

ГИН
А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

Т Р У Д Ы

ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫПУСК 58. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 19). 1941

Д. С. Белянкин и В. В. Лапин. НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ ШЛАКОВ
ЗЕСТАФОНСКОГО ЗАВОДА. — В. В. Лапин. О ШЛАКАХ КАРСАКПАЙСКОГО
МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА: НОРМАЛЬНОМ И БАЗАЛЬТОИДНОМ. — Б. В. За-
леский, А. И. Корсунский и В. В. Лапин. К ВОПРОСУ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕКО-
ТОРЫХ РАЗНОСТЕЙ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД САМАРСКОЙ ЛУКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Д. С. БЕЛЯНКИН И В. В. ЛАПИН

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ ШЛАКОВ
ЗЕСТАФОНСКОГО ЗАВОДА

Минералого-петрографическое изучение металлургических шлаков, как неоднократно приходилось нам отмечать, дает практически ценный материал для металлургов, позволяющий им в ряде случаев лучше представить себе процессы шлакообразования, происходящие при выплавке металла. Вместе с тем это же изучение имеет и значительно более общий интерес, освещающий вопросы, связанные с кристаллизацией силикатных расплавов, с химическим составом и свойствами возникающих при этом минералогических фаз, их микроструктурой, парагенезисом и т. д.

Продолжая нашу работу в этом направлении, естественно, мы не могли не заинтересоваться, в частности, и довольно разнообразными шлаками Зестафонского завода ферросплавов на Кавказе. При первом посещении этого завода одним из нас (Лапиным) в 1936 г. был собран материал по ферромарганцевым и ферромолибденовым шлакам. Результаты исследования опубликованы в 1938 г. (Лапин, 1938).

Позднее, при повторном посещении Зестафонского завода в 1939 г. другим автором (Белянкиным), был собран дополнительный материал по шлакам от выплавки: 1) ферромарганца, 2) ферромолибдена, 3) силикомарганца, 4) хромалюминия, 5) металлического марганца и 6) металлического хрома.

Материал этот микроскопически и частью химически уже обработан нами; общие результаты нашего исследования мы даем здесь в виде краткой сводки по минералогии всех указанных шлаков, оставляя на дальнейшее более детальную проработку отдельных вопросов (уточнение состава твердых растворов в β -глиноземе; выяснение причины пониженного светопреломления корунда в шлаке хромалюминия, и т. д.).

1. ШЛАКИ ОТ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОМАРГАНЦА

Согласно предыдущей работе 1938 г., существенной составной частью шлаков ферромарганца вообще является тефроитовый минерал, представляющий собой твердый раствор Mn_2SiO_4 и Ca_2SiO_4 с небольшой добавкой $(Mg, Fe)_2SiO_4$. В более богатых глиноземом разностях ферромарганцевых шлаков, на ряду с тефроитовым минералом, значительную (иногда преобладающую) роль играет мелилит. В шлаках, обогащенных известью и содержащих относительно небольшое количество марганца, появляются β - и γ - $2CaO \cdot SiO_2$ и марганцевый монтчеллит (шлаки, рассыпающиеся при охлаждении). На ряду с указанными силикатами во всех перечисленных шлаках мы различаем сульфиды (MnS , CaS , FeS) и стекло, а в шлаках с сильно повышенным содержанием марганца — также и манганозит (MnO).

Из шлаков ферромарганца, собранных в 1939 г., исследован был нами промежуточный шлак № 57/3 от выплавки малофосфористого ферромарганца. Макроскопически шлак темнозеленый; крайне характерно его строение из длинновытянутых стебельчатых кристаллов тефрита, располагающихся взаимно параллельно и в то же время перпендикулярно поверхности охлаждения шлака. Размер отдельных индивидов в образце шлака, находящегося в нашей коллекции, до 10 см в длину и 3—4 мм в поперечнике. В изломе образца по продольнику кристаллов получается весьма своеобразный деревянистый вид.

Микроскопическое исследование шлака показало, что промежутки между стебельчатыми кристаллами тефрита заполнены в нем стеклом со светопреломлением $N = 1.566 \pm 0.005$; в стекле содержатся мелкие кристаллики тефритового минерала второй генерации и мельчайшие скелетные образования, принадлежащие, повидимому, сульфидам марганца и железа. Константы тефрита ($N_g = 1.81 \pm 0.01$ и $N_r' = 1.766$) отвечают почти совершенно чистой марганцовистой разновидности этого минерала ($N_g = 1.8143$, $N_m = 1.8038$, $N_r = 1.7720$). На фиг. 1 видны не только тефрит первой генерации и стекло, но отчасти также и иголки тефрита второй генерации в этом стекле.

2. ШЛАКИ ОТ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОМОЛИБДЕНА

В. В. Лапиным (1938, 2) уже были детально описаны шлаки этого процесса. Более кислые их представители (до 79% SiO_2) по внешности выглядят темносерыми, фарфоровидными; по микроструктуре представляют сложную эмульсию из двух стекол: более кислого, со светопреломлением $N = 1.465 \pm 0.005$, и более основного $N = 1.580 \pm 0.006$. Шлаки менее кислые макроскопически светлосерого цвета и кристаллического сложения; в составе их участвуют: кристобалит, пироксен диопсид — геденбергитового ряда и немного стекла. Существуют и переходные типы шлаков, в которых наблюдается частичная кристаллизация двух жидкостей эмульсии: более кислой с образованием кристобалита и менее кислой — с образованием пироксена.

Исследование ферромolibденовых шлаков, собранных в 1939 г., не внесло чего-либо нового в отношении состава и микроструктур шлаков этого процесса. Преимущественно в этом сборе содержатся переходные шлаковые типы.

3. ШЛАКИ ОТ ВЫПЛАВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАРГАНЦА

Шлак этого процесса, полученный в свое время из экспериментальной лаборатории Комбината твердых сплавов, был уже ранее изучен и описан одним из авторов совместно с И. М. Шумило (Бемянкин и Шумило, 1938). Он состоял в основном из марганцовой шпинели (78% $\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 16% $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 5% $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и 1% $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), известкового двуалюмината $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ и своеобразного сложного марганцового алюмината с примесью BaO и MgO в его молекуле, общей формулы $2(\text{Mn}, \text{Ba}, \text{Mg})\text{O} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$. По кристаллооптической своей характеристике последний из трех названных минералов близок к $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, но параметр его по оси c больше в полтора раза ($c = 22.45\text{—}22.67 \text{ \AA}$ у $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $c = 32 \text{ \AA}$ у данного марганцового алюмината).

Макроскопическое исследование зестафонских шлаков от выплавки металлического марганца показало неполную идентичность отдельных исследованных нами образцов. В случае образца № 52 в состав его в качестве главных фаз входят те же три минерала, как и в шлаке Комбината, согласно приводимой ниже сравнительной таблице:

	Шлак Комбината	Зестафонский шлак
Шпинель марганцовая . .	$N = 1.79 \pm 0.01$	$N = 1.81 \pm 0.01$
Алюминат $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$. .	$\text{Ng} = 1.652 \pm 0.002$	$\text{Ng} = 1.655 \pm 0.003$
	$\text{Nr} = 1.617 \pm 0.002$	$\text{Nr} = 1.620$
Марганцовый алюминат .	$\text{No} = 1.711 \pm 0.002$	$\text{No} = 1.714$
	$\text{Ne} = 1.691 \pm 0.002$	$\text{Ne} = 1.694$

Вместе с тем, как в № 52, так и в остальных шлаках от выплавки марганца присутствует, однако же, и еще один минерал, а именно — алабандин (MnS), хотя и в незначительных количествах; в шлифе он дает весьма мелкие, темнозеленые груборельефные скелетные образования.

Весьма любопытной особенностью одного из изученных нами образцов шлака (№ 54) является наличие в нем деформированных изогнутых кристаллов марганцового дипентаалюмината, как это изображено на микрофото фиг. 2. Одновременно удлиненные кристаллы известкового алюмината — $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ здесь не деформированы; на фиг. 2 они светлые, с более редкими трещинами спайности, чем это имеет место у дипентаалюмината; крупные серые зерна без спайности — шпинель. Деформация кристаллов марганцового дипентаалюмината возникает, по всей видимости, в процессе кристаллизации шлака и связана; очевидно, с тонкопластинчатой его кристаллизацией и наличием в нем совершенной базальной спайности. В разрезах по базису пластинки его имеют волнистое погасание, подобно тому, как это наблюдается, например, у динамометаморфного кварца.

Своеобразен изученный нами образец шлака № 53, состоящий из преобладающей марганцовой шпинели со светопреломлением $N = 1.87 \pm 0.01$, значительного количества известкового алюмината $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ($\text{Ng} = 1.655 \pm 0.003$; $\text{Nr} = 1.620$), алабандина, небольшого количества стекла и минерала, судя по его светопреломлению, близкого к нормальному β -глинозему. Последний образует каемки вокруг алюмината извести, как это видно на фиг. 3. В порах этого образца (а отчасти и в остальных) мы наблюдали в шлифе кристаллизацию волокнистого с серой интерференционной окраской минерала; он образует или каемки на стенках пор, или концентрически нарастающие друг на друга слои с радиальным расположением в них волокон. Светопреломление минерала находится в интервале от 1.574 до 1.588. Угол погасания в редко попадающихся табличках равен 21° . Удлинение волокон положительное. По описанным признакам минерал этот относится к гидраргиллиту (гиббситу) — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; рассматривается он нами как вторичный продукт от воздействия влаги воздуха на шлак, лежавший в отвале. Гидратации по всей видимости должен был подвергаться при этом алюминат извести или же стекло, богатое глиноземом.

На ряду с указанными образцами шлаков нам предоставлен был заводоуправлением еще один музейный образец № 65 прекрасно закристаллизованной марганцовой шпинели, образовавшейся в усадочной раковине одного из шлаков от выплавки металлического марганца. Фотография этого образца представлена на фиг. 4. Октаэдры или же октаэдрические скелеты шпинели, нарастая друг на друга по четверной оси симметрии, образуют сростки, подобные четырехгранным пирамидкам, с зазубренными гранями и ребрами. Светопреломление этой шпинели, равное 1.855 ± 0.005 , несколько ниже, чем у чисто марганцового галаксита ($\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), где оно равно 1.92. В наших шлаках оно колеблется вообще от 1.81 до 1.87, т. е. шлаковая шпинель все же весьма богата молекулой марганцовой шпинели.

4. ШЛАКИ ОТ ВЫПЛАВКИ СИЛИКОМАНГАНЦА

Макроскопически шлаки зеленого цвета и сферолитового строения; диаметр сферолитовых образований достигает до 10—30 мм. Разрез

в шлифе одного такого сферолита в образце № 59 представлен на фиг. 5. Уд. вес шлака 3.371.

Преобладающую роль в этих шлаках (84.33% вес., по расчету химического анализа) играет пироксен бустамитового ряда со светопреломлением: $N_g = 1.704 \pm 0.002$; $N_m = 1.700 \pm 0.002$; $N_p = 1.686$; $N_g - N_p = 0.018$; $(-)\ 2V = 42^\circ$.

В шлифе он бесцветен. Погасание $CN_g\ 13^\circ$. Спайность по (110) и ($\bar{1}\bar{1}0$) под $\angle\ 87^\circ$.

Кристаллы бустамита содержат включения бесцветных или зеленоватых груборельефных скелетных образований и зерен, принадлежащих, повидимому, сульфидам (CaS , MnS); значительная часть этих включений настолько дисперсна, что отдельные их зерна неразличимы под микроскопом, сливаясь в малопрозрачную муть в кристаллах бустамита. Эта же муть заполняет и стекло, в небольших количествах присутствующее между кристаллами бустамита. Кроме указанных фаз, наблюдаются в шлаке еще и пластиночки графита, содержание которого по химическому определению оказалось равным 0.48%.

Химический состав шлака (анализ произведен К. П. Соковой) с пересчетом его на бустамит, CaS , $BaSO_4$ и остаток состава $1.04R_2O \cdot R_2O_3 \cdot 2.34SiO_2$, отвечающий в той или иной мере присутствующему в шлаке стеклу, приводится в табл. 1.

Присутствие барита было установлено нами лишь по химическому анализу; микроскопически же его констатировать не удалось. Барит может переходить в шлак, повидимому, из циатурской руды, служившей материалом для выплавки силикомарганца.

Таблица 1

Химический состав шлака от выплавки силикомарганца

	вес. %	Эквива- ленты	CaS		Бустамит		BaSO ₄		Остаток	
			мол.	вес. %	мол.	вес. %	мол.	вес. %	мол.	вес. %
SiO ₂	45.31	0.7551	—	—	0.6683	40.10	—	—	0.0868	5.21
TiO ₂	0.10	0.0012	—	—	—	—	—	—	0.0012	0.10
Al ₂ O ₃	3.84	0.0376	—	—	—	—	—	—	0.0376	3.84
Fe ₂ O ₃	нет	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO	0.21	0.0029	—	—	0.0029	0.21	—	—	—	—
MnO	32.80	0.4620	—	—	0.4620	32.80	—	—	—	—
MgO	0.44	0.0110	—	—	0.0110	0.44	—	—	—	—
CaO	11.79	0.2105	Ca 0.0181	0.72	0.1924	10.78	—	—	—	—
BaO	2.10	0.0137	—	—	—	—	0.0137	2.10	—	—
Na ₂ O	0.26	0.0042	—	—	—	—	—	—	0.0042	0.26
K ₂ O	0.77	0.0082	—	—	—	—	—	—	0.0082	0.77
SO ₃	1.09	0.0137	—	—	—	—	0.0137	1.09	—	—
S	0.58	0.0181	0.0181	0.58	—	—	—	—	—	—
H ₂ O (+110°)	0.48	0.0267	—	—	—	—	—	—	0.0267	0.48
Σ	99.77			1.30		84.33		3.19		10.66
—O ₂	0.29									

99.48

Исходя из расчета, приведенного в табл. 1, состав бустамитового пироксена представляется в таком виде (в вес. %):

MnO . SiO₂ — 71.86
 FeO . SiO₂ — 0.45
 CaO . SiO₂ — 26.46
 MgO . SiO₂ — 1.23

или: (Mn, Fe)O . SiO₂ — 72.31 %, (Ca, Mg)O . SiO₂ — 27.69%.

Вид в шлифе бустамитового шлака представлен на фиг. 6.

Согласно данным Сундиуса (Sundius, 1931) и Фоса (Voos, 1935), бустамит такого состава (в молекулярных процентах $69.7(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ и $30.3(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) должен иметь уд. вес 3.47, т. е. несколько выше, чем уд. вес нашего шлака, что объясняется присутствием в последнем понижающих его уд. вес примесей, в частности стекла и графита.

Светопреломление бустамита указанного состава, согласно исследованию Сундиуса, должно равняться: $N_g = 1.701$; $N_p = 1.685$, что почти точно отвечает определенным нами константам.

5. ШЛАКИ ОТ ВЫПЛАВКИ ХРОМАЛЮМИНИЯ И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ХРОМА

Шлак № 50 от выплавки хромалюминия макроскопически светлосерого цвета, хорошо окристаллизован, с небольшим количеством крупных неправильной формы пор и округлых включений металла.

Под микроскопом определяется его состав из бесцветных пластинок корунда с переменным, однако же, светопреломлением этого минерала, несколько пониженным по сравнению с нормальным светопреломлением, что должно находиться в очевидной связи с переменным же здесь составом этого минерала. Преобладают зерна с $N_0 = 1.760 \pm 0.002$ и $N_e = 1.752 \pm 0.772$; значительное количество зерен имеет $N_0 = 1.752 \pm \pm 0.002$ и $N_e = 1.744 \pm 0.002$; присутствует также шпинель (изотропные разрезы с $N = 1.743 \pm 0.002$). Факт пониженного светопреломления корунда заслуживает специального исследования, каковое предпринимается нами.

Иммерзионным путем устанавливается присутствие в этом шлаке небольшого количества яркополяризующих зерен, судя по светопреломлению ($N_g' = 1.654$, $N_p' = 1.620$), относящихся к известковому алюминату — $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$.

Близким по минералогическому составу к описанному только что шлаку хромалюминия являются изученные нами шлаки от выплавки металлического хрома. Макроскопически они отличаются темносерой, слегка красноватой окраской. В некоторых образцах мы наблюдали кристаллизацию весьма крупных пластинок корунда, как это показано на фиг. 7. Кристаллы эти имеют темнокрасный цвет.

В связи с вхождением хрома в твердый раствор корунда светопреломление последнего повышено. Так, в образце № 66 преобладают зерна корунда с $N_0 = 1.778$, $N_e = 1.770$, что отвечает содержанию 1.90 Cr_2O_3 в твердом его растворе. В небольшом количестве зерен светопреломление поднимается до $N_0 = 1.785$ (2.85% Cr_2O_3 в корунде); в части зерен оно еще выше, а именно: $1.80 > N_0 > N_e > 1.785$, что свидетельствует о содержании в их твердом растворе до 3.94% Cr_2O_3 .

Вид в шлифе подобного шлака (№ 71-а) передает фиг. 8: пластинки корунда с трещинами отдельности по базопинакноиду.

В этих же шлаках, на ряду с корундом, в шлифе определяются небольшие количества красно-бурой или светлокрасной хромовой шпинели. Таким образом, не весь содержащийся в шлаке хром входит в твердый раствор корунда.

Иммерзионное исследование показало, что, кроме указанных минералов, присутствуют в хромовых шлаках еще три фазы. Первой из них являются изотропные зерна со светопреломлением $N = 1.738 - 1.740$, которое может отвечать одинаково и шпинели, и γ -глинозему, что может быть решено лишь путем дополнительного более детального исследования. Второй фазой является одноосный отрицательный β -глинозем со светопреломлением: $N_0 = 1.698 \pm 0.002$; $N_e = 1.650$. Наконец, присутствует еще один также одноосный и отрицательный минерал, но со светопреломлением $N_0 = 1.738 \pm 0.002$, $N_e = 1.710$, как видно, далеко превышающим не только таковое для β -глинозема, но даже и для мар-

ганцового дипентаалюмината, описанного выше. Таким образом, мы имеем здесь или еще одну довольно сложную минеральную стехиометрию, или же дипентаалюминат с молекулярными примесями, существенно повышающими его светопреломление, как-то: BaO или Cr_2O_3 .

В итоге настоящей работы по минералогии шлаков Зестафонского завода дополнительно к нашим прежним исследованиям получились следующие новые материалы.

1. Впервые изучен шлак от выплавки силикомарганца, состоящий на 84.3% из марганцового пироксена бустамитового ряда с 72.31% (Mn, Fe) $\cdot\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ и 27.69% (Ca, Mg) $\cdot\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ (вес. %); остальное — стекло, сульфиды, барит, графит.

2. Промежуточный шлак малофосфористого ферромарганца оказался состоящим из тефроитового минерала, константы светопреломления которого весьма близки к таковым у чистого тефроита ($2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$); в небольшом количестве присутствуют стекло и сульфидные минералы.

3. В шлаках от выплавки металлического марганца, на ряду с констатированными ранее в подобных шлаках минералами (известковый алюминат — $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, марганцовая шпинель и марганцовый дипентаалюминат — $2\text{MnO}\cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$), дополнительно нами определены алабандин (MnS) и минерал, близкий к нормальному β -глинозему.

Характерен здесь же случай образования гидраргиллита в порах шлака (пролежавшего, повидимому, значительное время в отвале) в результате воздействия влаги воздуха на богатые глиноземом составные его части (известковый алюминат, стекло).

4. В шлаке от производства хромалюминия, состоящем из корунда, отмечен нами любопытный факт пониженного светопреломления этого минерала ($N_0 = 1.752\text{—}1.760$ против $N_0 = 1.768$ у нормального корунда).

