитоносных руд применяют несколько способов их переработки. *Труднообогатимые низкоуглеродные руды* месторождений используют в основном в качестве шунгитового

сырья. Рациональная схема подготовки руд предусматривает фракционирование дробленого материала с максимальным размером зерен 15 мм, вспучивание его в фонтанирующем слое циркулирующим способом, переработку фракции 0–5 мм на шунгизитовый гравий и песок, а также использование пыли руд в литейном производстве в качестве разупрочняющей добавки.

Кремнистые разновидности шунгитов применяют в производствах фосфора, ферросплавов и карбида кремния (табл. 44). Эти же разновидности используют в качестве адсорбента. Схема обработки руд включает дробление и сушку в сушильном барабане с получением гранулометрического состава фракций от 5 до 40 мм и дальнейшее использование вместо кокса и кварцита либо совместно с ними.

Таблица 44. Требования к химическому составу шунгитоносных руд для производства фосфора, ферросплавов и карбида кремния (%) [2]

Показатель	Сорт шунгита	
	I	II
C	Не менее 30	20–30
C+(SiO ₂ +Al ₂ O ₃)	Не менее 93	85–93
CaO+MgO	Не более 2	2,1–8
Fe _{общ}	Не более 1,7	1,7–3,5
P ₂ O ₅	Не нормируется	

При производстве конструкционных материалов и коррозионно-стойких композиций возможно применение истертых до порошка алюмосиликатных разновидностей шунгитов, а в качестве химически стойкого отделочного материала — выпиленных монолитных блоков.

Легкообогатимые шунгитовые и шунгитистые руды пригодны для получения высокоуглеродных концентратов — заменителей графита и искусственного углерода. Основной способ обогащения руд — флотация с дополнительной химической очисткой на конечных стадиях получения продукта.

Испытание качества сырья. Многообразие путей использования шунгитового сырья определяет широкий спектр методов испы-

тания разнотипных шунгитоносных руд. В конечном счете качество сырья оценивают исходя из двух требований:

- достаточной изученности технологических свойств конкретного типа шунгитоносных руд и концентратов на их основе;
- классификации технологических типов и сортов заменяемого ими природного или искусственного материала (графит, искусственный углерод, кокс, кварцит и др.); причем испытания ведут обычно по схемам, принятым для заменяемого вида сырья.

Лабораторные технологические исследования проводят на лабораторных (1–10 кг) и укрупненно-лабораторных (50–200 кг) пробах, отбираемых бороздовым или задирковым способом из каждого типа руд. Масса руды для полупромышленных испытаний варьирует от 0,5 до 5 т.

Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду. Высокая токсичность углерода проявляется в пыли и оксидах, особенно СО и СО₂. Предельно допустимые концентрации углерода и его соединений в атмосфере приведены в таблице 45.

Таблица 45. Предельно допустимые концентрации углерода шунгитового сырья [2]

Концентрация	Пыль (мг/м ³)	Сажа (мг/м ³)	СО (мг/м ³)	СО ₂
Разовая	–	0,15	5	9 г/м ³
Среднесуточная	–	0,05	20	0,05 %
Рабочей зоны	4	–	3	0,01 %

Экологические требования к разработке месторождений шунгитового сырья мало отличаются от предъявляемых к графитовым месторождениям. Они сводятся к учету источников техногенного воздействия на окружающую среду в соответствии с горно-техническими условиями и разработке предупредительных, защитных и восстановительных природоохранных мероприятий. Проводят также экономическую оценку экологических последствий от разработки месторождений и контроль за окружающей средой, подразумевающий функционирование контрольной режимной наблюда-

тельной сети и формирование литомониторинга. В связи с тем, что при получении шунгитовых концентратов и извлечении металлов основными в схемах переработки руд являются процессы дробления, рассева, флотации и химической перечистки, обеспечивают мероприятия по экологической чистоте этих процессов, исключаящие проникновение в организм человека и окружающую среду шунгитовой и другой пыли, токсичных испарений флото- и химреагентов, а также их загрязняющего воздействия на воду и воздух. Исключают или предельно ограничивают поступление загрязненных флотационных вод, химических растворов и пыли с горно-обогатительных производств в рудоносные горизонты, природные и искусственные водоемы.

Одним из источников загрязняющих действий на окружающую среду (в результате ветрового пыления и смыва атмосферными осадками загрязняющих веществ) являются хвостохранилища обогатительных фабрик. При обогащении шунгитовых руд методом флотации возникает значительное количество промышленных отходов из золообразующих минералов. Это преимущественно кварц, полевые шпаты, слоистые и другие силикаты, хранящиеся в хвостохранилищах. Они требуют защиты от распыления. Транспортировку шунгитовых концентратов с целью исключения загрязнения окружающей среды осуществляют в многослойных бумажных мешках и обязательно в крытом транспорте.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое шунгит, и где он применяется?
2. Какие существуют промышленные типы месторождений шунгитового сырья?
3. Перечислите природные и технологические типы шунгитового сырья.
4. Как осуществляется разработка и промышленная переработка шунгитового сырья?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные виды минерального сырья, относящегося к общераспространенным полезным ископаемым, не охватывают всего природного их разнообразия. Вместе с тем очевидна их высокая роль в промышленной индустрии, без которой уже немыслимо развитие современной цивилизации.

