

И.И. Холин

Справочник по производству цемента

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
И11

И11 **И.И. Холин**
Справочник по производству цемента / И.И. Холин – М.: Книга по Требованию,
2013. – 854 с.

ISBN 978-5-458-53377-5

ISBN 978-5-458-53377-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ЧАСТЬ I

ВИДЫ ЦЕМЕНТОВ, СЫРЬЕ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ

Научный редактор, проф. С. М. РОЯК

РАЗДЕЛ I

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Автор-составитель д-р техн. наук И. В. КРАВЧЕНКО

Портландцементом называется вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера с гипсом и добавками и образующее при затворении водой удобообрабатываемое тесто, способное затвердевать в воде и на воздухе.

Портландцементный клинкер обычно получают в результате обжига до спекания сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины или некоторых других материалов (мергеля, доменного шлака), обеспечивающих образование в клинкере силикатов кальция (70—80%), алюминатной и алюмоферритной фазы (20—30%).

Продукт, соответствующий по составу портландцементному клинкеру, может быть получен также путем полного расплавления сырьевой смеси.

Химико-минералогический состав портландцементного клинкера характеризуется следующими показателями:

а) коэффициентом насыщения кремнезема известью — KH , представляющим собой отношение количества окиси кальция в клинкере, фактически связанного с кремнекислотой, к ее количеству, теоретически необходимому для полного связывания кремнекислоты до трехкальциевого силиката

$$KH = \frac{CaO_{\text{общ}} - CaO_{\text{своб}} - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3 - 0,7SO_4}{2,8(SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{своб}})}$$

Величина KH практически находится в пределах 0,85—0,95;

б) силикатным, кремнеземным модулем, представляющим собой отношение процентного содержания в клинкере кремнекислоты к сумме процентного содержания окислов алюминия и железа:

$$CM = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

Величина этого модуля находится в пределах 1,7—3,5;

в) глиноземным модулем, представляющим собой отношение

Кристаллооптические характеристики

Минерал	Формула	Плотность	Твердость	Область стабильности	Цвет
1	2	3	4	5	6
Трехкальциевый силикат	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,2	—	При 1900°C и 1200—1500°C неустойчив, разлагается на C_2S и CaO	Бесцветный
Двухкальциевый силикат	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ α -форма α' -форма β -форма	3,4	5—6	Точка перехода в ρ -форму от 1438 до 1456°C Точка перехода в γ -форму 675°C	Светлый, чуть желтоватый
	γ -форма	2,98	—	Стабильна ниже $t=675^\circ\text{C}$	—
Трехкальциевый алюминат	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	3,04	6	При $t=1535^\circ\text{C}$ диссоциирует на CaO и жидкость	Бесцветный
Пятикальциевый трехалюминат	$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ стабильная форма	2,69	5	Плавится при $t=1455^\circ\text{C}$	.
	$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ нестабильная форма	—	—	Область стабильности неизвестна	.
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	3,77	—	Плавится при 1415°C, при $t=1395^\circ\text{C}$ разлагается на жидкость и твердое тело	Красновато-коричневый
Шестикальциевый диалюмоферрит	$6\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	—	—	Диссоциирует при $t=1365^\circ\text{C}$ на жидкость и твердое тело	—
Периклаз	MgO	3,58	—	Плавится при 2800°C	—
Известь	CaO	3,32	3—4	Плавится при 2570°C	—
Щелочные соединения	$8\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ $23\text{CaO} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 12\text{SiO}_3$	—	—	Округлые зерна в сложных сростках	—