5. Довольно сложным по минералогическому составу оказался шлак от выплавки металлического хрома. Подобно предыдущему, он состоит в основном из корунда, на этот раз, однако же, не бесцветного, но окрашенного в шлифе в розовые или зеленые тона от примеси хрома. В связи с этой примесью он обладает одновременно и повышенным светопреломлением, отвечающим содержанию от 1.9 до 3.9% Cr_2O_3 в его твердом растворе. На ряду с корундом присутствуют в этом шлаке еще четыре фазы: 1) красно-бурая хромовая шпинель, 2) γ -глинозем или шпинель, 3) β -глинозем и 4) минерал, представляющий собой или марганцовый дипентаалюминат, содержащий повышающие его светопреломление примеси (твердый раствор $\text{BaO, Cr}_2\text{O}_3$), или же являющийся еще одним новым минеральным видом.

Из приведенного сообщения по минералогии зестафонских шлаков вытекает ряд вопросов, требующих дальнейшего более детального их освещения, что относится в особенности к уточнению состава шлаковых α -, β - и γ -глинозема и сложных алюминатов типа марганцового дипентаалюмината. Необходимо здесь, по нашему мнению, специальный синтез всех этих соединений и их твердых растворов с последующим изучением их констант и с увязкой этих последних с составами соединений и с условиями их кристаллизации.

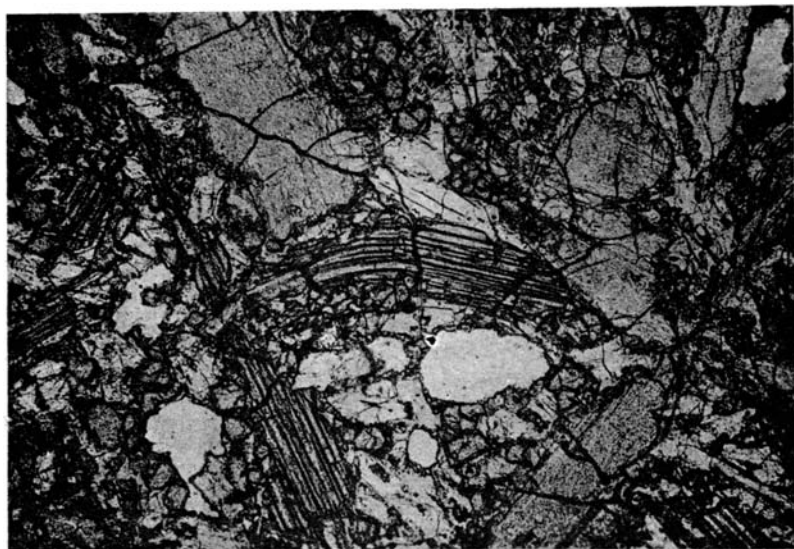
Вследствие все большего вхождения различных форм глинозема и различных алюминатов в современный обиход силикатной промышленности, все эти вопросы, кроме их теоретического значения, должны интересовать нас также и по вполне определенной практической линии (огнеупоры, абразивы и проч.).

ЛИТЕРАТУРА

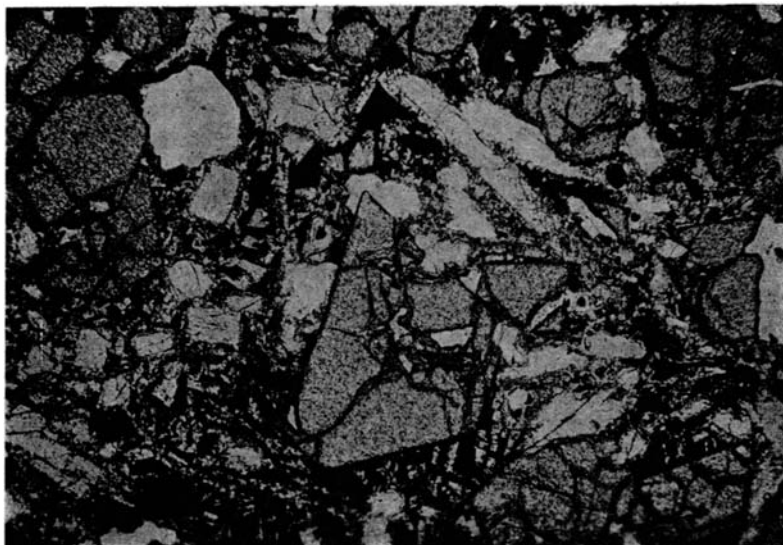
- Белянкин Д. С. и Шумило И. М. О минералогическом составе одного марганцовистого шлака. Тр. Петр. инст. Акад. Наук, 1938, вып. 13, 241—246.
Лавин В. В. 1. К петрографии богатых марганцем (тефроитовых) шлаков. Тр. Петр. инст. Акад. Наук, 1938, вып. 13, 225—239.



Фиг. 1. Тефронит в шлаке № 57 от выплавки ферромарганца, Свет простой, $\times 20$.



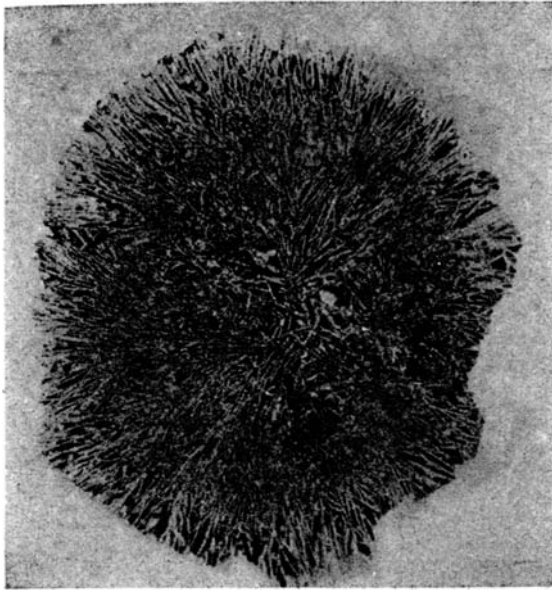
Фиг. 2. Изогнутый кристалл марганцового дипентаалюмината (в центре), светлые зерна алюмината — $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ и серые зерна (без спайности) марганцовой шпинели в шлаке № 54 металлического марганца. Свет простой, $\times 20$.



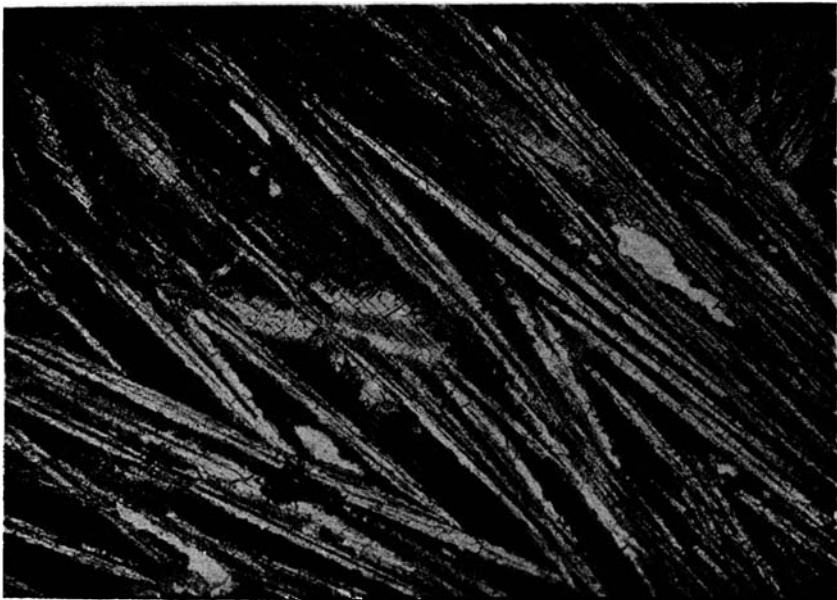
Фиг. 3. Крупные кристаллы марганцевой шпинели (серые) и светлые зерна алюмината — $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ с каемками из β -глинозема в шлаке № 53 металлического марганца. Свет простой, $\times 30$.



Фиг. 4. Сrostки марганцевой шпинели в шлаке № 65 металлического марганца. 0.7 натуральной величины.



Фиг. 5. Сферолит из марганцового пироксена-бустамита в шлаке № 59 от выплавки силикомарганца. Свет простой, $\times 6$.



Фиг. 6. Удлиненные кристаллы бустамита в шлаке № 60 силикомарганца. Свет простой, $\times 20$.



Фиг. 7. Крупные кристаллы корунда в шлаке № 71-а от выплавки металлического хрома. 0.8 натуральной величины.



Фиг. 8. Пластинчатые кристаллы корунда с трещинками отдельности по базопинакноиду в шлаке № 71-а металлического хрома. Свет простой, $\times 45$.

- Лавин В. В. 2. Ликвация силикатного расплава в металлургическом шлаке. Тр. Петр. инст. Акад. Наук, 1938, вып. 13, 247—274.
 Sundius N. On the triclinic manganiferous pyroxenes. Amer. Min., 1931, 16, № 10 411—429; № 11, 488—518.
 Voos E. Untersuchung des Schnittes $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ im ternären System $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MnO}$. Zs. anorg. u. allg. Chem., 1935, 222, H. 2, 201—224.

D. S. BELIANKIN AND V. V. LAPIN

NEW DATA ON THE MINERALOGY OF SLAGS FROM THE ZESTAFON SMELTER (GEORGIA)

Summary

To supplement the previous data published by the authors in the Transactions of the Petrographical Institute, the USSR Academy of Sciences, 1938, the following material has been studied:

1. For the first time a study was made of the slag yielded in silicomanganese smelting and consisting of 84.3 per cent of manganese pyroxene of the bustamite series with 72.31 per cent of $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ and 27.69 per cent of $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ (weight percentage); the remainder consisting of glass, sulphides, barite and graphite.

2. An intermediate slag of ferromanganese low in phosphorus has been found to consist of a tephroite mineral, the constants of the light refraction of which are very near to those of the pure tephroite ($2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$); small amounts of glass and sulphide minerals are also present.

3. In the slags from metallic manganese smelting, along with the minerals previously recorded in similar slags (aluminate of lime — $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, manganese spinel and manganese dipentaaluminate — $2\text{MnO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$), in addition alabandite (MnS) and a mineral closely resembling normal β -alumina — have been recorded.

Characteristic is also the case of formation of hydrargillite in the slag pores (which must have been stored in dump for a rather long time) as a result of the action of the atmospheric moisture upon the constituents of the slag running high in alumina (aluminate of lime, glass).

4. In the from chrome-aluminium production made up of corundum an interesting fact has been noted, namely, that the light refraction of this mineral, is not so marked as in the normal corundum ($N_0 = 1.752 - 1.760$ against $N_0 = 1.768$).

5. The slag from metallic chromium smelting has been found to be rather complex in its mineralogical composition; like the one above described it consists essentially of corundum, which is, however, not colourless but exhibits in thin section shades of pink and green due to the admixture of chromium. In this connection it has also a higher light refraction, corresponding to the Cr_2O_3 content in its solid solution from 1.9 to 3.9 per cent. Along with corundum four phases are present in this slag: a red-brown chromespinel, colourless alumina spinel, β -alumina, and a mineral representing either manganese dipentaaluminate containing admixture that causes its light refraction to be higher (a solid solution of BaO , Cr_2O_3) or some new mineral species.

В. В. ЛАПИН

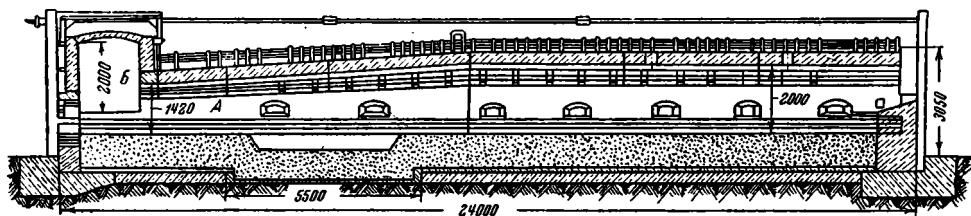
О ШЛАКАХ КАРСАКПАЙСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА: НОРМАЛЬНОМ И БАЗАЛЬТОИДНОМ

Своеобразный характер медных руд Джекказгана, на которых работает Карсакапайский завод, обуславливает получение в процессе плавки этих руд также и совершенно своеобразных шлаков.

Это обстоятельство побудило нас заняться исследованием таких шлаков, тем более, что они петрографически еще не были изучены.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННОГО МАТЕРИАЛА

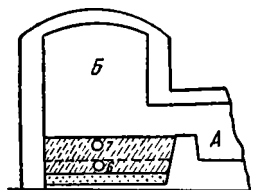
Изученные шлаки были собраны нами при личном посещении Карсакапайского завода осенью 1938 г.; они образовались при выплавке мед-



Фиг. 1. Вертикальный разрез отражательной печи.

ного штейна в отражательной печи (см. вертикальный разрез печи, фиг. 1), работающей на пылеугольном топливе. Исследованы образцы как нормального, так и своеобразного шлака, образовавшегося в аптейке (зольный «мешок»)

печи. Нормальный шлак (образец 13) был закристаллизован в шлаковом ковше емкостью 3.8 тонны. Места взятия образцов шлака из аптейка указаны на схематическом рисунке (фиг. 2).



Шлак
Зола угля
Слой штейна в шлаке
А - золотой конец отражательной печи
Б - аптейк

Фиг. 2. Схема аптейка с указанием мест взятия образцов шлака.

Как видно на схематическом рисунке, внизу в аптейке образовался слой бурой, спекшейся, сильно пористой массы золы угля. Над ним имелся слой шлака мощностью до 0.8 м; внутри этого шлака образовался тонкий (0.15—0.20 м) слой медного штейна.

В результате образования в аптейке большого количества шлака, нормальная работа печи была нарушена; работу печи пришлось приостановить для удаления из аптейка скопившегося там шлака. Нами были отобраны при этом следующие пять образцов шлака и золы:

Образец 6 — шлак из нижней части шлакового слоя; черный, с блестящим, несколько фарфоровидным изломом, плотный; немногочисленные округлые поры размером 0,5 — 3 мм. Включения шариков металлической меди и штейна.

Образец 7 — взят над образцом 6 из верха шлака; матово-черный, пористый: поры диаметром 0,5 — 3 мм. Включения меди и штейна.

Образец 8 — из нижней части шлака на расстоянии 2 м от образца 6 вглубь аптейка. Такого же вида, как и образец 6, но с более крупными порами (до 9 мм в диаметре) и с большим количеством включений штейна.

Образец 9 — из верха шлака над образцом 8; контакт черного, сильно пористого шлака с бурой золой угля. В шлаке включения меди и штейна. В этом участке аптейка над шлаком лежала бурая зола угля.

Образец 17 — бурая, спекшаяся, весьма сильно пористая и легкая масса золы угля из аптейка.

В задачу нашего исследования входило изучение природы нормального шлака и шлака из аптейка, а также выяснение тех процессов, которые привели к образованию в аптейке большого количества своеобразного шлака, сильно отличающегося по своему минералогическому и химическому составу от нормального.

Нормальный шлак.

Карсакпайский завод работает в основном на сульфидном концентрате с добавкой окисленных руд, тогда как уральские медеплавильные заводы перерабатывают только сульфидные руды.

В процессе освоения плавки окисленных руд на Карсакпайском заводе и при проектировании крупных заводов большого Джекзакгана и Прибалхашья, неоднократно ставился вопрос о наиболее целесообразном составе шлаков отражательной печи. Мнения металлургов при этом расходились; так, Г. И. Шахров (1937) приводит такой состав шлаков Карсакпайской отражательной печи: SiO_2 — 42%, $\text{FeO} + \text{MnO}$ — 30,5%, $\text{CaO} + \text{MgO}$ — 14,3%, Al_2O_3 — 12,0%; А. П. Иванов (1933) отстаивает необходимость отказа от применявшихся на Карсакпае до августа 1931 г. основных железистых шлаков и перехода на кислые известковистые шлаки; М. А. Шахновский (1935) предлагает отказаться от добавки флюсовой извести; В. А. Ванюков (1935) для Большого Джекзакгана считает целесообразным плавку на кислых железо-марганцовистых шлаках; Н. С. Стригин (1935) высказывается за плавку на железистой шихте без добавки известняка; В. Я. Мостович (1936) предлагает содержание SiO_2 понизить до 40%, CaO до 6—8% и повысить FeO до 35%; Л. М. Газарян (1937) считает, что отражательная печь Карсакпайская нуждается в железистых шлаках с 55% SiO_2 , с чем не соглашается В. С. Ергунов (1937).

Ко времени нашего посещения Карсакпайского завода в шихту отражательной печи, кроме концентрата и руды, вводились еще добавки железной или марганцовой руды, пирита и известняка, и плавка велась на кислых (54—56% SiO_2) железисто-известковистых шлаках, содержащих 12—13% Al_2O_3 . Петрографически эти шлаки еще не изучались.

Различие в характере руды на уральских заводах и на заводе в Карсакпае естественно обуславливает и значительную разницу в составе шлаков отражательных печей этих заводов; в табл. 1 приведены химические анализы шлаков заводских лабораторий.

Шлаки уральских заводов, как это видно из табл. 1, обладают значительно большей основностью, чем карсакпайские (32—34% SiO_2 против 54—57% в Карсакпае). Соответственно, главным минералом шлаков отражательных печей уральских заводов является ортосиликат фаялитового типа, тогда как в карсакпайском шлаке мы обнаружили пироксеновый минерал и большое количество бесцветного или слегка буроватого стекла со светопреломлением: $N = 1548 \pm 0.003$. Кроме того, в шлаке карсакпайской печи присутствует значительное количество

Таблица 1

Химические анализы руд и шлаков медеплавильных заводов
(в вес. %)

	Шлаки отражательных печей				
	Карсакпай		уральские заводы		
			Карабаш		Киров-град
	1	2	3	4	5
SiO ₂	54.12	56.52	31.7	33.68	31.64
Al ₂ O ₃	13.04	12.13	7.9	8.32	9.69
Fe	14.10	13.36	37.0	36.05	33.05
CaO	10.02	10.07	5.8	5.87	5.05
MgO	—	—	1.59	1.41	—
BaO	—	—	2.10	1.80	—
MnO	0.28	0.11	—	—	—
S	—	—	1.40	2.00	1.20
Cu	0.82	0.71	0.27	0.25	0.39
Zn	—	—	1.80	2.14	4.81
Pb	—	—	0.10	0.17	—

Примечание: 1 — среднесуточный за 25 октября 1938 г., 2 — то же за 23 октября, 3 — за первую декаду августа 1938 г., 4 — за III декаду августа 1938 г., 5 — средний за октябрь 1937 г.

оплавленных зерен кварца; зерна его пересечены трещинами, заполненными изотропной фазой со светопреломлением: $N = 1.490$. Иногда эта изотропная фаза почти целиком заполняет кварцевые зерна, оставляя лишь мелкие «островки» этого минерала. Изотропная фаза, судя по светопреломлению, является продуктом перерождения кварца — метастабильным кристобалитом. Присутствующий в шлаке кварц в основном шихтного происхождения; частично он может попадать в шлак и из динасового свода. Если, однако, учесть повышенную стойкость динаса в своде карсакпайской отражательной печи и весьма медленный его износ (Иванов, 1940), то лишь незначительную часть шлакового кварца можно отнести за счет разрушения динасового свода.

Присутствующий в шлаке пироксен образует пучки тонких удлиненных вrostков в стекле, обладающие радиально-лучистым погасанием; реже он выделяется в более совершенных призматических кристалликах, в поперечных сечениях которых наблюдается характерная для пироксенов спайность по двум направлениям. Пироксен плеохроичен от зеленовато-желтого до изумрудно-зеленого цвета; угол погасания до 45° ; светопреломление: $Ng' = 1.760 \pm 0.003$, $Np' = 1.730 \pm 0.003$. По этим признакам — это пироксен геденбергитового типа.

На микрофотографии фиг. 3 представлен вид этого шлака в шлифе.

Шлак из аптейка

Условия образования шлака

Иной химический и минералогический состав имеет шлак из аптейка. Здесь мы находим: анортит, муллит, магнетит и стекло.