В настоящем пособии рассмотрены вопросы геологии и практического использования некоторых видов нерудного минерального сырья, имеющего широкое распространение в природе. Для этих типов сырья не действует географический фактор локализации месторождений, поскольку эти объекты присутствуют во всех странах мира, на всех материках. Кроме того, здесь не действует и геологический фактор локализации объектов, т. к. геологические ситуации, приводящие к образованию месторождений данных видов минерального сырья, встречаются очень часто, а факторы, вызывающие их образование, относятся к наиболее общим и распространенным в природе процессам — физическому и химическому выветриванию, формированию магматических и метаморфических горных пород, процессам седиментации и пр.

С практической точки зрения, нерудное общераспространенное сырье является чрезвычайно важным объектом экономической деятельности человечества:

- объем добычи общераспространенного сырья в мире измеряется 12 млрд т (это около 5 км^3) и немного уступает суммарному объему добычи топливно-энергетического сырья;

- в денежном выражении суммарная ценность добытых общераспространенных полезных ископаемых составляет 8–9 % от общей ценности минерального сырья, добываемого на Земле (ОРПИ в стоимостном выражении добывается столько же, сколько черных и цветных металлов вместе взятых, и в четыре раза больше, чем всех благородных металлов);
- ОРПИ являются важной частью торговли, но на долю этих видов минерального сырья приходится небольшой объем в стоимостном выражении, а в натуральном — это составляет примерно 10–15 % от объема мировой торговли минеральным сырьем.

Таким образом, в представленном учебном пособии собраны данные о геологических объектах и месторождениях полезных ископаемых, которым уделяется чрезвычайно мало внимания при изучении классических университетских курсов, несмотря на их очевидную экономическую и практическую значимость для развития современной промышленности и общества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глины. Минеральное сырье: справочник / А. А. Сабитов, И. И. Зайнуллин, Ф. И. Ковальский и др. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 38 с.
2. *Глебашев С. Г.* Шунгит. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 16 с.
3. *Гонцов А. А.* Сапропели. Минеральное сырье. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 20 с.
4. *Гонцов А. А., Новгородова С. В.* Минеральное сырье. Торф. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 44 с.
5. *Дистанов У. Г.* Диатомиты, опоки, трепелы. Нетрадиционные виды нерудного минерального сырья / под ред. У. Г. Дистанова, А. С. Филько. М.: Недра, 1990. С. 34–48.
6. *Дьячков И. В., Арютина В. П.* Краски минеральные. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 37 с.
7. *Еремин Н. И.* Неметаллические полезные ископаемые: учебное пособие. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 2007. 459 с.
8. Лёссовые породы СССР / под ред. Е. М. Сергеева, А. К. Ларионова, Н. Н. Комиссаровой. М.: Недра. 1986. Т. 1. 232 с.; Т. 2. 276 с.
9. *Наседкин В. В.* Перлиты. Нетрадиционные виды нерудного минерального сырья / под ред. У. Г. Дистанова, А. С. Филько. М.: Недра, 1990. С. 73–89.
10. Песок кварцевый. Минеральное сырье: справочник / Г. Н. Бирюлев, В. М. Голнох, Е. В. Бобрикова, А. В. Корнилов. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 36 с.
11. *Сементовский Ю. В.* Известняк. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 18 с.
12. *Сементовский Ю. В.* Камни облицовочные. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 24 с.
13. *Сементовский Ю. В., Бирюлев Г. Н.* Сырье песчано-гравийное. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 23 с.
14. *Сементовский Ю. В., Сенаторов П. П.* Строительные камни и заполнители бетона. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 22 с.
15. *Чернышов Н. П., Сементовский Ю. В.* Цементное сырье. Минеральное сырье: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 30 с.

Книги **Издательства СПбГУ** можно

ЗАКАЗАТЬ

на сайте издательства: **publishing.spbu.ru**

в интернет-магазинах: **ozon.ru; bookvoed.ru; URSS.ru**

ПРИБРЕСТИ

*в книжных магазинах СПбГУ **Дом университетской книги***

Менделеевская линия, д. 5

6-я линия В. О., д. 15

Университетская наб., д. 11

А также в магазинах

- Санкт-Петербурга:* Сеть книжных магазинов «Буквоед»
Санкт-Петербургский Дом книги, Невский пр., д. 28
«Подписные издания», Литейный пр., д. 57
- Москвы:* «Библио-Глобус», ул. Мясницкая, д. 6/3
«Фаланстер», М. Гнездиновский пер., д. 12/27
- Перми:* «Пиотровский», ул. Ленина, д. 54
- Екатеринбурга:* «Ельцин-Центр», ул. Бориса Ельцина, д. 3а
-
-

Учебное издание

*ПОЛЕХОВСКИЙ Юрий Степанович,
ПЕТРОВ Сергей Викторович*

**ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫЕ
ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ**

Учебное пособие

Редактор *И. М. Кудрявина*
Корректор *М. А. Логинова*
Компьютерная верстка *Е. М. Воронковой*

Подписано в печать 30.11.2017. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 12,9. Планируемый тираж 500 экз. (1-й завод — 100 экз.). Заказ № .
Издательство Санкт-Петербургского университета.
199004, Санкт-Петербург, В.О., 6-я линия, д. 11.
Тел./факс +7(812) 328-44-22
publishing@spbu.ru
publishing.spbu.ru

Типография Издательства СПбГУ.
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская линия, д. 5.