минералов портландцементного клинкера

Таблица 1

Кристаллическая система, габитус	Показатели светопре-ломления			Оптическая характе-ристика	Плеохроизм
	N_p	N_m	N_g		
7	8	9	10	11	12
Гексагональная	1,717	—	1,723	—	—
Моноклинная	1,715	—	1,737	2V — большой 2V — 36°, двусный положительный	—
Ромбическая	1,712	—	1,725		—
Моноклинная, слож- ное двойникование	1,717	—	1,735	2V — большой	—
Ромбическая призма с совершенной спайностью по длинной оси призмы	1,642	1,645	1,654	Двусный отрица- тельный 2V=60°	—
Кубическая, мелкие кристаллы в виде шестиугольников и прямоугольников	$N=1,71$			—	—
Кубическая, округлые зерна	$N=1,608$			Двусный отрица- тельный с большим углом оптических осей	От голубого по N_p до оливкового по N_g
Вероятно, орторомбическая, сферолиты, состоящие из радиальных перекрывающихся друг друга волокон	1,687	—	1,692		
Ромбическая, зерна призматической формы	1,98	2,01	2,07	Двусный отрица- тельный, 2V—уме- ренный	От желтовато-коричневого до коричне- вого
Орторомбическая	1,87	—	1,93	Двусный, 2V—малый	—
Кубическая, совершенная спайность	$N=1,737$			—	—
То же	$N=1,837$			—	—
—	1,695	—	1,703	—	—

процентного содержания в клинкере окиси алюминия к процентному содержанию окиси железа

$$ГМ = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}.$$

Величина этого модуля для обычных портландцементов находится в пределах 1—2,5.

Минералогический состав. Цементный клинкер состоит из следующих основных минералов: трехкальциевого силиката

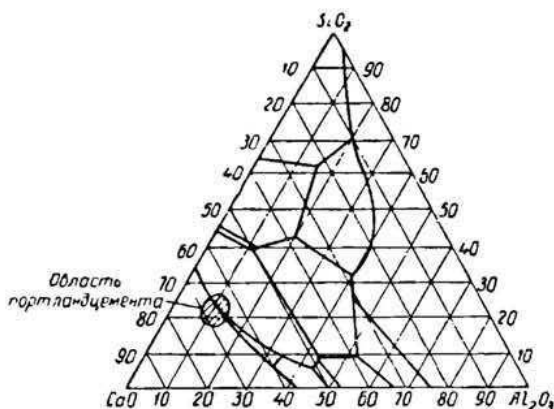


Рис. 1. Область портландцемента на тройной диаграмме $CaO—Al_2O_3—SiO_2$

$3CaO \cdot SiO_2 (C_3S)$ — алита, двухкальциевого силиката — $2CaO \cdot SiO_2 (C_2S)$ — белита, алюмоферритов кальция переменного состава (от C_6A_3F до C_6AF_2) и алюминатов кальция (C_3A и C_5A_3).

На рис. 1 показана область, соответствующая составам портландцементов на тройной диаграмме $CaO—Al_2O_3—SiO_2$.

Физико-химические характеристики минералов, входящих в состав портландцементного клинкера, приведены в табл. I.

Аллит. Существуют три формы трехкальциевого силиката, различающиеся по составу и кристалло-оптическим характеристикам. Кроме алита, кристаллизующегося в моноклинной системе, и чистого C_3S , относящегося к триклинной системе, существует трехкальциевый силикат, содержащий небольшие примеси FeO , Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5 , MnO , Al_2O_3 и кристаллизующийся в псевдотригональной системе. Состав алита, образующегося в портландцементном клинкере, можно выразить формулой $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot MgO \cdot Al_2O_3$. Имеются указания на возможность образования в алите твердого раствора C_3S и с другими, реже встречающимися окислами (Cr_2O_3 и др.).

Для чистого C_3S установлены две температурные области — $1900—2070^\circ C$ и $1200—1250^\circ C$, в которых начинается обратный про-

цесс разложения его на C_2S и CaO . Практическое значение для обжига цементного клинкера имеет нижняя температурная область, так как цементный клинкер в процессе охлаждения находится некоторое время при температуре 1200—1250°С, когда может произойти разложение алита (рис. 2).

Белит. Установлено существование четырех полиморфных форм двухкальцевого силиката: α , α' , β и γ . $\alpha = C_2S$ образуется при температурах выше 1425—1250°С и вследствие трудности его стабилизации практически отсутствует в промышленных клинкерах. По мнению большинства исследователей, в портландцементном клинкере существует только β -форма C_2S .