Кристаллизация богатых глиноземом минералов (муллит, анортит) говорит о происшедшем обогащении этим окислом шлака в аптейке. И действительно, как видно из табл. 2, химический анализ шлака из

Таблица 2

Состав шлака из аптейка, сопоставленный с составом нормального шлака, золы, угля и естественных базальтовых пород

	Нормальный шлак отражательной печи. вес %		Зола каменного угля				Шлак из аптейка (Обр. 6)		Базальтовые породы				Примечание
			Байконурский, вес. %		Карагандинский, вес. %		вес. %	эквива- ленты	о. Мул, вес %		Камчатские, вес. %		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SiO ₂ . .	54.12	56.52	52.88	58.68	57.86	50.96	51.80	0.8633	47.78	54.17	49.93	54.80	Колонка 1, 2 — данные по заводским анализам. 3 — 6 — данные заимствованы: по карагандинским углям из статьи Я. Я. Додонова (1936); по байконурским углям из статьи К. И. Сатпаева (1935) и В. А. Наумова (1930). 7 — анализ И. М. Шумило. 9 — средний тип порфировой центральной магмы о-ва Мул; заимствовано из Дали (1936). 10 — базальт — пересечение Анаун-Шиш; заимствовано из статьи В. И. Влодавца (1939). 11 — плагиоклазовый базальт — Узон (оттуда же). 12 — андезит — р. Камчатка у с. Ключи (оттуда же).
TiO ₂ . .	—	—	—	—	—	—	1.25	0.0156	0.93	0.26	0.67	—	
Al ₂ O ₃ . .	13.04	12.13	28.66	28.96	35.69	28.81	24.20	0.2392	21.70	26.71	24.34	22.31	
Fe ₂ O ₃ . .	Fe 14.10	Fe 13.36	15.96	7.44	2.97	12.71	0.25	0.0015	3.30	1.54	1.76	2.47	
FeO . .	—	—	—	—	—	—	9.44	0.1311	4.85	0.66	5.46	4.33	
MnO . .	0.28	0.11	—	—	—	—	0.12	0.0017	0.22	0.03	0.15	сл.	
CaO . .	10.02	10.07	2.18	2.75	0.63	1.89	7.67	0.1366	13.10	11.69	12.19	7.08	
MgO . .	—	—	0.27	1.62	0.56	2.64	1.06	0.0265	5.47	0.69	3.94	3.28	
BaO . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	
K ₂ O . .	—	—	*	*	1.04	1.85	1.11	0.0118	0.40	0.93	0.53	1.03	
Na ₂ O . .	—	—	—	—			0.75	0.0121	2.09	3.02	1.63	4.47	
SO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	нет	—	—	—	—	—	
S . .	—	—	—	—	—	—	0.24	0.0075	—	—	—	—	
ZnO . .	—	—	—	—	—	—	0.10	0.0012	—	—	—	—	
CuO . .	Cu — 0.82	Cu — 0.71	—	—	—	—	2.23	0.0266	—	—	—	—	
NiO . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21	—	—	
PbO . .	—	—	—	—	—	—	нет	—	—	—	—	—	
P ₂ O ₅ . .	—	—	—	—	—	—	нет	—	0.15	0.03	—	—	
H ₂ O . .	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	0.19	—	
ППП . .	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—	0.30	0.28	0.30	
Сумма .							100.42			100.27	100.07	001.07	
							— 0.12						
							100.30						
Пересчет на формулы Левинсон-Лессинга													
RO . .							1.33		2.04	1.08	1.70	1.49	
R ₂ O ₃ . .							1		1	1	1	1	
RO ₂ . .							3.61		3.41	3.34	3.31	3.90	
R ₂ O . .							1		1	1	1	1	
RO . .							12.3		11.6	4.1	12.6	3.2	
α . .							1.65		1.35	1.65	1.41	1.76	

* В статье Сатпаева содержание щелочей в золе Байконурского угля не указано, но для другого месторождения того же Джезказганского района, Кыя-кты дается по анализу содержание щелочей в золе — 6.35%.

аптейка показал, что содержание глинозема в нем увеличилось вдвое по сравнению с описанным выше нормальным шлаком.

Отражательная печь Карсакпайского завода работает обычно на смеси байконурского и карагандинского углей, содержание глинозема в золе которых доходит до 29—35.69% (табл. 2). Зола угля и послужила источником глинозема для шлака, образовавшегося в аптейке.

Вывос зола угля газовым потоком из рабочего пространства печи в аптейк и далее в боров — явление обычное для отражательной печи Карсакпайского завода. По данным журнала анализов химической лаборатории завода зольность карагандинского угля колеблется в пределах — 20.75—24.94%, а у байконурского угля она еще выше — 21.07—28.74%. Вследствие такой высокой зольности (зольность угля для отражательной печи ракомендуется не выше 10% — Шахов, 1937 г.), зола в очень больших количествах оседает на дне, своде и стенках аптейка и борова в виде бурого, спекшегося, весьма пористого налета.

Исследование такого налета (образец 17) под микроскопом показало, что он состоит из бурого, малопрозрачного в шлифе стекла с большим количеством в нем весьма мелких иголочек муллита; в значительном количестве присутствуют скелетные образования магнетита; немного оплавленных зерен кварца и бурого поляризующего силиката типа фоггита в виде удлинённых призм с прямым или косым (до 6—7°) погасанием.

Максимальная температура в отражательной печи в наиболее горячей зоне составляет 1500°; в холодном конце печи ближе к аптейку она снижается примерно до 1300°; в самом аптейке температура еще ниже — около 1.200—1.250° [такова по Г. А. Шахову (1937) температура газов в аптейке; следовательно, температура самого шлака, повидимому, несколько ниже]. Золы карагандинского и байконурского углей тугоплавки; по данным работников Карсакпайского завода, они плавятся при температуре около 1.350—1.400°.

Таким образом, уносимая в аптейк зола угля там не могла расплавляться, а лишь в той или иной степени спекалась. Для ее расплавления (при температурах аптейка) необходима добавка к ней понижающих температуру ее плавления элементов. Что такое явление имело место в нашем случае при образовании в аптейке расплавленного шлака, явствует из сравнения состава этого шлака с составом золы угля (см. табл. 2). В шлаке имеем некоторое уменьшение содержания глинозема, значительное увеличение извести, появление таких элементов, как цинк и медь.

Эти изменения связаны с проникновением в аптейк наряду с золой угля также и составных частей шихты (руда и концентрат, флюсовая известь). В результате взаимодействия золы угля с шихтной пылью, уносимой из печи в аптейк, в последнем и образовывался более легкоплавкий, чем сама зола, шлак.

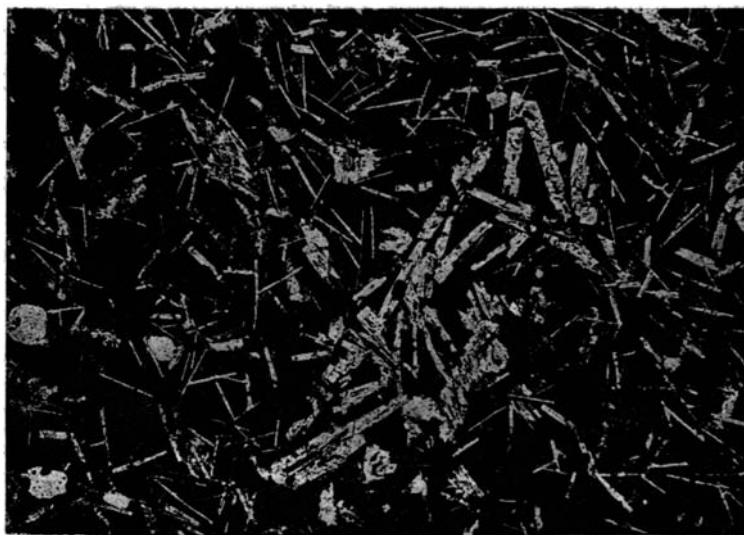
С другой стороны, во время образования описываемого нами шлака в аптейке печь некоторое время работала не на смеси карагандинского и байконурского углей, а только на карагандинском угле, что вызывало, по заявлению цеховых инженеров, повышение температуры в аптейке до 1300—1350°. Если это так, то это обстоятельство могло только способствовать переходу в расплавленное состояние смеси из угольной золы и шихтной пыли в аптейке.

Образование в аптейке расплавленного шлака мог также способствовать более усиленный, чем обычно, унос из печи в аптейк шихтной пыли, в связи, например, с более усиленным дутьем, наличием в загружаемой шихте большего количества пылеватых частиц и т. д.

На контакте бурой золы со шлаком в ней, кроме указанных выше фаз (стекло, муллит, магнетит, фоггит, кварц), появляется еще анортит — минерал, характерный для шлака из аптейка.



Фиг. 3. Микрофото нормального шлака 13 отражательной печи: реликты кварца и пироксен в стекле. Никולי параллельны, $\times 140$.



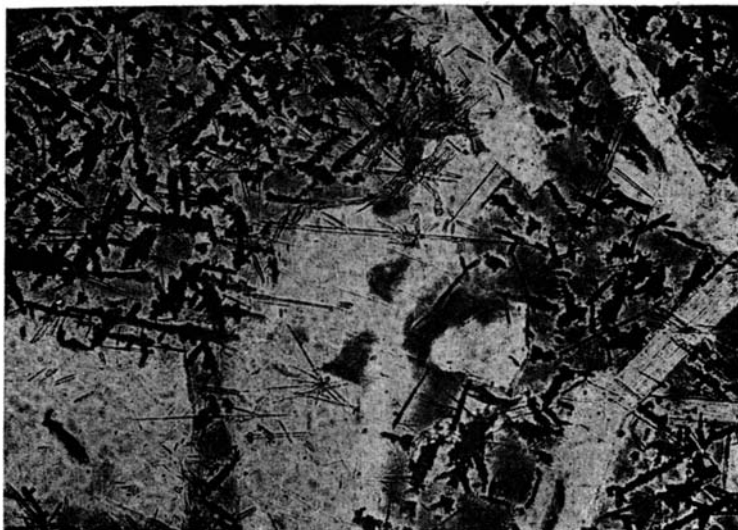
Фиг. 4. Микрофото шлака 8 из аптеки: анортит, магнетит, стекло. Никולי параллельны, $\times 45$.



Фиг. 5. То же, шлак 6, анортит, магнетит, стекло. Николи параллельны, $\times 45$.



Фиг. 6. То же, николи скрещены, $\times 45$.



Фиг. 7. То же: иголочки муллита, крупные кристаллы анортита, скелеты магнетита. Николи параллельны, $\times 140$.



Фиг. 8. То же: видны поперечные ромбические разрезы кристалликов муллита. Николи параллельны, $\times 140$.

Микроструктура и состав шлака из аптейка

Шлак, как мы уже упоминали, состоит из анортита, муллита, магнетита и стекла. Микроструктура шлака из аптейка переходная от интерсертальной к витрофировой. На различных участках шлака состав его несколько неоднороден: на одних преобладает кристаллическая часть (образцы 8, 9), на других (образец 6) — стекловатая. Подсчет в шлифах дал такие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Фазовый состав	Разность, богатая стеклом (обр. 6)				Разность, бедная стеклом (обр. 8)	
	I шлиф	II шлиф	среднее		в объемн. %	в вес. %
			в объемн. %	в вес. %		
Анортит	27	25	26	23	61	50
Муллит	7	7	7	7	Подсчитан с анортитом или стеклом	
Магнетит	20	18	19	24		
Стекло	43	47	45	41		
Куприт, сульфиды и металлическая медь . .	3	3	3	5	2	4
Сумма . . .	100	100	100	100	100	100

Вид в шлифе бедного стеклом участка шлака (обр. 8) представлен на микрофотографии фиг. 4 (свет простой, $\times 45$). Плаггиоклаз закристаллизовался здесь или в виде сравнительно крупных табличек размером до 0.4×0.1 мм или же в виде более мелких кристалликов размером 0.1×0.02 мм. Часты двойники; угол погасания $\perp$ РМ равен 44° . Светопреломление: $N_g = 1.583$, $N_p = 1.573 \pm 0.002$, т. е. мы имеем почти чистый анортит, что согласуется с небольшим содержанием в шлаке Na_2O (0.75%). Промежутки между кристаллами плаггиоклаза заполнены магнетитом и небольшим количеством стекла; как внутри анортитовых кристаллов, так и в стекле присутствует в небольшом количестве муллит, тонкие иголки которого достигают размером до 0.14×0.004 мм.

В участках, богатых стеклом, структура шлака приближается уже к витрофировой, как это видно на микрофотографии (обр. 6) фиг. 5 и фиг. 6. Светопреломление стекла, окрашенного в буроватый цвет, равно: $N = 1.535 - 1.540$. Бесцветное стекло около кристалликов магнетита снижает светопреломление до 1.514, благодаря обеднению его окислами железа, ушедшими в магнетит.

Анортита здесь значительно меньше, чем в участках, бедных стеклом, муллита же, напротив того, больше. Иглы муллита достигают здесь величины до 0.3×0.004 мм. Таблички плаггиоклаза также более крупные — до 0.66×0.14 мм. Кристаллы плаггиоклаза нередко включают в себя бурое стекло и магнетит. Магнетит образует ветвистые дендриты в основной массе стекла шлака.

Микрофотографии (фиг. 7 и фиг. 8) передают характер кристаллизации муллита (образец 6). Игольчатые кристаллики этого минерала или целиком располагаются внутри кристаллов анортита, или же иглы муллита выходят из анортита и продолжают в стекле, или, наконец, что часто наблюдается, иголки муллита целиком расположены в стекле. Такой характер кристаллизации муллита говорит о том, что он, начав выде-

ляться первым, продолжал расти вместе с ростом кристаллов плагиоклаза и далее продолжал кристаллизоваться до последней стадии застывания шлака в стекло.

Ход кристаллизации минералов в шлаке представляется нам в таком виде:

I	II	III	IV
Муллит	Муллит Магнетит	Муллит Магнетит Анортит	Муллит Магнетит Анортит Стекло

Шлак в аптечке в определенные моменты находился при температурах, близких к температуре его затвердевания, о чем свидетельствует образование в середине шлака слоя штейна; штейн, благодаря его высокому уд. весу, опускался в жидком шлаке и скопился в виде тонкого слоя (см. фиг. 2) на уже затвердевшем, или во всяком случае ставшем достаточно вязким, нижнем слое шлака.

Таким образом, шлак находился в интервале температур, благоприятных для его кристаллизации. Об этом свидетельствует и то, что приведенные выше температуры в аптечке ($\approx 1.200—1.250^\circ$) близки к температурам, определенным А. И. Цветковым (1937) для начала или оптимума кристаллизации магнетита и плагиоклаза при опытах кристаллизации расплавленного диабазы [начало кристаллизации для магнетита — 1.250° , для плагиоклаза — 1.200° , максимум скорости кристаллизации для плагиоклаза (битовнит № 78) — 1.150°].

Определенная по химическому анализу медь (2.23% на CuO) содержится в шлаке в основном в виде куприта; в отраженном свете в аншлифе минерал этот имеет вид очень мелких (0.02—0.03 мм), округлых, красноватого цвета образований. Небольшая часть меди присутствует в виде металлической или в виде сульфидов (в шлаке только 0.24% S).

Пористость шлака по подсчету в шлифах колеблется для различных участков от 3 до 17%. Форма пор округлая или овальная.

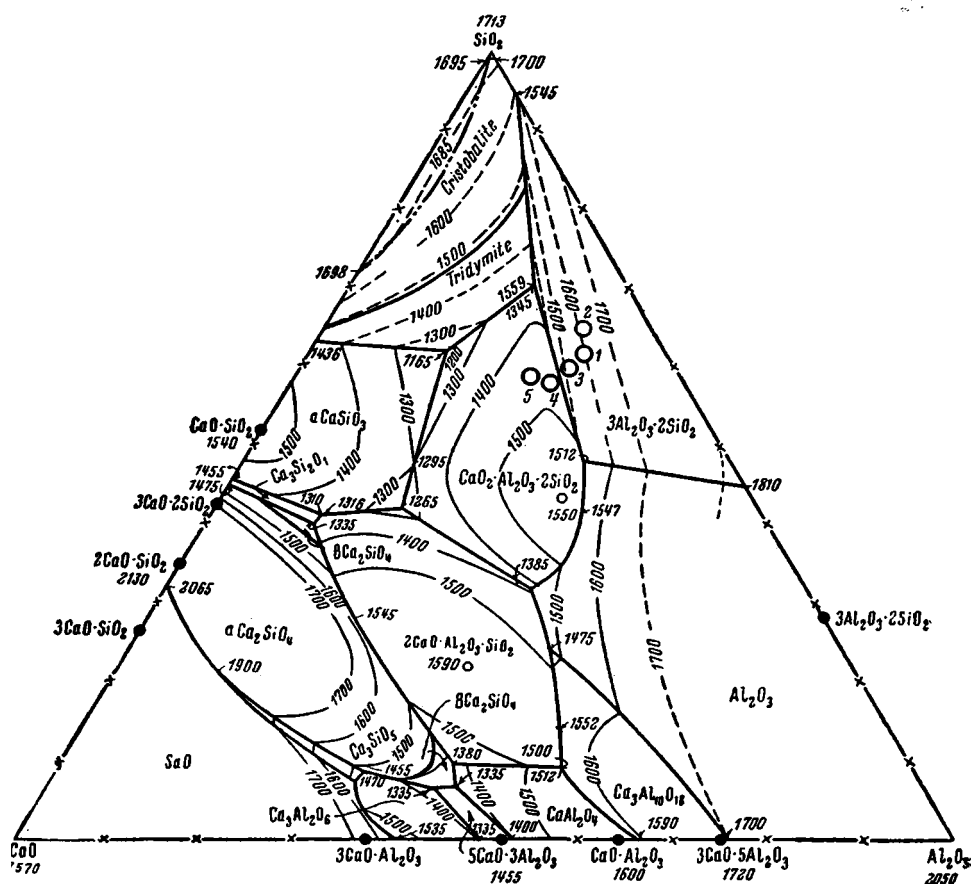
Сравнение шлака с некоторыми базальтовыми породами

Полевые шпаты являются, судя по имеющейся литературе, редкими минералами в металлургических шлаках. Напротив, как показали работы Müller (1930), Grün (1931) и Koch (1933, 1 и 2), основной плагиоклаз обычен в каменноугольных и мусорных (Müllschlacke) шлаках. Нами был обнаружен анортит как главная составная часть шлака от сжигания гдовского сланца.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1932), останавливаясь на значении исследования шлаков для понимания явлений кристаллизации некоторых групп естественных горных пород, отмечает, что своеобразной особенностью металлургических шлаков по сравнению с рядом естественных горных пород является отсутствие в шлаках полевых шпатов. Однако работа McLellan (1930) по медным шлакам, появившаяся недавно публикация Hoernes (1939) по доменным шлакам и настоящее наше исследование говорят о том, что и в некоторых металлургических шлаках мы встречаем кристаллизацию основного плагиоклаза.

По микроструктуре (фиг. 3—5) и отчасти по минералогическому составу (плагиоклаз, магнетит, стекло) шлак из аптечки отражательной печи близок к некоторым естественным базальтовым породам. Мы сопоставили также его химический состав с таковым ряда базальтов и андезитов острова Мул и Камчатки. Приведенное в табл. 2 сопоставление химических анализов и пересчетов их на коэффициенты по Левинсон-Лессингу говорит о том, что и по химическому составу шлак бли-

зок к некоторым богатым глиноземом разностям базальта и андезита. Очень близкие цифры имеем для SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , суммы железа,¹ MnO . Сумма $\text{CaO} + \text{MgO}$ в базальтах несколько (часто значительно) выше, чем в шлаке. В отдельных породах, однако, содержание извести равно таковому в шлаке, а для магнезии даже ниже, чем в шлаке. Если по сумме щелочей шлак приближается к некоторым разностям базальтов, то содержание Na_2O в нем значительно ниже, чем в базальтах. В связи



Фиг. 9. Диаграмма $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ с нанесенными на ней составами шлака и некоторых базальтовых пород (точки 1—5).

1 — шлак мартеновской печи; 2 — андезит с р. Камчатки у с. Ключи; 3 — базальт камчатский, пересечение Аваун-Шиш; 4 — базальт плагиоклазовый, Узон, Камчатка; 5 — средний тип порфировой центральной магмы о-ва Мул.

этим в шлаке мы имеем почти чистый анортит, в базальтах же в большинстве случаев кристаллизуется менее основной плагиоклаз.

При сравнении естественных горных пород с искусственными расплавами, например со шлаками, возникает трудность в том отношении, то в процессах образования горных пород существенную роль играет газовая фаза, тогда как шлаки, как правило, являются «сухими» расплавами. Однако в случае шлака из отражательной печи газовая фаза все же в известной степени принимала участие в его образовании в виде выделений CO_2 и SO_2 .

¹ Из-за присутствия в шлаке серы, содержание Fe_2O_3 по анализу не могло быть определено точно, вследствие неизбежного восстановления части Fe_2O_3 до FeO .

Обычные для базальтовых пород оливин и пироксен в нашем шлаке отсутствуют; вместе с тем в нем в довольно значительных количествах присутствует муллит.

Если нанести основные составные части шлака — CaO , Al_2O_3 и SiO_2 (составляющие 84% от суммы всех окислов в шлаке) — на соответствующую тройную диаграмму, то состав шлака ложится в поле муллита (точка 1 на диаграмме фиг. 9); таким образом, вполне естественным является присутствие этого минерала в нашем шлаке.

Указанные три окисла составляют от 83 до 93 % общей суммы по анализу для приведенных в табл. 2 базальтовых пород. Поэтому для сравнения их упрощенных составов с таковым для шлака мы нанесли на тройную диаграмму также и базальты (точки 2—5). Оказалось при этом, что две породы (точки 2 и 3), как и шлак, попадают в поле муллита, а две (точки 4 и 5) в поле анортита поблизости от муллитового поля. Не говорит ли это за возможность выделения муллита в некоторых разностях богатых глиноземом базальтов?

Как известно, мулит был описан впервые Bowen, Greig и Zies (1924) в контактах базальтовых пород острова Мул с глинистыми породами. В известной мере и в нашем случае мы имеем контактное взаимодействие расплавленного шлака с глиноземистой (до 36% Al_2O_3) золой угля, что привело к сильному обогащению шлака глиноземом и кристаллизации в нем муллита.

Обобщение

Впервые описана минералогия шлака отражательной печи Карсакпайского медеплавильного завода от плавки на штейн окисленных и сульфидных руд. Шлак сильно разнится от обычных шлаков отражательных печей уральских заводов, плавящих сульфидные руды (табл. 1), и состоит из пироксена геденбергитового типа, стекла ($N=1.548$) и кварца, в значительной степени перерожденного в метастабильный кристобалит; кварц в основном шихтного происхождения.

Описан также своеобразный шлак, образовавшийся в аптейке той же отражательной печи. Установлено, что шлак этот отличается в основном от нормального шлака вдвое большим содержанием глинозема (24.20% Al_2O_3) и наличием щелочей (1.11% K_2O и 0.75% Na_2O). Источником глинозема и щелочей для шлака явилась зола угля (отопление печи пылеугольное), содержащая до 28—36% Al_2O_3 и уносимая газовым потоком из рабочего пространства печи в аптейк.

В результате взаимодействия жидкого шлака, получающегося за счет уносимых в аптейк и там расплавляющихся пылевидных частиц шихты (концентрат, руда, известь), с золой угля и происходило обогащение шлака в аптейке глиноземом и щелочами.

В согласии с химизмом шлака в нем кристаллизуются анортит, магнетит, муллит; присутствует также стекло.

По микроструктуре и химическому составу шлак близок к некоторым богатым глиноземом разностям базальтовых пород острова Мул и Камчатки (табл. 2).

Нанесение составов шлака и некоторых базальтов на диаграмму равновесия в системе $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ показало, что как шлак, так и некоторые из указанных базальтов попадают в поле кристаллизации муллита. Высказывается предположение о возможности присутствия муллита в подобных породах.

ЛИТЕРАТУРА

- Ванюков В. А. Металлургический профиль Большого Джезказгана. Тр. Казах. базы Акад. Наук, 1935, вып. 7, 517—531.
Влодавец В. И. Химический облик изверженных пород Камчатки. Бюлл. Вулкан. ст. Акад. Наук на Камчатке, 1939, № 5, 17—42.

- Газарян Л. М. Неувязки технологии бессемерования с технологией медеплавильных цехов наших заводов и пути их ликвидации. Цвет. мет., 1937, № 1, 64—73.
- Додонов Я. Я. Качественная характеристика углей Карагандинского бассейна и перспективы развития химической промышленности. Тр. Казах. базы Акад. Наук, 1936, вып. 3, 105—141.
- Дэли Р. О. Изверженные породы и глубины земли. Пер. с англ. ОНТИ, 1936.
- Ергунов В. С. Дискуссия по докладу Л. М. Газарян. Цветн. мет., 1937, № 3, 61—63.
- Иванов Б. В. Износ динаса в своде отражательной медеплавильной печи. Тр. 3-го Совещ. по эксперим. мин. и петр. Изд. Акад. Наук, 1940, 173—180.
- Мостович В. Я. Заключение по проекту медеплавильного завода Прибалхашского комбината. Сборник трудов проф. В. Я. Мостовича. ОНТИ, 1936, 713—716.
- Наумов В. А. Опыт обогащения байконурского каменного угля. Цветн. мет., 1930, № 11, 1505—1509.
- Сатпаев К. И. Ископаемые угли Джезказганского района. Тр. Казах. базы Акад. Наук, 1935, вып. 7, 362—382.
- Стригин Н. С. Практика переработки медных руд Джезказганского месторождения. Тр. Казах. базы Акад. Наук, 1935, вып. 7, 425—462.
- Цветков А. М. Некоторые данные по кристаллизации плавленого диабазы. Тр. 2-го Совещ. по эксперим. мин. и петр. Изд. Акад. Наук, 1937, 209—229.
- Шахновский М. А. Основные рационализаторские мероприятия на Карсакпайском медеплавильном заводе. Цветн. мет., 1935, № 5, 44—47.
- Шахов Г. А. Металлургия меди, ОНТИ, 1937.
- Bowen N. L., Greig J. N., Zies E. G. Mullite a silicat of alumina. Journ. Wash' Acad Sci., 1924, 14, 183.
- Grün R. u. Manecke H. Das Vergessen und Tempern von Silicatschmelzen unter besonderer Berücksichtigung der Müllschlacke. Zs. ang. Chemie, 1931, № 52, 985—990.
- Hoernes D. Ueber den Mineralbestand der sauren Hochofenschlacken. Zbl. Min., Geol. u. Palaeont., Abt. A, 1939, № 9, 257—271.
- Koch L. 1. Chemische und mineralogische Verwandtschaftsbeziehungen von Schlacken und magmatischen Gesteinsbildungen. Fortschr. Min., Krist. u. Petr., 1933, 18, T. I, 24—26.
- 2. Zur vergleichenden Betrachtung magmatischer und nichtmagmatischer Silikatsysteme. Cbl. Min., Geol. u. Palaeont., Abt. A, 1933, 219—224.
- Loewinson-Lessing F. Einige Betrachtungen über magmatische und nichtmagmatische Silikatsysteme. Min. u. petr. Mitt., 1932, 43, H. 1—2, 45—62.
- McClellan R. D. A petrographic study of Lead and Copper Furnace slags. Trans. Amer. Inst. Min. a. Metall. Eng., 1930, 244—264.
- Müller H. Ueber sogenannte Pflockstruktur bei Anorthit. Cbl. Min., № 12, 1930, 492—498.

V. V. LAPIN

ON THE KARSAKPAI COPPER-SMELTER SLAGS — NORMAL AND BASALTOID

Summary

A study has been made of a number of slag samples from the reverberatory furnace of the Karsakpai copper-smelter operating on a sulphide concentrate with an addition of oxidized ores from the Djezkazgan deposit. The slag is acid (SiO_2 from 54 to 57 per cent), and is very different from the slags of the Ural works smelting only sulphide ores (plate 1); the slag consists of pyroxene of the hedenbergite type, of glass and feed quartz, partly transformed into cristobalite (microphotograph, fig. 3).

Also, description is given of a peculiar slag formed in the uptake as a result of reaction of the slag to the coal ash containing up to 28—36 per cent of Al_2O_3 . The slag consists of anorthite, mullite, magnetite, and glass. In its chemical and partly mineralogical composition (pl. 2, microphotographs, figs. 4—8, and diagram, fig. 9) the slag is closely similar to some varieties of basalt rocks, especially rich in alumina, from Mull Island and Kamchatka. An assumption as made that crystallization of mullite in similar rocks is possible.

Б. В. ЗАЛЕСКИЙ, А. И. КОРСУНСКИЙ и В. В. ЛАПИН**К ВОПРОСУ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ РАЗНОСТЕЙ
КАРБОНАТНЫХ ПОРОД САМАРСКОЙ ЛУКИ****Введение**

Еще в 1923 г., намечая программу работ Отдела каменных строительных материалов КЕПС Академии Наук, акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг писал: «Как известно, естественные каменные строительные материалы более или менее легко и быстро поддаются разрушительному действию выветривания. Поэтому недостаточно выбрать красивый и прочный в механическом отношении камень, необходимо еще знать, в какой мере он является стойким в отношении выветривания в тех климатических условиях, в которых он будет применен. Чтобы найти такие петрографические признаки и установить такие коэффициенты, которые давали бы возможность оценивать камень с точки зрения его климатической стойкости, необходимо иметь в своем распоряжении эмпирический материал двоякого рода, а именно: лабораторный экспериментальный материал и, в особенности, наблюдения по состоянию камней в старинных постройках».

В этих словах в сжатом виде дается не только четкая формулировка поставленной задачи, но и указание путей и методов ее разрешения.

К сожалению, надо признать, что и до настоящего времени в таком направлении мы продвинулись чрезвычайно мало. Это обстоятельство обусловилось как отсутствием надлежащей экспериментальной базы, необходимой для получения того лабораторного материала, о котором говорит Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, так и отсутствием систематического наблюдения и изучения материалов старинных сооружений.

Все работы по вопросам устойчивости и долговечности камня исчерпываются у нас вышедшей полвека тому назад статьей Лахтина, статьями Д. С. Белянкина в первом сборнике «Каменные строительные материалы» КЕПСА Академии Наук, статьей А. Н. Гейслера в том же сборнике, составленной по литературным данным работой И. А. Ковельмана, того же типа статьей Залеского и Корсунского, исследованием В. В. Лапина о разрушении мрамора и гранита в Мраморном дворце в Ленинграде и работой инженера А. А. Байдалина об устойчивости путиловских известняков.

Лаборатория естественного строительного камня Петрографического сектора им. Левинсон-Лессинга Института геологических наук поставила своей задачей произвести обследование разных типов горных пород с целью выявления тех петрографических признаков и установления тех коэффициентов, о которых говорит акад. Левинсон-Лессинг. В настоящее время Лаборатория располагает довольно значительными экспериментальными данными по изученным с этой точки зрения разнообразным изверженным породам, а также мраморам, известнякам и песчаникам.

В качестве первого очерка, составленного на основании обработки части этих данных, публикуется настоящая работа, посвященная доломитам, известнякам и доломитизированным известнякам Ширяевского карьера Самарской Луки. Эти породы представляют большой практический интерес с точки зрения возможности их использования в строительстве. Основным требованием, предъявляемым строительной техникой к этим породам, является их стойкость и долговечность.

Целью настоящей работы является установление теоретического подхода к исследованию пористых карбонатных пород. Поэтому в ней нет оценки Ширяевского месторождения, так как подобная оценка может основываться только на пробах, число которых и количество точек взятия будет достаточно большим для характеристики всего горного тела.

При той степени неоднородности Ширяевского массива, которая установлена разведочными работами, число проб должно составлять несколько сотен.

Практическая ценность настоящей работы заключается именно в установлении методологического подхода к изучению качества камня.

По предложенному здесь пути были развернуты в нужных масштабах исследовательские работы и от оценки образцов породы можно было перейти к оценке месторождения с горнотехнической точки зрения.

Список исследованных пород

№ образцов	Наименование породы	Месторождение	Место взятия	Горизонт
340	Доломит	с. Ширяево	Расч. № 1	80.21— 81.00
341	Доломитизированный известняк	»	Шахта № 4	73.00— 73.40
342	Доломит	«Синяя жила»	Расч. № 1	60.45— 61.00
343	Доломит	»	Шт. № 1	45.87— 46.27
344	Доломит	с. Ширяево «Синяя жила»	Расч. № 1	55.76— 56.16
345	Доломит	с. Ширяево «Синяя жила»	Расч. № 1	77.47— 78.00
346	Доломитизированный известняк	Липовая поляна	Ломки завода «Богатырь»	93.49— 94.29
347	Известняк	Ширяевский овраг	Ломки ЖГИЗ	96.65— 97.45
348	Доломитизированный известняк	с. Ширяево	Шурф № 16	74.20— 74.70
349	Известковый доломит	с. Ширяево	Шурф № 3	63.10— 63.60
350	Доломитизированный известняк	с. Ширяево	Ломки ЖГИЗ	88.20— 88.80
351	Известняк	«Старая жила» Левый берег р. Волги	вблизи шахты № 4 Соколы горы	48.10— 49.45
352	Известняк	»	Шт. № 2	48.62— 49.42
353	Афанитов. известняк	Царев курган	Ломки на вершине	108.22—108.55

Определение долговечности естественных каменных материалов является одной из труднейших задач в области изучения физико-химических и физико-механических свойств горных пород. В данное время мы не имеем еще ни одного вполне удовлетворительного и научно обоснованного метода предварительной оценки долговечности камня, хотя исследовательские работы ведутся в этом направлении очень давно, сосредоточиваясь, главным образом, в трех странах Европы — Англии, Германии и Австрии — и развиваясь в последнее время также и в Америке. Наиболее объективным и универсальным представляется метод Гиршвальда, плод многолетних и очень обстоятельных исследований

ских работ, начало которым было положено еще в 1896 г., когда для установления причин недолговечности каменных сооружений в Германии была учреждена министерская комиссия, за 15 лет своей работы собравшая огромный фактический материал. Были обследованы строительные материалы из 1059 построек в возрасте от 12 до 1850 лет. Были произведены сотни химических анализов, тысячи микроскопических определений и свыше 10 тысяч механических испытаний. Критическое рассмотрение большого количества цифр позволило Гиршвальду разработать метод предварительной оценки камня по совокупности результатов изучения механических, физических, петрографических и химических свойств. Наблюдая и изучая как камень из карьеров, так и камень в сооружениях различного возраста, Гиршвальд составил таблицу и диаграмму зависимости степени разрушения от возраста сооружения и от «качественного числа» — цифрового коэффициента, выведенного на основе характеристики структурных и физико-механических свойств породы. Поскольку эти данные являются эмпирическим обобщением, а не только теоретическими выкладками, они заслуживают самого пристального внимания, почему, приступая к изучению данного вопроса, мы считали необходимым воспользоваться этим методом, тем более, что за исключением работы Байдалина он до сих пор фактически не был применен к породам Союза.

В последнее время со стороны английских исследователей все настойчивее раздаются голоса о необходимости более индивидуализированного подхода к каждому типу породы при оценке взаимоотношений ее структурных особенностей, физико-механических свойств и стойкости против выветривания. Так, Scott Russel'ю и Schaffer'у (1932) удалось показать, что на стойкость оолитовых известняков типа портландского камня, главным образом, влияет количество микропор (диаметром меньше 0.005 мм), не отражающееся вовсе на стойкости известняков других типов. С этой точки зрения некоторая универсальность гиршвальдовской методики, особенно в применении ее к породам, еще длительно не употреблявшимся в сооружениях, нуждается в коррективах.

Учитывая это, а также большую условность «качественных чисел» Гиршвальда, как это будет видно из приводимой ниже методики их получения, мы считали необходимым, помимо гиршвальдовской структурной характеристики, дать более детальную общую петрографическую характеристику каждого образца исследованных пород.

Мы не считаем законченной нашу работу по исследованию долговечности карбонатных пород Самарской Луки, продолжаемую нами как на образцах Ширяевского района, так и на других типах карбонатных пород этого района. Тем не менее мы все же думаем, что результаты, полученные нами на данной стадии изучения, позволяют придти к некоторым заключениям о долговечности изучаемых пород путем сопоставления данных физико-механического испытания, детального петрографического изучения и примененного метода Гиршвальда. Мы убеждены, что эти результаты позволяют наметить дальнейшие пути изучения трактуемого весьма сложного вопроса и помогут установить принципы оценки и применения той или иной методики изучения.

Вопрос о практической ценности результатов данного исследования осложняется специфичностью обстановки службы камня в гидротехнических сооружениях. На фоне общей проблемы поведения воды в камне эта специфичность отражается, главным образом, в возможном агрессивном действии минерализованных вод на изучаемые породы — вопрос, специально изучаемый И. И. Гинзбургом, А. В. Николаевым и П. Н. Палеем с их сотрудниками. Так как при оценке такого действия основным определяющим фактором является количество действующей воды, то для первоначального сопоставления результатов нашего исследования с химической стойкостью нами приводятся коэффициенты фильтрации

для каждой породы по данным лаборатории И. И. Гинзбурга. Сопоставление структурных особенностей и коэффициента фильтрации позволяет получить предварительное представление о степени устойчивости наших пород и по отношению к химической агрессии.

Глава I

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

1. Методика исследования

На ряду с обычными методами петрографического исследования в прозрачных шлифах и в иммерзионных препаратах, нами в процессе изучения описываемых ниже карбонатных пород был широко использован метод аншлифов (подробно об этом см. Белянкин, Лапин и Островский, 1940).

Аншлифами мы пользовались для выявления трех важнейших моментов, влияющих на физико-механические и химические свойства изученных пород: пористости, количества кальцита и доломита и микроструктуры (взаимного расположения кальцита и доломита). Вкратце метод заключается в следующем. В аншлифе под микроскопом изучается характер пор (размер, форма, изолированность или соединяемость их, равномерность распределения в породе) и производится количественный подсчет их. Затем аншлиф в течение 20 секунд травится слабой (2%) HCl; кальцит протравливается, доломит остается нетронутым. В протравленном аншлифе подсчитывается содержание кальцита и доломита и определяется микроструктура породы. Пользуясь терминологией Гиршвальда, примененной им для кварца в гранитах, мы разделили микроструктуры на два типа: синдетический, когда изолированные зерна и участки кальцита заключены в количественно преобладающем доломите, и диспергентный, когда изолированные зерна и участки зерен доломита располагаются среди кальцита.

При изучении физико-механических свойств исследуемых пород применялась обычная методика лабораторных испытаний. Специальные методы, которыми мы пользовались для освещения отдельных вопросов, как, например, водонасыщения, размокания пород и некоторых других, описываются в главе, посвященной изучению теоретической долговечности пород при рассмотрении соответствующих вопросов.

2. Характеристика разновидностей изученных пород

Изученные нами 14 пород, взятых из горизонта C_3^b Ширяевского района Самарской Луки, представляют собою (кроме образца № 353) единый генетический тип. Органогенные, почти нацело состоящие из органических остатков, известняки являются первичными породами; вторичный процесс доломитизации этих известняков дает все переходы от них через доломитизированные в той или иной степени известняки к доломитам, содержащим лишь следы органических остатков. Поэтому приводимая ниже разбивка исследованных пород на группы носит несколько условный характер.

Среди изученных пород представлены:

1. Доломиты темные, с изолированными микропорами овальной формы размером 1—6 мм (по длине); поры располагаются в породе участками — скоплениями. Своим возникновением поры обязаны вторичным процессам выщелачивания пелитоморфного кальцита фузулиновых раковин. Образцы № 342 и № 344.

Содержание доломита высокое, структура синдетическая. Кальцит, главным образом, вторичный (выполнение пор).