В клинкерах, сравнительно быстро охлажденных, β - C_2S (белит) присутствует в виде зерен округлой формы со слабо выраженной штриховкой (рис. 3). В клинкерах, медленно охлажденных, белит наблюдается в виде образований неправильной формы, имеющих зернистую структуру и часто зазубренные края (рис. 4), что, вероят-



Рис. 2. Начало разрушения кристаллов алита в результате его распада при $t=1200-1250^\circ\text{C}$

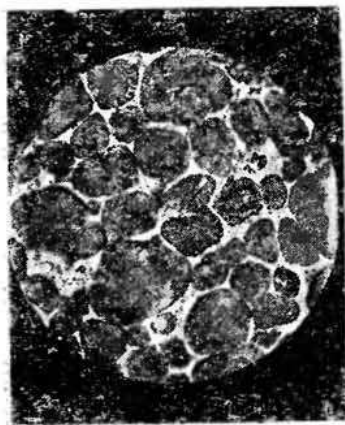


Рис. 3. Кристаллизация белита в быстро охлажденных клинкерах
2—1621

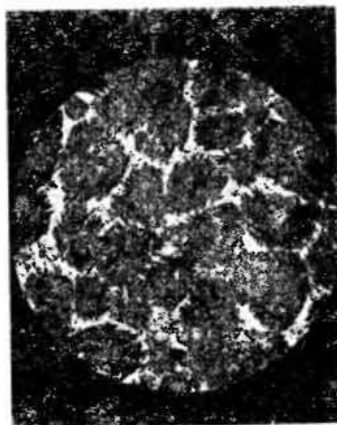


Рис. 4. Структура белита в медленно охлажденном клинкере

но, связано с выделением из его состава веществ, находившихся ранее в твердом растворе.

Наблюдающееся иногда рассыпание в порошок клинкеров с низким коэффициентом насыщения известью происходит за счет перехода при температуре 675°C активной формы $\beta\text{-C}_2\text{S}$, имеющей больший удельный вес, в гидравлически неактивную форму $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, а также $\alpha'\text{-C}_2\text{S}$ в $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ при температуре $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$. Затормозить превращение $\beta'\text{-C}_2\text{S}$ в $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ можно путем введения добавок, образующих с белитом твердый раствор, а также путем быстрого прохождения критических температур при охлаждении цементного клинкера. Стабилизирующими добавками являются Cr_2O_3 , P_2O_5 , V_2O_5 , Na_2O и Al_2O_3 или Na_2O и Fe_2O_3 и др.

Промежуточное вещество. Алуминаты и алюмоферриты кальция, а также некоторые другие второстепенные минералы входят в состав промежуточной фазы, которая при высоких температурах обжига находится в расплавленном состоянии.

В клинкере с невысоким KH и обычным глиноземным модулем из алюминатов кальция встречаются C_5A_3 и C_3A . В клинкерах с высоким KH наряду с алюмоферритами может содержаться только C_3A . Алюмоферритная часть клинкера имеет переменный состав и представляет собой твердый раствор C_2F , C_3A_3 и некоторого количества свободной извести.

В серии твердых растворов алюмоферритов кальция обнаружены следующие соединения: $\text{C}_8\text{A}_3\text{F}$, $\text{C}_6\text{A}_2\text{F}$, C_4AF , C_4AF_2 и C_2F . Наиболее часто встречающийся в клинкерах четырехкальцевый алюмоферрит является лишь промежуточным соединением в серии твердых растворов.

В клинкере имеются также другие кристаллические и аморфные образования, содержание которых, хотя и невелико, но нежелательно. К ним относятся MgO и минералы, содержащие щелочи.

Оксид магния — MgO может присутствовать в цементном клинкере в виде: а) минерала периклаза; б) твердого раствора в алюмоферритах кальция; в) раствора в стекле клинкера; г) твердого раствора в трехкальцевом силикате. Распределение MgO в этих фазах обуславливается количеством, составом и условиями кристаллизации жидкой фазы.

Присутствие в клинкере больших количеств периклаза, гидратация которого происходит с увеличением объема в отдаленные сроки твердения (6 месяцев, год и позднее), может вызвать вредные внутренние напряжения в бетоне и привести к снижению его прочности, а иногда и к растрескиванию. В связи с этим содержание MgO в цементе ограничено.

Щелочи. Соединения, содержащие щелочи, находятся в составе промежуточного вещества портландцементного клинкера. Оксид натрия присутствует в портландцементе в виде соединения $\text{Na}_2\text{O} \cdot 8\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$. Оксид калия образует соединение состава $\text{K}_2\text{O} \cdot 23\text{CaO} \cdot 12\text{SiO}_2$.