2. Доломиты, окрашенные участками то в темносерый, то в светло-серый цвет, без крупных макропор. Общее содержание доломита высокое, но наблюдаются колебания в содержании доломита и кальцита на отдельных участках, иногда значительные (например, до 41% кальцита в образце № 340), причем на участках, обогащенных кальцитом, последний нередко является пелитоморфным (органические остатки фузулин и водоросли). Синдетическая структура преобладает. Пористость невысокая, от 4.4 до 5.1%. Образцы № 340, 343, 345.

3. А. Доломитизированные известняки светлые, мало пористые (4% пор), но со значительным содержанием кальцита (35—43%) и с преобладанием диспергентного типа структуры. Кальцит, главным образом, пелитоморфный, составляющий раковины фузулин (также водоросли). Образцы № 341 и № 349.

В. Доломитизированные известняки такого же типа, как 3 А, но с повышенной пористостью (от 5 до 25% и с большим содержанием кальцита (60—69%). Образцы № 348 и 350.

4. Известняки светлые органогенные, чистые и слабо доломитизированные, с большой пористостью (19—56%, по данным микроскопии). Образцы № 346, 347, 351, 352.

5. Известняки серого цвета, афанитового сложения, весьма плотные, не содержащие фауны. Пористость меньше 1%. Образец № 353.

Ниже приводятся описания этих пород по группам, причем все числовые характеристики отдельных пород вынесены в специальные таблицы и в текстовой части описаний не повторяются. В этих же таблицах приводятся и основные физико-механические показатели пород, входящих в данные группы.

Породы 1-й группы (см. табл. 1). По внешнему виду это желтовато-серые неоднородные породы, в которых плотные участки сменяются участками с крупными (до 3—6 мм) овальными порами, расположенными местами слоисто. Среди основной массы «сахаровидного» доломита видны порфиробласты кальцита размером до 3 мм.

Под микроскопом состоят из агрегата микрокристаллического доломита, среди которого сохранились немногочисленные следы фауны в виде участков пелитоморфного или тонкокристаллического кальцита, небольшого количества криноидей (монокристаллы кальцита) и иногда (№ 342) остатков кораллов (?). Присутствуют также порфиробласты кальцита, часто выполняющие пустотки от выщелоченных фузулин размером до 5—6 мм (фиг. 1).

В зернах доломита часты вроски тонкозернистого кальцита.

Структура доломита синдетическая, лишь на отдельных участках она приближается к диспергентной.

Общая пористость породы значительная, но распределение пор неравномерное; наблюдаются участки с крупными изолированными овальными порами (до 3—6 мм), между которыми располагаются более мелкие, неправильной формы поры размером 0.01—0.05 мм для № 342 (фиг. 2) или 0.005—0.10 мм для № 344.

Особенностью образца № 344 является соединяемость на отдельных более пористых его участках крупных пор тонкими канальцами-трещинками (фиг. 3); в образце № 342 это явление выражено слабее.

В образце № 342 присутствует небольшое количество комочков глинистого вещества, пропитанного бурыми окислами железа (главным образом, по стенкам пор).

Для обеих пород характерно присутствие на отдельных участках затухающих микротрещинок, более частых в образце № 344.

Физико-механическая характеристика говорит о высоких свойствах обеих пород. Несколько пониженное значение временного сопротивления

ния разрыву образца № 344 обуславливается, повидимому, его упомянутой выше микротрещиноватостью.

Породы 2-й группы (см. табл. 2). По внешнему виду образцы № 340, 343 и 345 представляют собою желтовато-серые мелкозернистые породы с неправильными более темными прослоями и участками, особенно характерными для образца № 345. Нередки порфиробласты кальцита размером 0.5—4 мм и реже до 8 мм в поперечнике; они более обильны в образце № 343.

Под микроскопом представляют агрегат из доломитовых зерен, среди которых встречаются органические остатки; последние представлены в образце № 340 фузуликами, сложенными пелитоморфным кальцитом (фиг. 4) и отчасти криноидеями, в образце № 343 — слабо сохранившимися остатками водорослей из криптокристаллического кальцита и бесформенными участками из пелитоморфного кальцита, в образце № 345, главным образом, — криноидеями и изредка фузуликами.

В образцах № 343 и № 345 наблюдается слоистость, выражающаяся в первой породе чередованием слоев, богатых и обедненных органическими остатками, а во второй — перемежаемостью полос из чистых, более крупных доломитовых зерен с полосами из мелкозернистого доломита, переполненного вросками тонкокристаллического кальцита.

Во всех этих породах нередко порфиробласты вторичного кальцита, что особенно относится к образцу № 343, в котором кальцит иногда обогащает целые прослои и образует в них или крупные, до 5 мм, неправильные зерна, или более мелкие в 0.06 мм, или же слагает в виде криптокристаллической массы остатки водорослей (?).

В образцах № 343 и № 345 отмечены редкие кварцевые зерна иногда радиально лучистого строения размером до 1—3 мм, а также небольшое количество бурых окислов железа; в образце № 343 наблюдается еще незначительное количество тонкого глинистого вещества.

В породах встречаются тонкие трещинки, часто заполненные вторичным кальцитом.

Пористость пород этой группы невелика; преобладают изолированные угловатые и неправильной формы поры размером от 0.02 до 0.17 мм (обр. № 340, фиг. 5). На отдельных участках образца № 345, обогащенных порами, последние нередко соединяются в группы.

На левой части микрофото фиг. 6 изображен обычный характер мелкой пористости образца № 343, а на правой части микрофото более пористый участок этой породы. На микрофото фиг. 7 представлен синтетический тип структуры для образца № 340, а на фиг. 8 участок образца № 343 с диспергентной структурой.

В породах № 343 и № 345 наблюдаются в небольшом количестве затухающие тонкие микротрещинки.

По своим механическим свойствам породы этой группы превосходят даже предыдущую группу, несколько уступая им по коэффициенту насыщения и величине водопоглощения. Первое обстоятельство говорит о том, что, несмотря на свою большую неоднородность, эти породы, благодаря большой плотности, не только не снизили свою прочность по сравнению с образцами № 342 и № 344, но даже превысили ее. Более же высокие показатели для водопоглощения и коэффициента насыщения надо связывать с характером пористости (несколько большая сообщаемость пор между собой, особенно в обр. № 345). Вообще же по совокупности признаков породы первых двух групп близки между собой, о чем говорят и одинаковые коэффициенты фильтрации.

Породы группы 3А (см. табл. 3). Породы № 341 и № 349 по внешнему виду светлые, желтовато-серые, тонкозернистого (№ 341) или афанитового (№ 349) строения. Участками порода № 349 имеет мелкокристаллический характер и частые поры за счет выщелоченных органических остатков. Поверхность образца № 341 сильно разрыхлена

№ образцов	Содержание (в %)		Колебания в со- держании каль- цита для отдель- ных шлифов (в объемн. %)		Пористость (в %)			Размер пор (в мм)	Размер зерен доломита (в мм)
	доломита	кальцита			средняя	колебания по отдельным шлифам			
			от	до		от	до		
342	$\frac{89.4^*}{81^{**}}$	$\frac{10.6^*}{19^{**}}$	0	27	$\frac{13.4^1}{17.51^2}$	6	24	$\frac{3-6 \text{ мм}}{0.01-0.05}$	0.06—0.21 до 0.31
344	$\frac{85.8^*}{81.5^{**}}$	$\frac{14.2^*}{18.5^{**}}$	0	26	$\frac{9.5^1}{9.30^2}$	4	23	$\frac{4-5 \text{ мм}}{0.005-0.11}$	0.06—0.21 и больше

* По подсчету под микроскопом (объемн. %). ** По химическому анализу (вес %)

№ образцов	Содержание (в %)		Колебания в со- держании каль- цита по отдель- ным шлифам (в объемн. %)		Пористость (в %)			Размер пор (в мм)	Размер зерен доломит (в мм)
	доломит	кальцит			средняя	колебания по отдельным шлифам			
			от	до		от	до		
340	$\frac{89.4^*}{90.5^{**}}$	$\frac{10.6^*}{9.5^{**}}$	0	41	$\frac{4.4^1}{3.55 - 3.68^2}$	1.0	18	0.05—0.10 реже 0.5—1.0 мм	0.05—0.2
343	$\frac{83^*}{70^{**}}$	$\frac{17^*}{30^{**}}$	0	60	$\frac{4.5^1}{4.91^2}$	1.0	*** 18.7	0.017—0.070	0.04—0.2
345	$\frac{89.5^*}{76^{**}}$	$\frac{10.5^*}{24^{**}}$	0	23	$\frac{5.1^1}{7.63^2}$	2.0	17	0.035—0.17 и до 0.50	0.04—0.2

¹ и * По микроскопическому подсчету (в объемн. %). ** По химическому анализу
*** Включая два подсчета в рыхлой пористой корочке выветривания по трещинам

Таблица 1

ород 1-й группы

Преобладающий характер кальцита и размер зерен	Структура	Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водонасыщенном состоянии (в кг/см ²)			Средний коэффициент фильтрации
				раздавливанию	излому	разрыву	
Вторичный до 3 мм и пелитоморфный	Синдетическая	2.75	0.42	877	150	51	$0.188 \cdot 10^{-8}$
Вторичный и тонкозернистый	Синдетическая	1.46	0.43	1162	150	32	$0.3045 \cdot 10^{-7}$

По подсчету под микроскопом; ² Абсолютная пористость по физическому методу.

Таблица 2

ород 2-группы

Преобладающий характер кальцита и размер зерен	Структура	Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водонасыщенном состоянии (кг/см ²)			Средний коэффициент фильтрации
				раздавливанию	излому	разрыву	
Пелитоморфный и вторичный до 0.3 мм (иногда до 2.0 мм)	Синдетический тип и подчиненный диспергентный	1.61	0.59	2159	323	76	$0.1038 \cdot 10^{-7}$
Криптокристаллический и вторичный (порфиобласты 2—4 и реже 8 мм)	Синдетический и диспергентный тип	2.84	0.63	1937	253	83	$0.187 \cdot 10^{-9}$
Гонкокристаллический (< 0.01 мм) и вторичный (до 3 мм)	Преобладает синдетический тип, местами диспергентный	4.12	0.63	1296	215	70	$0.7052 \cdot 10^{-7}$

у (в вес. %); ² По физическому определению.

ороды; если их исключить, то пористость составляет 4% с колебаниями от 1 до 10%.

№ образцов	Содержание (в %)		Колебания в со- держании каль- цита для отде- льных шлифов (в объемн. %)		Пористость (в %)			Размер пор (в мм)	Размер зерен доломита (в мм)
	доломит	кальцит			средняя	колебания по отдельным шлифам			
			от	до		от	до		
341	$\frac{57^*}{60^{**}}$	$\frac{43^*}{40^{**}}$	26	95	$\frac{4^1}{7.04^2}$	3.2	7.0	0.017—0.085	0.03—0.11
340	$\frac{65^*}{63^{**}}$	$\frac{35^*}{37^{**}}$	0	73	$\frac{4^1}{10.98^2}$	2.1	5.6	0.017—0.070 и до 0.17	0.035—0.1

* По подсчету под микроскопом (объемн. %).

** По химическому анализу (вес. %).

¹ По подсчету под микроскопом.

² Абсолютная пористость по физическому методу.

вследствие выщелачивания кальцита по трещинам или слоистости породы.

Под микроскопом представляют агрегат из ромбоэдров доломита и из пелитоморфного или криптокристаллического кальцита, слагающего остаток водорослей (?) трубчатой формы (размер их 1 мм в длину и 0.2 мм в поперечнике). Кальцит образует и более крупные зерна размером 0.06—0.08 или порфиروبласты до 0.10—0.30 мм (в породе № 349 до 1.5 мм). В породе № 349 в небольшом количестве присутствуют фузулины и криноиды. Доломитовые зерна содержат включения кальцита как внутри, так и в краях ромбоэдров.

В породе № 349 редкие зерна кварца и в обеих породах немногочисленные образования гидроокисей железа.

В породе № 349 структура неоднородная: темные участки, обогащенные доломитом, чередуются со светлыми, обогащенными органогенным кальцитом; соответственно возникает или синдетическая структура (макроскопически темные участки), или диспергентная (светлые участки); последняя преобладает (фиг. 9 и 10).

Пористость обеих пород незначительна; поры мелкие, изолированные (фиг. 11).

В небольшом количестве присутствуют тонкие микротрещинки.

Породы этой группы, особенно обр. № 349, по своим физико-механическим свойствам, величине и характеру пористости, а также и по фильтруемости примыкают к первым двум группам. Резкое снижение содержания в них доломита, диспергентная структура и большое коли-

сред группы 3 А

Преобладающий характер кальцита	Структура	Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водо- насыщенном состоянии (в кг/см ²)			Средний коэффициент фильтрации
				раздавливанию	излому	разрыву	
Микрокристаллический и пелитоморфный (0.003 мм) (остатки фауны одорослей), реже вторичный 0.06 — 0.08, 0.10 — 0.30 мм	Диспергентная	5.75	0.84	1680	143	43	$0.7668 \cdot 10^{-8}$
Пелитоморфный криптокристаллический (остатки фауны водорослей)	Диспергентная и подчиненная синдетическая	2.81	0.57	1297	—	134	$0.7236 \cdot 10^{-7}$

чество пелитоморфного кальцита заставляют все же считать их менее устойчивыми в отношении растворяющего воздействия воды и вполне оправдывают выделение их в особую группу. Окончательная оценка этих пород возможна только после получения непосредственных данных о степени их растворимости во времени при установленных для них низких коэффициентах фильтрации. В отношении породы № 341 более низкая оценка устойчивости, вытекающая из петрографической характеристики, подтверждается также ее все же несколько повышенным, по сравнению с предыдущими породами, водопоглощением и значительно возросшим коэффициентом насыщения. Порода № 349 обладает большой трещиноватостью, настолько сильной, что не удалось изготовить из монолита этой породы всех нужных для испытания образцов, вследствие чего нельзя было произвести испытание на излом.

Породы группы 3 В (см. табл. 4). Породы № 348 и № 350 отличаются в основном от пород группы 3 А большей пористостью и меньшим содержанием доломита. По внешнему виду это светлые, желтовато-серые, плотные породы. Для образца № 350 характерен шероховатый излом. В породе № 348 местами присутствуют каверны, выполненные кальцитом.

Под микроскопом породы состоят из пелитоморфной и криптокристаллической кальцитовых массы органических остатков (в породе № 348 преобладают водоросли, меньше фузулины и криноидеи; в породе № 350 преобладают фузулины и водоросли, меньше криноидеи и обломков брахиопод). Среди этой кальцитовой массы располагаются ромбо-

Характеристика пород группы 3 В

№ образцов	Содержание (в %)		Колебания в содержании кальцита по отдельным шлифам (в объемн. %)		Пористость (в %)			Размер пор (в мм)	Размер зерен доломита (в мм)	Преобладающий характер кальцита	Структура	Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водонасыщенном состоянии (в кг/см²)			Средний коэффициент фильтрации
	доломит	кальцит			средняя	колебания по отдельным шлифам								раздавливанию	излому	разрыву	
			от	до		от	до										
348	31* 44—35**	69* 56—65**	37	90	51 6.12	0.4	23.6	Слои с порами 0.015 мм и слои с порами 0.3—0.6 мм и 0.017—0.17 мм	0.02—0.10	Пелитоморфный и криптокристаллический (водоросли и отчасти фузулины). Размер зерен 0.001—0.007 мм, реже вторичный—жеоды	Диспергентная	8.04	0.81	1759	—	74	—
350	40* 32**	60* 68**	8	100	25*** 13.32	11.2	46.4	0.02—0.2 и 0.2—0.6 мм	0.06—0.2	Криптокристаллический, частью пелитоморфный (фузулины, водоросли)	Диспергентная, на отдельных участках синдетическая	10.11	0.60	665	143	43	0.1722·10 ⁻⁵

* По подсчету под микроскопом (объемн. %).

** По химическому анализу (вес. %).

*** Средняя пористость на сильно доломитизированных участках равна 15%, а на недоломитизированных и слабо доломитизированных участках — 34%.

¹ По подсчету под микроскопом.² Абсолютная пористость по физическому методу

эдры доломита, причем в породе № 348 доломитизация довольно равномерная (фиг. 12), в породе же № 350 доломит распределен крайне неравномерно: имеются участки чистого известняка (фиг. 13) с 34% пор, преимущественно мелких (0.02—0.2 мм), и участки почти чистого доломита (фиг. 14), пористость которых составляет 15%, а размеры пор 0.2—0.6 мм. На участках, богатых кальцитом, часты соединяющиеся поры.

Пористость породы № 348 составляет в среднем 5%, но на отдельных участках она сильно колеблется, от 0.4 до 23.6%, достигая в выветрелой рыхлой корочке (выветривание по трещинам породы) 39—49%. В участках с повышенной пористостью часты крупные соединяющиеся поры.

В породе № 350 микрослоистость выражена или ориентированным расположением фауны (на богатых кальцитом участках) или наличием среди доломитовых зерен слоев, обогащенных пелитоморфным кальцитом и со слоистым же расположением удлиненных пор (на участках, обогащенных доломитом).

В породах встречается незначительное количество бурых окислов железа, а в породе № 350 присутствует еще кварц в пустотках органических остатков.

Структура породы № 350 колеблется от преобладающей диспергентной (включительно до чистого известняка) до синдетической на участках, богатых доломитом (83—92% доломита).

В этих породах встречаются микротрещинки (в обр. № 350 они выражены лишь на сильно доломитизированных участках), частью заполненные вторичным кальцитом.

Механические свойства этих пород остаются еще очень высокими, но, в соответствии с их общей большей пористостью и ее характером, их водопоглощение и коэффициенты фильтрации (обр. № 350), а также преобладание в их составе пелитоморфного кальцита, кладут уже резкую грань между стойкостью этих пород и пород предыдущих групп. По упомянутым показателям эти породы не могут считаться устойчивыми при воздействии на них агрессивной среды и резкой смене физических условий. Порода № 348 в связи с большей своей плотностью обладает более значительной механической прочностью, чем порода № 350; прямые определения коэффициента фильтрации, за отсутствием материала, произвести не удалось, но в виду намекающегося соответствия между значением водопоглощения и коэффициентами фильтрации, иллюстрируемого приводимыми ниже данными, надо ожидать значения этого последнего выше $1 \cdot 10^{-7}$. Это обстоятельство, при одинаковом петрографическом характере, обуславливает одинаковую оценку устойчивости этой породы с породой № 350.

Сравнивая величины водопоглощения со средним коэффициентом фильтрации, мы получаем следующие соотношения:

Весовое водопоглощение	Коэффициент фильтрации		
Меньше 3% От 0.57 до 2.18% Среднее 1.17%	№ 340	$0.1038 \cdot 10^{-7}$	Среднее $0.420 \cdot 10^{-8}$
	№ 341	$0.7668 \cdot 10^{-8}$	
	№ 342	$0.118 \cdot 10^{-8}$	
	№ 343	$0.187 \cdot 10^{-9}$	
	№ 344	$0.3045 \cdot 10^{-7}$	
	№ 345	$0.7062 \cdot 10^{-7}$	
	№ 349	$0.7236 \cdot 10^{-7}$	
Больше 3% От 3.03 до 9.69% Среднее 5.92%	№ 346	$0.433 \cdot 10^{-5}$	Среднее $0.300 \cdot 10^{-5}$
	№ 347	$0.2073 \cdot 10^{-4}$	
	№ 350	$0.1722 \cdot 10^{-5}$	
	№ 351	$0.110 \cdot 10^{-5}$	
	№ 352	$0.5844 \cdot 10^{-6}$	

Породы 4-й группы (см. табл. 5). Породы № 346, 347, 351 и 352 представляют собой преимущественно чистые органогенные известняки со следами доломита; только в породе № 346 содержание последнего поднимается до 15%. Породы сильно пористые (от 19 до 56% пор по микроскопии или от 16.35 до 24% пор по физическому методу определения). Известняки эти хрупки и поэтому часто крошатся при изготовлении аншлифов, в результате чего по подсчету в аншлифах получаются увеличенные цифры для пористости.