В портландцементном клинкере обычно содержится:

алита	42—65%	} 70—80%
белита	15—50%	
C_4A	2—15%	
C_4AF	10—25%	

В зависимости от количественного содержания указанных минералов в исходном клинкере портландцемент может быть:

высокоалитовый	>60% C ₃ S
алиитовый	50—60% C ₃ S
белитовый	>35% C ₂ S
алюминатный	>12% C ₄ A
алюмоферритный (железистый)	< 2% C ₄ A

Данные о фактическом химическом и расчетном минералогическом составе заводских портландцементных клинкеров по средним данным за 1961 г. приведены в табл. 2.

Важнейшим из минералов портландцементного клинкера является алит, который в основном определяет высокую прочность, быстроту твердения и другие строительные свойства портландцемента. В существенной мере прочность цемента в первые сроки твердения, солейкость и другие его свойства зависят от содержания трехкальцевого алюмината, который наиболее быстро гидратируется при затворении цемента водой.

В табл. 3 и 4 приведены данные о прочности синтезированных в лабораторных условиях основных минералов портландцементного клинкера и их смесей при твердении в воде.

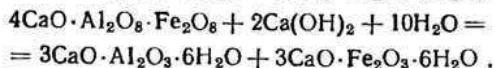
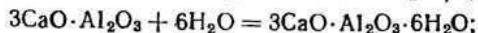
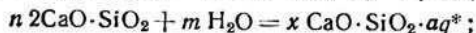
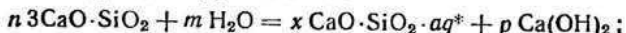
Значительное влияние на минералогический состав клинкера оказывает скорость его охлаждения. Этот вопрос полностью не изучен, но несомненно, что размалываемость клинкера и скорость нарастания его прочности во времени в значительной степени определяются скоростью охлаждения раскаленного клинкера.

Твердение. При затворении цементного порошка водой он образует пластичное тесто, которое постепенно уплотняется, теряя пластичность. Этот процесс первоначального уплотнения цементного теста называется схватыванием. В дальнейшем схватившееся цементное тесто постепенно увеличивает свою прочность — твердеет, образуя камневидное тело.

По современным воззрениям процессы, происходящие при схватывании и твердении цементного камня, сводятся к следующему.

При затворении водой портландцемента составляющие его клинкерные минералы растворяются в воде и химически соединяются с ней, гидратируясь или гидролитически расщепляясь, в результате чего образуются новые водные соединения — гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция (табл. 5).

В общем виде реакции образования гидросиликатов и гидроалюминатов кальция при обычной температуре могут быть представлены следующими уравнениями:



* При обычной температуре образуются два гидросиликата кальция: гидрат I состава — $0,8-1,5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot aq$ и гидрат II состава — $1,7-2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot aq$.

Таблица 2

Химический и расчетный минералогический состав клинкеров цементных заводов СССР (за 1961 г.)