Макроскопически это светлые, слегка желтоватые породы с шероховатым изломом; при ударе сминаются. Невооруженным глазом в них различимы иногда более крупные фораминиферовые раковины, криноидеи, а иногда, как например в породе № 351, и крупные кораллы до нескольких сантиметров величиной. Чаше, однако, органические сростки хорошо различимы лишь под лупой или на полированной поверхности. Видны также немногочисленные порфиробласты кальцита величиной 1—4 мм.

Под микроскопом породы в основном состоят из пелитоморфного и криптокристаллического кальцита, слагающего органические остатки. Среди последних в породе № 346 преобладают фузулины и водоросли, а в остальных — фузулины. Встречаются в меньшем количестве криноидеи (монокристаллы кальцита), еще реже обломки брахиопод, остракоды, кораллы. Размер фузулиновых раковин: в № 346 — 0.35—2.0 мм, в № 347 — 0.40—5.0 мм; в № 351 — 0.5—3.5 мм, в № 352 — 1.4—2.4 мм. Размер водорослей: в № 346 — 2×0.3 мм; в № 347 — 1.8×0.15 мм. Размер остатков криноидей: в № 346 — 1.2 мм, в № 347 — 0.85—2.5 мм, в № 351 — 0.2—3.5 мм, в № 352 — 0.4—2.0 мм.

Количество цементирующей раковины кальцитовый массы очень незначительно, и часто наблюдается непосредственное соприкосновение раковин друг с другом. Эта цементирующая масса в большинстве случаев представлена пелитоморфным и криптокристаллическим кальцитом, реже с участием микрокристаллического; лишь в породе № 352 цементирующий кальцит более крупнозернистый — микрокристаллический, с размером зерен в 0.2 мм, а на отдельных участках этой породы встречаются скопления зерен вторичного кальцита размером до 0.08—0.17 мм. Порода № 352 имеет характер частично перекристаллизованной, причем выделение вторичного кальцита понизило несколько ее пористость.

На ряду с кальцитом и доломитом во всех породах в очень небольшом количестве встречаются образования бурых окислов железа и кварца, а в нерастворимом остатке образца № 346 также пирит. Во всех образцах намечается горизонтальная слоистость, обусловливаемая ориентированным расположением раковин.

Характер пористости пород этой группы передает микрофото фиг. 15. Можно различать поры за счет незаполненных пустоток-камер внутри органических остатков и поры между органическими остатками, имеющие обычно неправильную форму. Часты в этих породах соединяющиеся поры, особенно характерные для породы № 347.

Физико-механические свойства пород этой группы, при сравнении с предыдущей, характеризуются постепенным ухудшением в связи с возрастающей пористостью как абсолютной, так и открытой. Это ухудшение прослеживается последовательно от породы № 352, еще очень близко стоящей к породе № 350 предыдущей группы, через породу № 351 и № 346 к породе № 347, наиболее пористой и имеющей наиболее высокий коэффициент фильтрации. Более высокие свойства породы № 352 находятся в полном соответствии с указанной выше некоторой ее перекристаллизацией и частичным выполнением пор вторичным кальцитом. Наиболее низкие свойства породы № 347 также вполне согласуются с максимальной ее пористостью и характером пор, соединяющихся между собой.

Таблица 5

Характеристика пород 4-й группы

№ образцов	Содержание (в %)		Колебания в содержании кальцита (в объемн. %)			Пористость (в %)			Размер пор (в мм)	Размер зерен доломита (в мм)	Преобладающий характер кальцита	Количество кальцевого цемента между органическими остатками	Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водонасыщенном состоянии (в кг/см ²)				Средний коэффициент фильтрации
	доломит	кальцит				средняя	от	до							раздавливание	излому	разрыву		
			от	до															
346	$\frac{15^*}{8.3^{**}}$	$\frac{85^*}{91.7^{**}}$	73	92	$\frac{45^1}{21.6^2}$	36.1	52.3	0.05—0.2 и до 1.2	0.08—0.29	Пелитоморфный и микрокристаллический, фузулины и водоросли. То же, преобладают фузулины	Очень небольшое	18.16	0.71	409	110	29	$0.433 \cdot 10^{-5}$		
347	$\frac{сл.^*}{2.4^{**}}$	$\frac{100^*}{97.6^{**}}$	100	100	$\frac{56^1}{24.53^2}$	51.5	64.0	0.02—0.2 и соединяющиеся до 2	0.06—0.12	То же	То же	19.50	0.74	270	78	18	$0.2073 \cdot 10^{-4}$		
351	$\frac{сл.^*}{3^{**}}$	$\frac{100^*}{97^{**}}$	100	100	$\frac{32^1}{19.93^2}$	30.0	36.1	0.05—0.17	—	То же	То же	11.15	0.58	551	99	49	$0.110 \cdot 10^{-5}$		
352	$\frac{сл.^*}{1.7^{**}}$	$\frac{100^*}{98.3^{**}}$	100	100	$\frac{18^1}{16.35^2}$	14.0	23.0	0.06—0.2	—	Пелитоморфный и в значительной степени микрокристаллический (0.02 мм). Преобладают фузулины. Вторичный кальцит (0.08 — 0.17мм)	Незначительное	11.08	0.68	609	104	38	$0.5844 \cdot 10^{-6}$		

* По подсчету под микроскопом (объемн. %).

** По химическому анализу (вес. %).

1 По подсчету под микроскопом.

2 Абсолютная пористость по физическому методу.

Породы 5-й группы. Сюда относится афанитовый известняк № 353.

Содержание доломита по химическому анализу 0.9%, по микроскопическому 0%. Пористость по микроскопии $< 1\%$, по физическому определению 0.91%.

По внешнему виду это светлая желтоватая порода, плотная, с раковистым изломом. Сложение афанитовое, под лупой видны блески кристаллов кальцита.

Порода хрупкая, склонна к раскалыванию на неправильные куски.

Под микроскопом представляет исключительно тонкозернистый криптокристаллический известняк. Основная масса имеет зерно 0.002—0.007 мм. Довольно часты также неправильно изометрические выделения более крупного кальцита от 0.03 мм и до 0.1 мм. Наблюдаются редкие включения кварцевых зернышек и спорадические включения углистого вещества. Характерна большая равномерность зернистости. В породе наблюдаются тонкие прямолинейные трещинки, идущие системами по различным направлениям.

Вдоль трещин порода принимает по краям ее на 0.05 мм слабую буроватую окраску. Макроскопически иногда наблюдается осветление породы на 3—4 мм от трещины. Пористость очень незначительна, меньше 1%, и чрезвычайно тонкая — от 0.002 до 0.006 мм в диаметре.

Физико-механическая характеристика

Свободное насыщение через 45 дней (в объемн. %)	Коэффициент насыщения через 45 дней	Временное сопротивление в водонасыщенном состоянии (в кг/см ²)			Средний коэффициент фильтрации
		раздавливанию	излому	разрыву	
0.86	около 1.00	2015	333	122	—

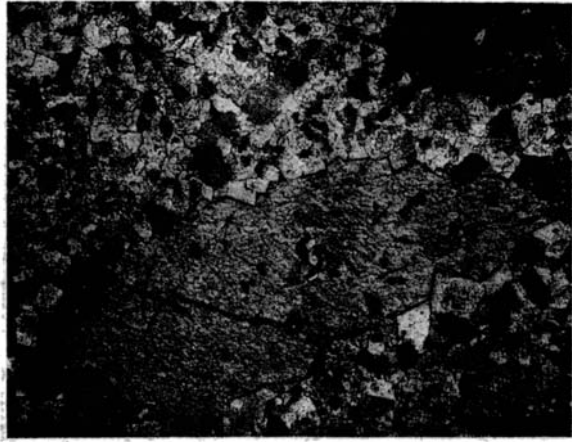
Известняк № 353, несмотря на такие очень высокие свойства, вследствие своей хрупкости и тонкой трещиноватости способен раскалываться по всевозможным направлениям на неправильные, иногда мелкие куски. Это явление, вероятно, надо связывать с наличием неравномерно распределенных напряжений, генетически связанных со своеобразным физическим строением породы. В виду такой особенности данный тип известняков не может считаться достаточно устойчивым и прочным.

Данные микроскопического исследования и физико-механических испытаний убедительно показывают, что прочность и устойчивость изучаемых карбонатных пород в основном определяется петрографическими признаками — особенностями состава и структуры.

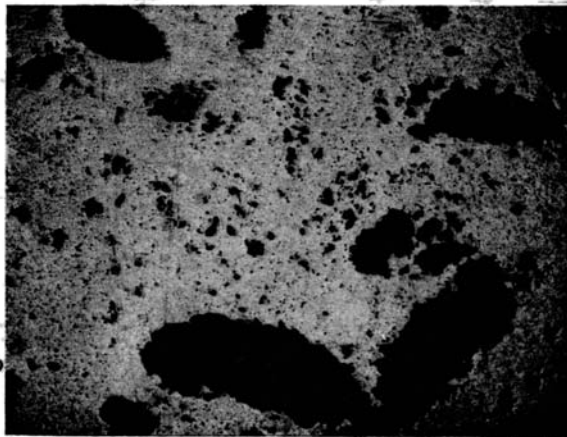
Основными определяющими факторами являются степень доломитизации, структурные соотношения доломита и кальцита, количество и характер пор.

Дополнительными факторами, часто вносящими существенные изменения и дополнения в физико-механическую характеристику пород, обусловленную основными факторами, служит характер кальцита (крупность его зерна — пелитоморфный или более крупнозернистый), отложение вторичного кальцита, заполняющего трещины и поры, явление перекристаллизации пород, их микротрещиноватость.

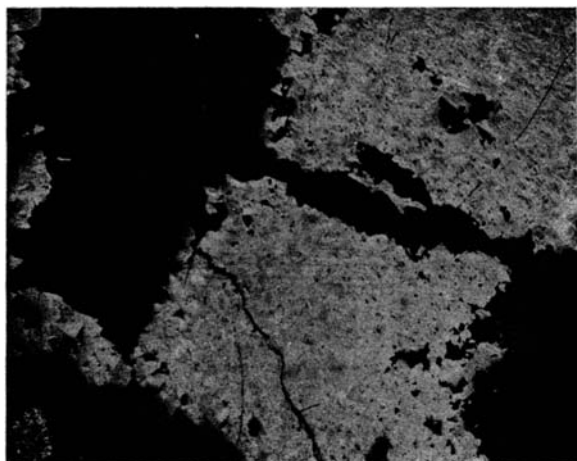
Физико-механические исследования в известной части служат необходимым дополнением к петрографическим, уточняя результаты последних всесторонним освещением пористости, связанной с ней влагоемкости, морозоустойчивости. В большей же своей части данные этих исследований представляют собой отражение петрографических особенностей пород, являясь в то же время конкретным подтверждением и доказательством.



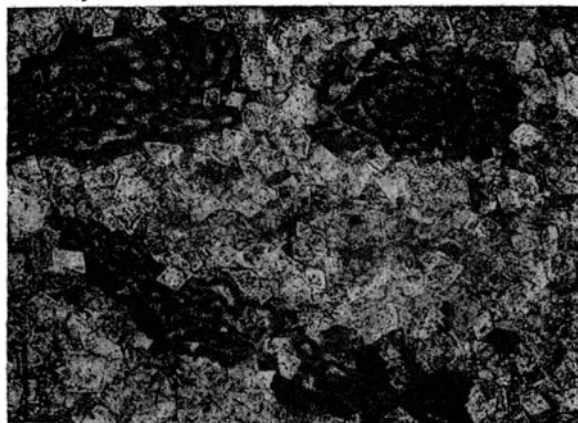
Фиг. 1. Фузулиновая полость в доломите № 344, заполненная вторичным кальцитом. ↑ Проходящий свет, николи скрещены, $\times 20$.



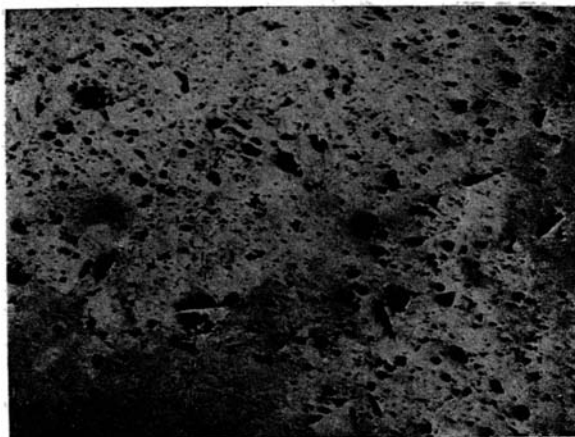
Фиг. 2. Крупные «фузулиновые» поры в доломите № 342. Отраженный свет, $\times 4$.



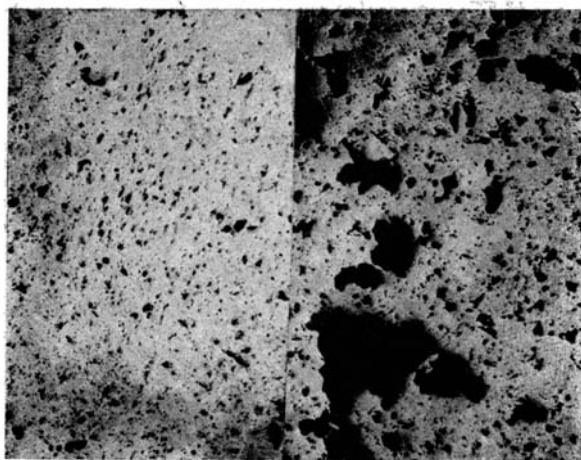
Фиг. 3. Крупные поры, соединенные трещинкой в доломите № 344. Отраженный свет, $\times 17$.



Фиг. 4. Остатки фузулин в доломите № 340. Проходящий свет, николи параллельны, $\times 20$.



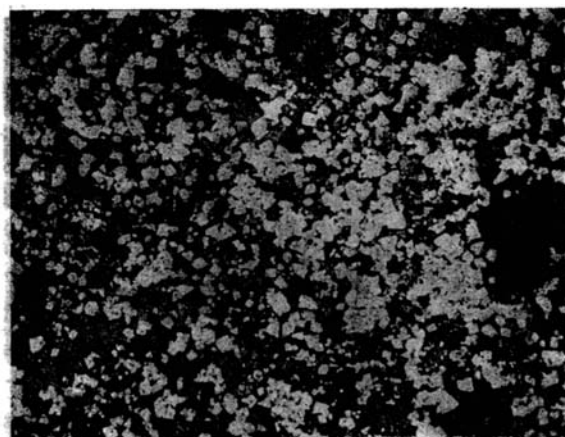
Фиг. 5. Незначительная пористость в доломите № 340.
Отраженный свет, $\times 45$.



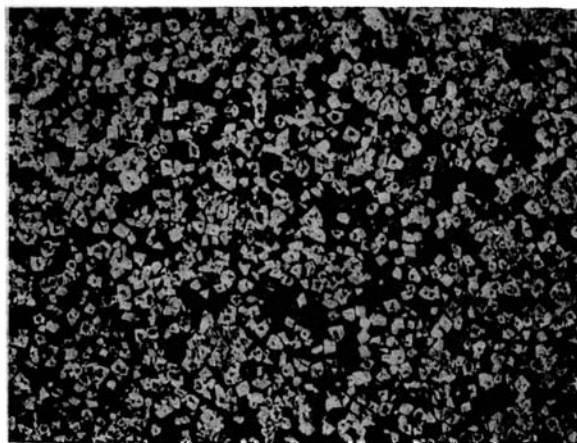
Фиг. 6. Пористость доломита № 343: мало пористый участок породы (слева) и участок с повышенной пористостью (справа). Отраженный свет, $\times 45$.



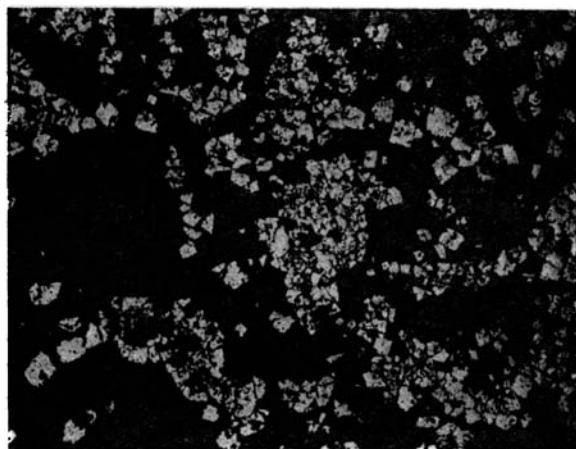
Фиг. 7. Синдетическая структура доломита № 340 после травления аншлифа HCl. Отраженный свет, $\times 17$.



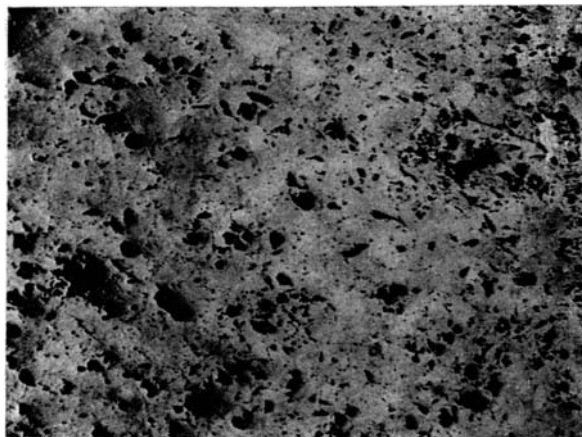
Фиг. 8. Диспергентная структура в доломите № 345 после травления аншлифа HCl. Отраженный свет, $\times 17$.



Фиг. 9. Диспергентная структура в доломитизированном известняке № 341 после травления аншлифа HCl . Отраженный свет, $\times 17$.



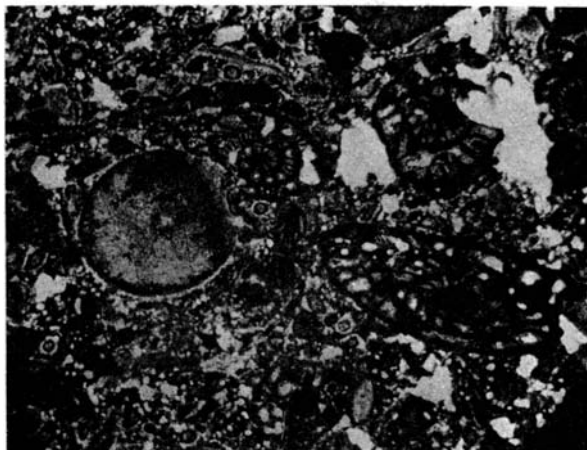
Фиг. 10. Диспергентная структура в доломитизированном известняке № 349 после травления аншлифа HCl . Отраженный свет, $\times 17$.



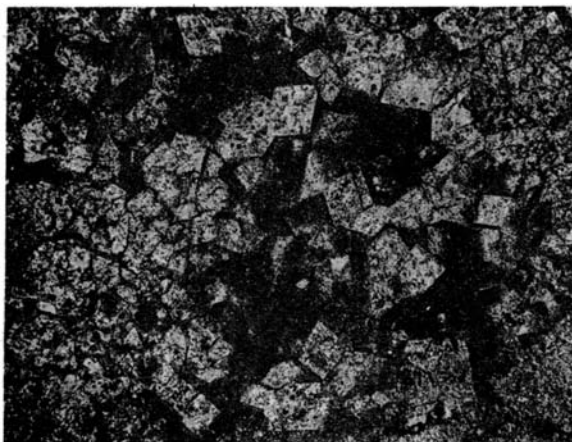
Фиг. 11. Незначительная пористость доломита № 341.
Отраженный свет, $\times 15$.