Заводы	Химический состав в %							Расчетный минералогический состав в %				Коэффициент насыщения	Силикатный модуль	Линейный модуль	Свободная CaO в %
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п. п. п.	C_3S	C_2S	C_4	C_4AF				
руктинский	21,16	5,97	3,86	65,84	2,88	0,15	0,34	59	16	9	12	0,91	2,15	1,54	0,9
ниинградский	20,63	6,19	4,29	63,54	2,79	0,58	0,34	48	23	9	13	0,87	1,97	1,44	0,91
калевский	21,37	4,3	4,5	61,55	7,3	0,31	0,24	56	21	4	15	0,89	2,28	0,97	—
лхонский	21,83	4,97	4,33	64,95	1,62	—	0,26	58	19	6	13	0,9	2,35	1,15	0,26
хвинский	22,26	6,06	4,44	63,25	4,43	0,27	0,57	41	33	9	13	0,83	2,12	1,97	—
аидевский	19,46	5,67	3,02	59,76	2,7	1,53	7,06	—	—	—	—	—	—	—	—
агант	20,86	6,13	4,49	64,31	3,4	0,28	0,55	53	20	9	14	0,89	1,96	1,37	0,74
скресенский	20,47	6,46	5,09	63,8	3,78	0,01	0,43	54	18	9	15	0,9	1,77	1,27	0,56
уровский	21,61	5,3	4,65	64,57	3,79	0,12	—	55	20	6	14	0,89	2,17	1,14	—
идольский	21,37	4,3	4,58	61,55	7,3	0,31	0,24	46	25	5	13	0,85	2,57	1,16	1,54
партак	22,15	6,16	4,5	65,2	1,02	0,44	0,53	43	30	9	14	0,84	2,08	1,37	1,57
соторский	22,41	6,27	2	64,92	2,01	0,67	1,11	43	33	12	9	0,83	2,52	2,43	1,38
лесевский	22,69	4,23	4,78	66,73	1,28	0,23	0,34	63	18	3	15	0,91	2,52	0,88	0,45
янский	21,65	5,45	5,61	65,87	0,84	0,27	0,2	56	21	5	17	0,9	1,94	0,98	0,45
лгородский	22,58	4,5	4,4	66,01	0,65	0,66	0,44	60	20	14	13	0,9	2,53	1,02	0,34
згоренский	21,06	6,63	2,59	65,18	1,35	0,58	1,52	41	28	13	8	0,84	2,28	2,56	4,43
ольшевский	21,97	5,08	5,04	65,83	1,35	0,17	0,48	58	19	5	15	0,89	2,18	1,02	0,4
расный Октябрь	22,31	4,95	5,22	56,76	1,08	0,48	—	54	23	4	16	0,88	2,19	2,95	0,27
омсомол	22,21	4,74	5,32	66,22	1,07	0,39	0,27	59	19	4	16	0,9	2,21	0,89	—
омунар	22,38	4,74	5,47	65,58	1,33	0,53	0,21	54	20	3	17	0,88	2,19	0,87	0,56
брюковский	22,91	4,62	4,43	66,82	1,01	0,11	0,13	58	22	15	13	0,89	2,53	1,04	0,17
абышевский	21,07	5,86	4,13	64,4	2,76	1,05	0,42	54	20	9	13	0,89	2,11	1,43	0,25

Продолжение табл. 3

Заводы	Химический состав в %						Расчетный минералогический состав в %				Коэффициент расширения	Связанный моляр	[Линозный моляр]	Свободная СаО в %	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п. п. н.	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A					C ₄ F
Сенгилевский	22,57	4,48	4,81	66,25	1,2	0,42	—	57	21	4	15	0,89	2,43	0,93	0,53
«Пролетарий»	22,53	5,21	4,76	66,53	0,49	0,46	—	55	23	6	14	0,88	2,26	1,09	0,51
«Октябрь»	22,2	5,12	5,28	65,89	0,7	0,52	0,49	57	21	5	16	0,89	2,13	0,97	—
«Победа Октября»	21,51	6,26	2,49	65,81	0,57	1,09	1,12	47	29	12	8	0,85	2,57	2,51	—
«Первомайский»	22,76	4,68	4,77	63,17	0,57	0,8	0,33	55	23	4	15	0,88	2,41	0,93	—
Невьянский	19,35	8,8	5,3	61,31	0,69	0,64	1,14	44	11	14	16	0,87	1,37	1,66	0,75
Сухоложский	22,61	4,54	3,65	65,71	2,24	0,69	0,73	55	23	6	11	0,88	2,77	1,25	0,57
Нижне Тагильский	21,43	6,22	5,61	61,97	1,33	0,11	0,41	52	22	7	17	0,88	1,81	1,11	0,53
Ново Пашицкий	22,36	5,36	4,81	65,01	1,92	0,23	0,29	52	25	6	15	0,87	2,2	1,11	—
Каган Ивановский	21,91	6,63	4,15	64,73	1,82	0,31	0,5	48	30	11	13	0,84	2,03	1,6	0,9
Емвельинский	20,64	6,59	5,02	65,66	1,01	0,49	0,63	50	21	9	15	0,83	1,78	1,31	1,75
Магнитогорский	20,21	6,33	4,94	65,12	2,13	0,77	—	56	16	8	15	0,91	1,79	1,28	1,12
Стерлитамакский	—	—	—	—	—	—	—	54	18	—	—	0,91	—	—	0,39
Ново-Троицкий	20,93	6,22	4,99	65,3	1,89	0,54	—	53	20	8	15	0,89	1,87	1,25	0,8
Чернореченский	20,73	6,66	4,63	65,46	1,3	0,41	0,5	53	20	10	14	0,89	1,8	1,48	0,49
Яшкинский	21,42	6,83	4,09	64,83	1,38	0,45	0,35	45	28	11	14	0,85	1,96	1,67	0,54
Кузнецкий	21,39	6,8	1,25	63,03	3,07	0,38	1,23	34	36	16	5	0,81	2,13	4,36	1,86
Красноярский	21,71	6,05	5,04	65,7	1,01	0,39	—	50	24	7	15	0,87	1,96	1,2	0,87
Норильский	20,89	6,18	3,51	65,19	3,34	0,37	0,47	53	20	10	11	0,89	2,16	1,76	1,29
Ангарский	21,25	4,81	5,08	63,43	4,3	0,41	—	53	20	4	15	0,89	2,15	0,95	0,63
Тимлюбский	20,81	5,76	4,93	63,85	2,68	0,61	—	51	22	7	15	0,88	1,95	1,17	0,93
Теплоозерский	20,91	6,57	4,78	65,07	1,31	0,38	1,05	51	22	9	15	0,88	1,84	1,37	0,75