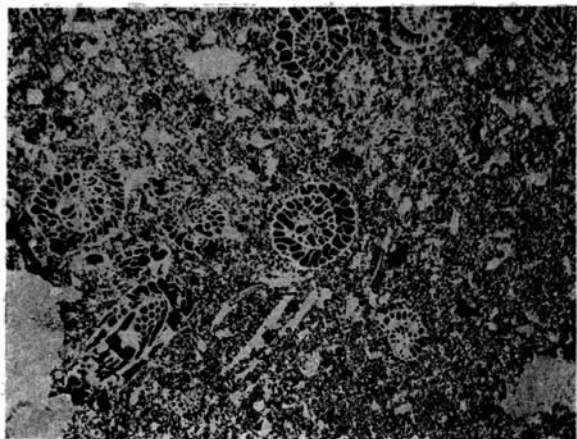
Фиг. 12. Доломитизация водорослевого известняка
№ 348. Проходящий свет, николи параллельны, $\times 75$.



Фиг. 13. Недоломитизированный участок органогенного известняка № 350. Проходящий свет, николи параллельны, $\times 10$.



Фиг. 14. Сильно доломитизированный участок породы № 350. Проходящий свет, николи параллельны, $\times 35$.



Фиг. 15. Пористость в известняке № 346. Отраженный свет, $\times 4$.



Фиг. 19. Образец № 340 после испытания по Шору.

ством правильности петрографического прогноза, а иногда и существенным коррективом.

Учитывая все эти соотношения, мы получаем достаточно четкую, единую структурную и физико-механическую классификацию наших пород.

Первая группа (доломиты) характеризуется высоким содержанием доломита, синдетической структурой, довольно значительным количеством крупных пор, повторяющих очертания фузулиновых раковин; поры замкнутого типа; в кальцитовой составляющей преобладают микро- и крупнокристаллические зерна. Этому отвечает малое водопоглощение и, соответственно, малая фильтрация, достаточно высокий объемный вес и достаточно высокая прочность.

Вторая группа (доломиты) близка к первой. Ее особенностями являются: также высокое содержание доломита, но в соединении с участками, обогащенными кальцитом (до 40%); преобладание синдетической структуры; отсутствие макропористости и незначительная общая пористость замкнутого характера; наличие в равной степени и вторичного и пелитоморфного кальцита. В соответствии с этими петрографическими особенностями породы этой группы обладают высоким объемным весом, выдающейся прочностью, малым водопоглощением и фильтрацией.

Третью группу — А (доломитизированные известняки) составляют породы со значительным содержанием кальцита (40—50%), диспергентной структурой, с пористостью, и по количеству и по характеру близкой к пористости предыдущей группы, с преобладанием пелитоморфного кальцита. Породы эти, вследствие возрастания в их составе кальцита, имеют несколько более низкий объемный вес, чем предыдущая группа; прочность их, в связи с малой пористостью, остается выдающейся. Водопоглощение и фильтруемость сохраняются также достаточно низкими. По всем этим свойствам породы этой группы приближаются к предыдущим двум, отличаясь от них потенциально более слабой сопротивляемостью химической и частично физической агрессии.

В третью группу — В входят породы, по составу и структуре близкие к породам 3-й группы А, но более богатые кальцитом, с весьма неоднородным распределением пор, часто соединяющихся между собой. Эти отличия сильно сказываются в повышении их водопоглощения, фильтрации и на потенциальной сопротивляемости химическому и физическому выветриванию. Прочность их остается высокой, особенно в плотных разностях. Объемный вес сильно колеблется.

Породы четвертой группы — органогенные известняки, чистые или слабо доломитизированные, с очень высокой пористостью и наличием соединяющихся пор. Они характеризуются соответственно низким объемным весом, высоким водопоглощением и фильтруемостью и, в большинстве случаев, сниженной прочностью.

Пятая группа представлена афанитовым известняком, чрезвычайно высокой плотности и прочности, с очень низким водопоглощением. Характеризуется тонкой трещиноватостью и способностью вследствие этого к раскалыванию на неправильные осколки.

Приведенная группировка основана на сравнительно небольшом количестве образцов. Тем не менее она охватывает почти все типы пород Ширяевского района горизонта C_3^b , подвергшихся массовому обследованию по предложенному нами методу Лабораторией строительства. Только один тип плотных органогенных известняков высокой прочности не вошел в приведенные здесь группы. Эти группы вытекают совершенно естественно из выведенных фактических соотношений, что служит гарантией правильности принципов группировки. Очевидно, что они должны лечь в основу классификации карбонатных пород Ширяевского района для практических целей. Применение такой классификационной схемы к оценке отдельных слоев и даже каждого конкретного образца

ярод горизонта C_3^b требует, конечно, учета чрезвычайной неоднородности пород этого горизонта, проявляющейся очень резко как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Глава 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПО МЕТОДУ ГИРШВАЛЬДА

Результаты сравнительного изучения карбонатных пород выявили определенные соотношения между структурой и составом этих пород и их физико-механическими свойствами, а также привели к определенным выводам в отношении оценки их прочности и устойчивости. Представляло большой интерес сравнить эти результаты с теми данными, которые получаются при изучении устойчивости наших пород по методу Гиршвальда. По мотивам, изложенным нами уже в «Введении», приложение этого метода к исследованию долговечности изучаемых пород само по себе представлялось нам чрезвычайно желательным. В виду того, что методика эта в применении к конкретным породам нигде не излагалась достаточно полно и последовательно, мы считали полезным привести ее здесь в таком виде, чтобы изложение ее позволило более широкому кругу работников уяснить и использовать метод Гиршвальда, несомненно, несмотря на свою громоздкость, заслуживающий большего внимания, чем то, которое ему уделялось до сих пор русскими исследователями. Может быть, сложность и некоторая условность гиршвальдовского метода проявилась более резким образом именно в применении к таким неоднородным и сложным по своей физической структуре породам, как карбонатные породы Самарской Луки. Соответственно с этим оказалось необходимым внести некоторые дополнения и коррективы в толкование таких коэффициентов и понятий, применяемых Гиршвальдом, как коэффициент насыщения, пористость и т. п. Приложение этого метода к исследованию долговечности плотных и однородных пород, таких как мраморы, кварциты, граниты и т. п., несомненно дает более надежные результаты с меньшей затратой труда.

1. Вычисление структурных формул

В основу определения степени долговечности пород Гиршвальд кладет так называемое «качественное число», выводимое им из элементов структуры породы и основных физико-механических коэффициентов.

При составлении формулы «качественного числа» для карбонатных пород Гиршвальд пользовался приводимыми ниже структурными соотношениями и номенклатурой.

1. Размер зерна

В основу характеристики структур известняков и доломитов положено разделение их по крупности составляющих зерен карбонатов. Различаются известняки (доломиты):

макрокристаллические (А)	с крупностью зерна выше	0.75 мм
мезокристаллические (В)	» » от . 0.75 до 0.25 »	
микрористаллические (С)	» » » . 0.2 » 0.01 »	
криптористаллические (D ₁)	» » » . 0.01 » 0.005 »	
пелитоморфные (D ₂)	» » » . 0.005 » 0.003 »	

2. Характеристика структуры

В пределах интересующих нас ширяевских карбонатных пород мы встречаемся с последними группами структур, начиная с С — микрористаллической. Эти структуры подразделяются следующим образом:

- C_1 — равномерная микрокристаллическая, с резкими границами зерен.
- C_2 — микрокристаллическая, с резкими границами зерен, с довольно богатыми мезокристаллическими включениями.
- C_3 — микрокристаллическая, с несовершенным срастанием зерен, с порами, заполненными глинистым или охристым веществом.
- C_4 — микрокристаллическая равномерная, без резких границ зерен.
- C_5 — микрокристаллическая без резких границ зерен, с довольно богатыми мезокристаллическими включениями.
- $\frac{C_{1-5}}{(D_1)}$ — преобладающая микрокристаллическая и подчиненная криптокристаллическая структура.
- $\frac{C_{1-5}}{D_1}$ — преобладающая микрокристаллическая структура на ряду с очень богатыми криптокристаллическими образованиями.
- $\frac{D_1}{(C)}$ — преобладающая криптокристаллическая структура с подчиненной микрокристаллической.
- $\frac{D_1}{(D_2)}$ — господствующая криптокристаллическая структура с подчиненной пелитоморфной.
- $\frac{D_1}{D_2}$ — криптокристаллическая и пелитоморфная структура примерно в одинаковом соотношении.
- $\frac{D_2}{D_1}$ — господствующая пелитоморфная структура с подчиненной криптокристаллической.

Криптокристаллическая структура характеризуется Гиршвальдом, как обнаруживающая при сильном увеличении (400 — 600 $\times$) слабо сросшиеся друг с другом кристаллоиды, которые не имеют всестороннего резкого ограничения зерен, но еще очень резко действуют на поляризованный свет.

Пелитоморфная характеризуется агрегатом тончайших округлых кальцитовых зернышек, очертания которых не поддаются точному определению, в большинстве случаев с очень слабым, но еще отчетливо уловимым действием на поляризованный свет.

3. Характер сцепления зерен

- b_1 — непосредственное срастание.
- b_2 — срастание зерен посредством микрокристаллической зернистой кальцитовой промежуточной массы.
- b_3 — срастание посредством криптокристаллической промежуточной массы.
- b_4 — срастание посредством пелитоморфной промежуточной массы.
- b_5 — срастание посредством мергелистой, глинистой или охристой промежуточной массы.

4. Степень непрерывности сцепления зерен

- β_1 — совершенно плотное соединение зерен.
- β_2 — довольно плотное соединение зерен.
- β_3 — сравнительно неплотное соединение зерен.
- β_4 — очень неплотное соединение зерен.

5. Равномерность размеров зерен

- g_1 — равномернозернистая структура
- g_2 — довольно равномернозернистая структура
- g_3 — довольно неравномернозернистая структура
- g_4 — очень неравномернозернистая структура
- g_5 — очень неравномернозернистая структура с мелкими зернами, группами, заключенными между взаимосвязанными большими зернами.

6. Степень пористости

- p — совершенно плотное строение
- p_1 — тонкопористое строение
- p_2 — мелкопористое строение
- p_3 — грубопористое строение

p_4 — ячеистое строение
 p_5 — слабокавернозное строение
 p_6 — глубококавернозное строение

Изученные по вышеописанному способу шлифы позволили определить следующие структурные формулы:

№ 340	от	C_1	$b_1\beta_{1-2}g_4p$	до	C_1	$b_4\beta_{1-2}g_4$	p^1
№ 341	»	C_1	$b_2\beta_2g_2p$	»	C_1	$b_4\beta_2g_2$	p
№ 342	»	C_2	$b_1\beta_{1-2}g_3p_3$	»	C_3	$b_4\beta_{1-2}g_3^1$	p_3^1
№ 343	»	C_2	$b_1\beta_3g_4p_{1-2}$	»	C_2	$b_3\beta_3g_{3-4}$	p_{1-3}
№ 344	»	C_{1-2}	$b_1\beta_{1-2}g_3p_3$	»	C_{1-2}	$b_3\beta_{1-2}g_3$	p_3
№ 345	»	C_1	$b_1\beta_1g_2p_1$	»	C_1	$b_3\beta_2g_2$	p_1

$$\text{№ 346 } \frac{D_1}{C} b_{3-4} \beta_3 g_4 p_2$$

$$\text{№ 347 } \frac{D_1}{D_2} b_{3-4} \beta_3 g_4 p_2$$

$$\text{№ 348 от } \frac{C_1}{D} b_3 \beta_2 g_3 p \text{ до } \frac{D_1}{C} b_3 \beta_3 g_4 p_{2-3}$$

$$\text{№ 349 } \frac{C_1}{D} b_{3-4} \beta_3 g_3 p$$

$$\text{№ 350 } \frac{D_1}{C} b_{3-4} \beta_3 g_4 p_{1-2}$$

$$\text{№ 351 } D_2 b_4 \beta_3 g_4 p_1$$

$$\text{№ 352 } \frac{D_1}{C} b_{3-4} \beta_3 g_4 p_1$$

II. Характеристика пористости и процессов водонасыщения

Для вычисления качественного числа «Q» необходимо полученное на основе структурных формул значение Q_1 дополнить поправочными числами, получаемыми из соотношения различных физико-механических показателей.

В виду того, что в пористом теле механические усилия и деформации распространяются только по той его части, которая составляет как бы скелет, необходимо учитывать влияние пор на механическую прочность.

Определение пористости, являющейся, пожалуй, самой важной константой при суждении о пригодности карбонатных пород в гидротехническом строительстве, — весьма нелегкое дело.

Для расчетов долговечности мы приняли пористость, определенную из соотношений удельного и объемного веса (табл. 6).

Объемный вес нами приводится по объемам образцов, предназначенных для испытаний. Ошибка в определении несоизмеримо мала в сравнении с колебаниями объемных весов, вызванными неоднородностью материала.

Удельный вес определен на пробе, полученной квартованием из 1.5—2 кг породы, причем куски отбивались от разных мест блока. Средний объемный вес выведен из наблюдений над 16—20 образцами. Таким образом, цифры пористости, приведенные в табл. 6, можно считать удовлетворительно отвечающими истинным значениям.

В пористом теле нагрузку воспринимает не все сечение образца, а лишь та его часть, которая лишена пор. Таким образом, для сопоставления цифр, получаемых при испытании образцов с различной пористостью, нужно исключить ее влияние на прочность, что делается из следующих соображений.

Допустим, что порода состоит из зерен округлой формы (шаров). Каждый из этих шаров соприкасается с другим по некоторой элементарной плоскости /, проекция которой на плоскость чертежа — A_1B_1 (фиг. 16).

¹ Участки со структурой, характеризуемой срастанием зерен через пелитоморфную массу (b), малы и при расчете теоретической долговечности во внимание не принимались.

Определения объемных весов и пористости

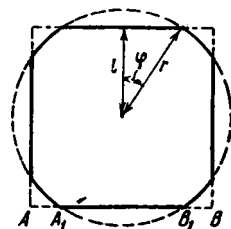
Лаборат. № образцов	Удель- ный вес	Объемный вес по обмерам кубиков			Пористость по обмерам кубиков		
		максим.	миним.	средний	максим.	миним.	средняя
340	2.8306	2.758	2.687	2.728	5.07	2.56	3.62
341	2.8378	2.763	2.582	2.638	9.02	2.64	7.04
342	2.8523	2.680	2.350	2.524	17.61	6.04	11.51
343	2.8215	2.735	2.639	2.683	6.47	3.07	4.91
344	2.8224	2.709	2.440	2.560	13.55	4.02	9.30
345	2.8386	2.708	2.552	2.622	01.10	4.60	7.63
346	2.7241	2.201	2.091	2.139	23.24	19.24	21.48
347	2.7231	2.245	1.910	2.055	29.86	16.56	24.53
348	2.8301	2.682	2.605	2.655	7.95	5.23	6.19
349	2.8149	2.690	2.227	2.527	20.89	4.44	10.23
350	2.7492	2.484	2.279	2.283	17.10	9.65	13.32
351	2.6977	2.224	2.072	2.160	23.10	17.69	19.93
352	2.6874	2.282	2.205	2.248	17.95	15.09	16.35
353	2.7036	2.723	2.628	2.679	2.80	—	0.91

Сумма этих элементарных плоскостей f и является той частью сечения образца, которая воспринимает нагрузку. Все сечение образца можно рассматривать как сумму элементарных площадей F , являющихся гранями воображаемых кубов, образованных продолжением плоскостей пересечения шаров f и заполняющих собой пространство. Проекция грани F на плоскость чертежа — AB .

Величина плоскости f зависит от степени сближения воображаемых шаров с радиусом r , т. е. от величины пористости.

Зависимость f от F может быть найдена путем геометрического решения, приведенного Гиршвальдом в его книге.

$$f = F \left[\frac{-18 \cos \frac{2}{3} \varphi + 36 \sin \frac{\varphi}{3} + 11}{64} \cdot \pi \right]$$



Фиг. 16. Схема соприкосновения круглых зерен, составляющих породу.

Так как сумма плоскостей F является сечением испытываемого образца, а сумма плоскостей f — той его частью, которая фактически несет нагрузку при испытании, нужно получаемые на приборе значения прочности разделить на величину f , а не F .

Если принять $F=100$, то для различных значений пористости будут получаться различные значения f , приведенные в табл. 7, в которой помещены также значения приведенных временных сопротивлений разрыву, а также пересчитанные значения.

Влияние приведенного временного сопротивления учитывается далее при выводе качеств числа Q (см. табл. 11).

Большое значение имеет характер процессов водонасыщения, так как от него зависит морозостойкость камня. По Гиршвальду, различаем водонасыщение свободное, зависящее от количества открытых пор, и принудительное, при котором заполняются все поры камня, в том числе и замкнутые.

Свободное насыщение измеряется количеством воды, проникшей в поры камня при медленном его погружении и выдержке в воде до постоянного веса.

Зависимость временных сопротивлений разрыву от пористости

№ породы	Пористость в объемн. % Р	Кэф-фициент f	Временное сопротивление разрыву водонасыщенных образцов (в кг/см ²)	
			истинное (наблюдавшееся)	приведенное
340	3.62	0.78	76	99
341	7.04	0.63	43	68
342	11.51	0.51	51	100
343	4.91	0.72	83	115
344	9.30	0.57	28	49
345	7.63	0.62	70	113
346	21.48	0.33	29	88
347	24.53	0.28	18	64
348	6.19	0.67	74	110
349	10.23	0.55	134	248
350	13.32	0.48	43	90
351	19.93	0.35	49	140
352	16.35	0.41	38	109
353	0.91	0.94	122	130

В наших опытах медленного погружения вода добавлялась по каплям с таким расчетом, чтобы образцы оказались покрытыми водой через 4 часа.

Принудительное водонасыщение производилось следующим образом: образцы, погруженные в воду, выдерживались в вакуумкамере при давлении 20 мм ртутного столба до окончания выделения пузырьков воздуха (растворенного и содержащегося в порах), что наступает обычно через 4 часа. После этого находящиеся в воде образцы подвергались в течение 24 часов давлению в 150 атм.

Свободное насыщение, как правило, достигает предела через 30 дней. Коэффициент насыщения

$$S = \frac{\text{свободное насыщение}}{\text{принудительное насыщение}}$$

характеризует отношение открытых пор к закрытым порам. Исходя из того, что вода, замерзая, расширяется приблизительно на 9%, Гиршвальд считает, что теоретически при $S = 0.9$ порода может считаться морозостойкой. В виду того, что в природе или в сооружении не все поры заполняются одинаково, Гиршвальд предлагает считать предельным, т. е. обеспечивающим морозостойкость, значение коэффициента насыщения $S = 0.8$. Эта цифра установлена им эмпирически, на основании определения S для 1200 различных горных пород.