Продолжение табл. 3

Заводы	Химический состав в %							Расчетный минералогический состав в %					Коэффициент насыщения	Силикатный модуль	Глиноземный модуль	Средняя в %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п. п. п.	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A	C ₄ F					
Спасский:																
мокрый способ	20,5	6,51	4,9	65,7	1,06	—	0,73	52	22	12	11	0,88	2,06	1,94	1,12	
сухой	21,22	6,8	3,51	65,13	0,98	—	0,81	59	14	9	15	0,92	1,8	1,33	0,7	
Поронайский	22,04	6,75	3,39	65,88	1,12	0,25	0,52	46	28	12	10	0,85	2,17	1,99	1,23	
Карагадзинский	20,1	7,57	5,69	65,15	0,8	0,39	—	51	19	10	17	0,89	1,52	1,33	0,55	
Сас-Тюбинский	22,54	4,7	4,96	65,28	1	0,46	0,8	54	23	4	15	0,88	2,33	0,95	0,62	
Чимкентский	21,54	6,37	3,93	65,53	1,45	0,38	—	50	24	10	12	0,87	2,09	1,62	0,73	
Семиралтинский	21,09	6,36	4,53	65,55	0,97	0,25	0,1	56	18	9	14	0,9	1,94	1,4	1,07	
Беговатский	21,62	5,36	5,13	64,31	2,3	0,56	0,35	50	24	6	16	0,87	2,02	1,08	0,77	
Антреский	22,52	5,62	4,02	65,16	1,65	0,42	0,41	49	27	8	12	0,86	2,34	1,4	0,66	
Кузасайский	21,75	6,08	5,74	63,89	1,81	0,54	—	45	28	6	17	0,85	1,84	1,06	—	
Курментинский	22,59	6,25	3,31	65	1,57	0,72	0,49	39	35	11	10	0,82	2,36	1,89	1,1	
Душанбинский:																
новый завод	21,2	6	4,74	63,72	3,02	0,56	0,22	47	26	8	14	0,88	1,9	1,12	0,56	
старый	21,05	5,87	5,23	64,16	2,62	0,29	0,21	51	22	7	16	0,86	1,98	1,27	0,43	
Безменский:																
мокрый способ	22,52	5,12	4,93	64,72	1,41	0,42	0,5	47	29	5	15	0,85	2,2	1,04	0,45	
сухой	22,5	5,28	4,85	64,53	1,23	0,35	0,73	50	27	6	15	0,86	2,22	1,09	—	
Каспский	21,03	6,74	3,94	63,95	3,09	0,42	0,89	46	25	11	12	0,86	1,97	1,71	1,14	
Руставский	20,59	6,84	4,8	63,8	2,7	0,52	0,41	50	21	9	15	0,88	1,82	1,36	0,21	
Араратский	21,36	6,42	4,89	65,38	1,11	0,19	0,34	51	22	9	15	0,88	1,89	1,31	1,13	
Азербайджанский	21,08	5,71	5,8	64,07	2,09	0,46	0,14	53	22	5	18	0,88	1,83	0,98	0,46	
Амурсневский	23,51	4,42	3,34	67,46	0,67	0,41	0,11	59	22	6	10	0,89	3,03	1,32	0,23	