В виду большой неоднородности ширяевских пород нами были поставлены опыты с 10 образцами (близнецами) для каждой разновидности и для каждого метода насыщения. Регулярные взвешивания велись на протяжении 5 месяцев и привели к следующим выводам:

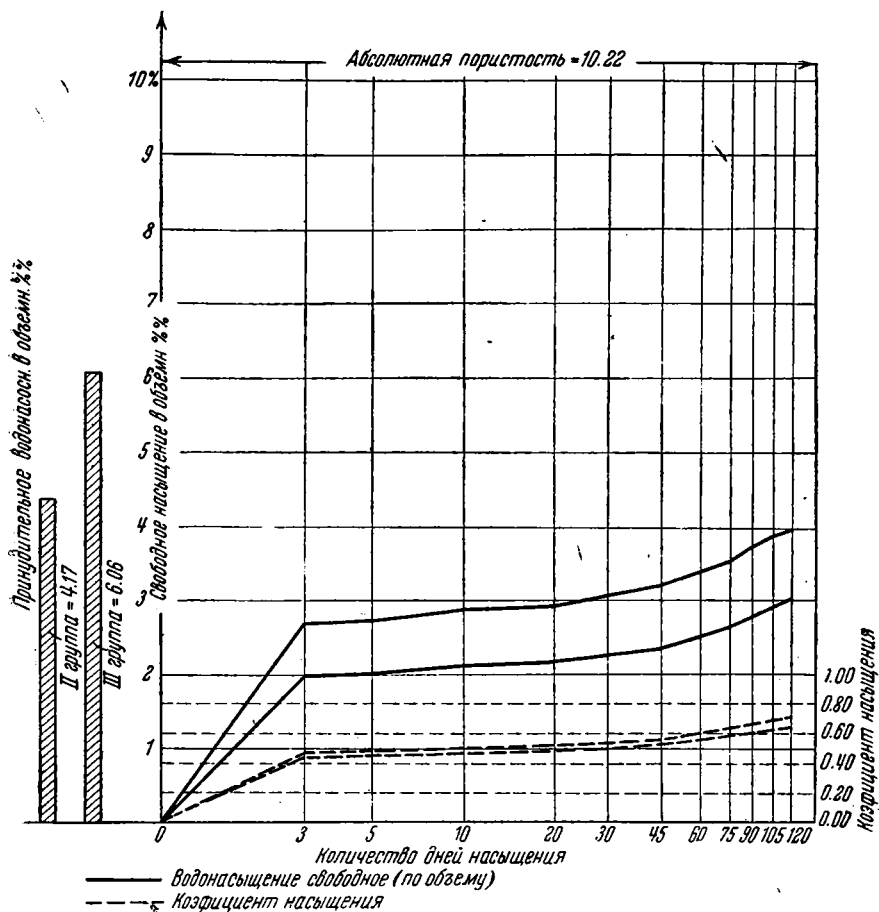
1) Коэффициент насыщения растет по мере выдерживания образцов в воде; в некоторых случаях, через достаточно большой промежуток времени, количество воды, поглощаемое камнем без давления, может превысить то количество, которое в состоянии проникнуть в поры при большом давлении (фиг. 17).

2) Процесс водонасыщения идет по медленно затухающей кривой.

3) В процессе можно, грубо говоря, выделить два периода: первый —

3—7 дней, в течение которых порода поглощает больше половины всей воды, которую она может вместить, и второй, окончание которого в настоящее время неизвестно.

4) В образцах одной и той же разновидности, но в разных группах (по пористости) ход кривой (фиг. 18) различен, т. е. между пористостью



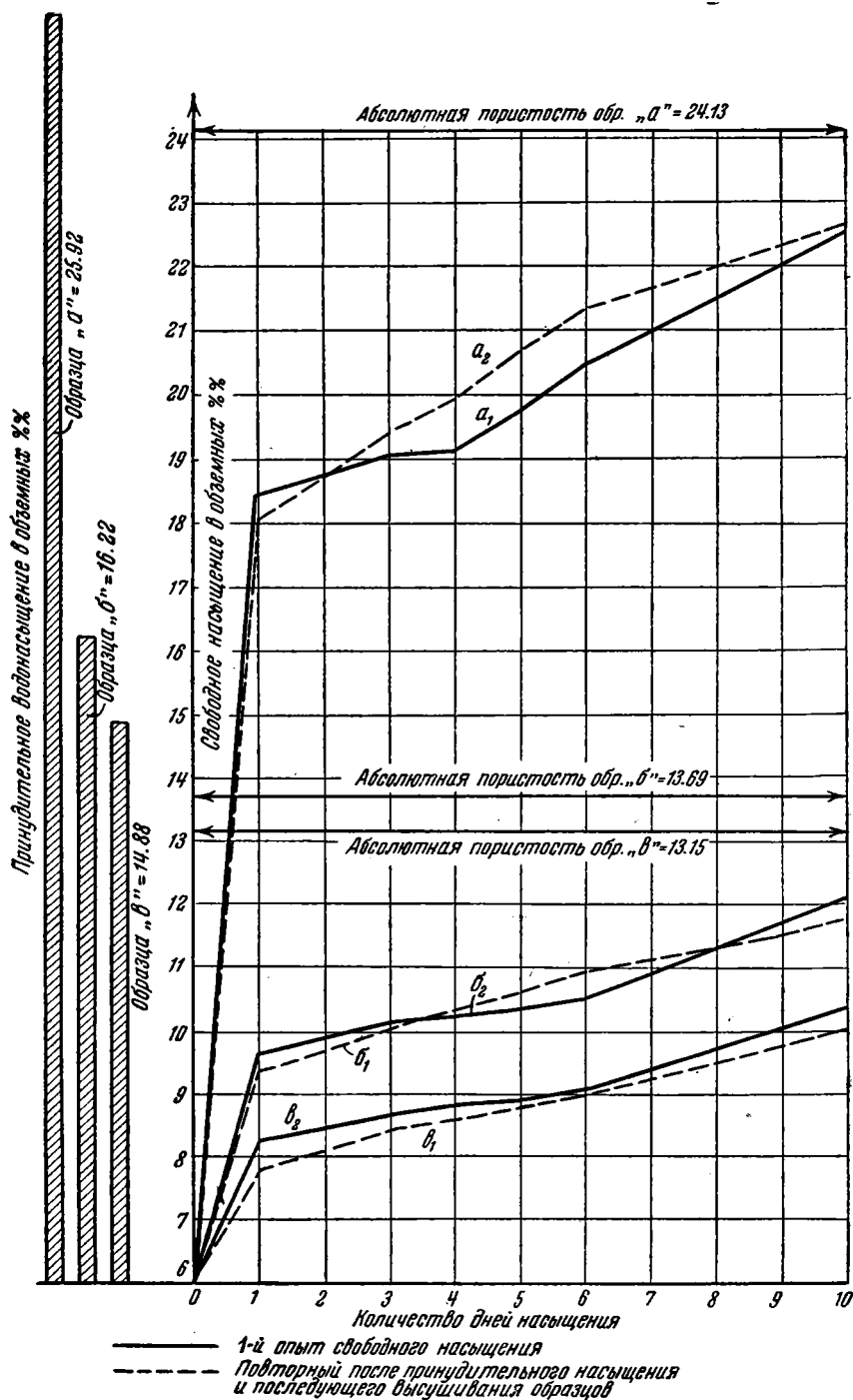
Фиг. 17. Сводный график пористости и водонасыщения. Доломитизированный известняк № 349.

и водопоглощением существует не линейная, а более сложная зависимость. Установить ее аналитически на столь разнородном материале в настоящее время нельзя.

На основании этих выводов мы пришли к убеждению, что основной показатель — коэффициент насыщения, которому Гиршвальд придает большое значение в процессе выветривания, не может быть однозначно установлен для изучаемых нами пород. Причина этого кроется, вероятно, в характере и в расположении пор. Большую, но еще неясную роль в этом процессе играет микропористость.

Из вывода 1-го вытекает важное следствие: для тех условий службы камня, при которых он будет иметь возможность постоянно поглощать воду и в то же время подвергаться периодическому замораживанию, должен быть принят коэффициент насыщения $S=1.00$, потому что через некоторый конечный отрезок времени свободно поглощенная влага достигнет предела насыщения, т. е. заполнит все поры. Указание Гирш-

вальда, что для этого достаточно 30 дней, для пород изученных нами типов неверно.



Фиг. 18. Сводный график пористости и водонасыщения. Доломитизированный известняк № 346.

Этот вопрос, однако, требует дальнейшего изучения.

В наших расчетах принят тот коэффициент насыщения, который получается в результате 45-дневной выдержки образца в воде, а именно:

№ породы	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353
S	0.59	0.84	0.42	0.63	0.43	0.63	0.71	0.74	0.81	0.57	0.60	0.58	0.68	1.00
45 дней														

45-дневный срок принят нами потому, что по наблюдениям над почти 500 образцами после 45 дней наступает некоторое замедление процесса насыщения.

Чтобы элиминировать влияние неоднородности, мы поставили опыт свободного и принудительного насыщения водой одних и тех же образцов.

Сначала образцы выдерживались 10 суток в воде при атмосферном давлении, затем, после высушивания до постоянного веса, насыщались по вышеописанному методу принудительно.

Для данного опыта мы ограничились 10-дневным насыщением, так как целью опыта было прослеживание влияния неоднородности, а не получение S через 45 дней.

Вторая задача — выяснение зависимости между принудительным водонасыщением и абсолютной пористостью — также не требовала длительного выдерживания образцов в воде. Результаты сведены в табл. 8.

Как усматриваем, коэффициенты насыщения получаются значительно более ровными и действительно могут характеризовать соотношение между открытыми и закрытыми порами.

Однако и в этой серии опытов остается справедливым замечание 2, т. е. свободное насыщение непрерывно продолжается и коэффициент S для пород данного типа является, главным образом, функцией времени и только во вторую очередь характеристикой пористости.

Особо следует остановиться на разновидности № 346 (см. фиг. 18). Здесь все определения производились на одном и том же образце; таким образом, фактор неоднородности исключен. Но, как видим из графика фиг. 18, принудительно поглощенная вода занимает объем на 13% больший, чем объем, полученный при определении абсолютной пористости.

Как известно, вода в камне может присутствовать в различных состояниях. В почвоведении и грунтоведении различают:

а) Гигроскопическую или адсорбционную воду. Это — вода, конденсирующаяся на поверхности твердой фазы и обволакивающая поверхность тонкой пленкой, толщина которой, по Маттсону (1934), для глинистых грунтов $\cong 2-3 \mu$. Молекулы этой воды занимают ориентированное положение, связаны электростатическими силами с поверхностью твердой фазы и количество этой воды меняется только при изменении относительной влажности, т. е. парциального давления.

б) Пленочную или связанную (молекулярную) воду. Эта вода удерживается в горной породе молекулярным притяжением. Пленки этой воды не могут быть отделены ни давлением в несколько десятков атмосфер, ни при центрифугировании, развивающем ускорение силы тяжести, в несколько тысяч раз превосходящее силу земного притяжения. По Бойюкозу (Цытович, 1940), эта вода остается жидкой даже при $t = -70^\circ \text{C}$. Изменения количества этой воды зависят также от парциального давления водяных паров.

в) Капиллярную воду, которая некоторыми исследователями (Кин, 1933; Versluys, 1932) делится на: 1) пендулярную (переходное состояние от пленочной), 2) фуникулярную, т. е. воду тонких открытых капилляров,¹ и 3) собственно капиллярную или, по Цункеру, «поддерживаемую». Эта капиллярная вода может быть выжата из породы давлением или центрифугированием, а также, разумеется, высушиванием.

¹ По Цункеру (1937), «подвешенную».

Таблица 8

Определение коэффициента насыщения на одних и тех же образцах

Лаборат. № образцов	Свободное водонасыщение (в % по объему)	Принудительное (в % по объему)		Коэффициент насыщения S	Пористость в %	Отношение водонасыщения к пористости	
		водонасыщение после вакуума	водонасыщение после 150 атм. давления			свободного	принудительного
341a	3.13	2.73	4.51	0.69	4.90	0.64	0.92
341б	3.20	2.56	4.58	0.70	6.10	0.52	0.75
341в	3.89	3.19	5.29	0.71	5.45	0.71	0.97
Среднее	3.41	2.83	4.79	0.70	5.48	0.62	0.88
342a	2.61	4.94	6.37	0.41	7.32	0.36	0.87
342б	3.84	7.47	9.02	0.43	10.90	0.35	0.83
342в	1.12	1.34	3.14	0.36	4.37	0.25	0.72
Среднее	2.52	4.58	6.18	0.40	7.53	0.32	0.81
346a	22.57	24.24	25.92	0.87	24.13	0.94	1.07
346б	12.13	13.21	16.22	0.75	13.69	0.89	1.19
346в	10.36	11.45	14.88	0.70	13.15	0.79	1.13
Среднее	15.02	16.30	19.01	0.77	17.00	0.87	1.13
350a	16.59	19.78	20.93	0.79	22.14	0.75	0.94
350б	17.80	21.05	22.41	0.79	23.11	0.77	0.97
350в	9.89	12.47	16.57	0.60	17.67	0.56	0.94
Среднее	14.76	17.77	19.97	0.73	20.97	0.69	0.95

Мы не входим здесь в анализ терминологии и классификации, предложенных различными авторами, так как все они разработаны для рыхлого состояния твердой фазы. Поэтому прямое перенесение на массивные горные породы понятий и формул, разработанных грунтоведами, нам представляется невозможным.

Вопрос о поведении воды в камне должен решаться при помощи своеобразного экспериментирования. Вышеописанные опыты по водонасыщению дают некоторый материал, совершенно, однако, недостаточный для разработки вопроса в целом.

В основной серии опытов отдельные отклонения могли быть объяснены общей неоднородностью доломитов и известняков, однако опыт с известняком № 346 был поставлен весьма тщательно, и констатирован-

ный факт поглощения воды на 13% больше объема пор приводит к заключению о том, что и в массивных породах мы должны иметь воду в разных состояниях и, очевидно, с разными физическими свойствами.

Нами была сделана попытка подойти к количественному определению тех погрешностей, которые возникают в результате изменения состояния воды в камне.

Были определены удельные веса доломита и кристаллического кварца. Для определения брались различные по количеству навески. Как видим из приводимой таблицы, удельные веса получились в различных навесках одного и того же минерала различными.

Доломит Зерна = 0.022 см в поперечнике				Кварц Зерна = 0.0833 в поперечнике			
Вес навески в г	Удельн. вес	Боковая поверхность навески в см ²	Колич. зерен в навеске	Вес навески в г	Удельн. вес	Боковая поверхность навески в см ²	Колич. зерен в навеске
2.8579	2.8364	274.65	180730	4.8618	2.6588	332.30	97180
1.6601	2.8264	160.11	105363	1.6185	2.6512	110.93	32445
0.6221	2.8148	60.24	39641	0.5367	2.6449	36.87	10783
0.1344	2.7989	13.08	8610	0.1870	2.6336	12.90	3773
				0.0584	2.4250	4.38	1280
				0.0259	2.3967	1.96	574

Не подлежит сомнению, что разница в значениях удельных весов, превосходящая в 20—50 раз ошибку опыта,¹ связана с уплотнением жидкости на границе с твердой фазой, так как изменение удельного веса согласуется с изменением боковой поверхности навески.

Этот опыт является предварительным в поставленной нами сейчас серии определений типов воды по методу изменения удельных весов.

III. Изучение изменений механических свойств при водонасыщении

Водонасыщение может оказывать существенное влияние на механические свойства пород. Как правило, в породах с водонасыщением выше 1—2% наблюдается некоторая потеря прочности. Это явление еще не имеет удовлетворительного объяснения. Причинами, его вызывающими, считаются: 1) растворяющее действие воды, что вызывает ослабление связи между отдельными зернами породы, 2) уменьшение внутреннего трения породы в связи со смазывающим действием воды, 3) расклинивающее действие воды в тонких порах и трещинах.

Независимо от того, какая из гипотез правильнее, необходимость считаться с эмпирически установленным фактом привела Гиршвальда к составлению поправочных таблиц на «размокание» горных пород.

Под коэффициентом размокания надлежит понимать отношение прочности в сухом состоянии к прочности в водонасыщенном состоянии. Прочность может быть установлена при любом виде испытания: на сжатие, на излом, на разрыв и т. п.

Нами путем визуального осмотра были выделены две серии образцов для испытаний на разрыв с равным количеством однородных образцов в каждой серии. Одна серия была испытана в сухом состоянии, другая после полного (принудительного) насыщения. На основании этих цифр и были получены коэффициенты размокания, приведенные в табл. 9.

¹ Удельные веса определялись с точностью ± 0.0005 в двух параллельных пикнометрах.

Результаты испытания на разрыв

№ пород	Временное сопротивление разрыву (в кг/см ²)				Коэффициент раз- мокания	№ пород	Временное сопротивление разрыву (в кг/см ²)				Коэффициент раз- мокания
	индекс	в сухом состоянии	индекс	в насыщен- ном состоянии			индекс	в сухом состоянии	индекс	в насыщен- ном состоянии	
340	19 20 21 22 23 24	83 80 113 92 105 130	13 14 15 16 17 18	94 47 58 82 92 85		344	7 8 9 10 11 12 18 19 20 21	38 29 85 46 16 35 25 60 34 17	1 2 3 4 5 13 14 15 16 17	22 43 27 16 28 28 36 23 40 12	
Среднее		101		76	0.75	Среднее		45		28	0.62
341	8 9 10 11 12	41 59 64 56 30	1 2 3 4 5	42 39 38 40 54		345	7 8 9 10 12 19 20 21 22 23	133 108 129 85 95 108 130 131 116 109	1 2 3 4 5 6 13 14 15 16 17 18	76 60 72 90 47 75 66 61 75 81 65 77	
Среднее		50		43	0.86	Среднее		114		70	0.65
342	7 10 11 12	69 61 35 47	1 2 5	41 52 60		346	7 8 9 10 11 12	40 66 44 56 56 44	1 2 3 4 5 6	42 31 23 20 32 29	
Среднее		53		51	0.96	Среднее		51		29	0.57
343	7 8 9 10 11 12	69 88 151 82 72 93	1 2 3 4 5 6	48 57 108 101 92 91		347	7 8 9 10 12	36 35 37 35 27	1 3 4	17 16 21	
Среднее		93		83	0.89	Среднее		34		18	0.53

№ пород	Временное сопротивление разрыву (в кг/см ²)				Коэффициент раз- мокания	№ пород	Временное сопротивление разрыву (в кг/см ²)				Коэффициент раз- мокания
	индекс	в сухом состоянии	индекс	в насыщен- ном состоянии			индекс	в сухом состоянии	индекс	в насыщен- ном состоянии	
348	7 8 9 10 12	142 108 95 124 108	14 15 16 17 18	104 100 14 39 54		351	7 8 9 10 11 12	44 62 71 58 63 56	1 2 3 5 6	49 34 51 67 46	
Среднее		115		74	0.65	Среднее		59		49	0.83
349	9 20 21 22 23 24	186 168 201 173 192 175	13 14 15 16 17 18	102 181 145 108 130 138		352	7 8 9 10 11 12	49 63 51 44 54 56	2 3 4 5 6	28 41 39 41 42	
Среднее		183		134	0.73	Среднее		53		38	0.72
350	7 8 9 10 11 12	43 45 52 66 41 43	1 2 4 6	50 41 45 34		353	7 8 9 10 11 12	160 225 153 150 167 139	1 2 3 4 5 6	100 115 101 119 128 167	
Среднее		48		43	0.90	Среднее		166		122	0.74

Проделать аналогичный отбор для испытаний на сжатие не представилось возможным, так как для большинства разновидностей нельзя получить двух удовлетворительно однородных кубиков $5 \times 5 \times 5$ см.

Необходимо напомнить, что испытание на разрыв производилось после принудительного, т. е. самого полного насыщения. Поэтому коэффициенты размокания, равные для доломитов № 344 — 0.62 и для № 345 — 0.65, не являются угрожающими в смысле потери прочности, так как эта потеря является максимальной и в сооружении всегда будет значительно меньшей. Это подтверждается значениями S (стр. 41), т. е. свободное

$$\begin{aligned} \text{для } \text{№ 344 } S_{45 \text{ дн.}} &= 0.43, \text{ а } S_{120 \text{ дн.}} = 0.60 \\ \text{для } \text{№ 345 } S_{45 \text{ дн.}} &= 0.63 \quad S_{120 \text{ дн.}} = 0.74 \end{aligned}$$

насыщение, а, следовательно, и потеря прочности практически не достигнут максимума.

Для случаев применения, при которых камень будет омываться проточной водой, может возникнуть некоторая опасность из-за растворения доломита. Вопрос о растворимости должен быть поставлен особо.

Остается неясным также вопрос о размокании в длительные сроки, исчисляемые сотнями лет.

Оба эти вопроса не могут быть разрешены без специальных экспериментов, каковые нами ставятся.

Механические испытания, разрушающие образец и потому не допускающие повторения опыта над тем же образцом, сужают рамки эксперимента при исследовании неоднородных пород, в частности ширьевских. Поэтому мы проследили изменение твердости в зависимости от водонасыщения. Для этой цели были изготовлены плитки толщиной около 2 см из пород № 340, 342, 343, 345, 347, 350, 353.

Плитки были разграфлены с той целью, чтобы в одном и том же поле твердость могла быть определена после 10, 20, 30 дней насыщения; таким образом, испытание велось на почти одном и том же или во всяком случае весьма однородном материале.

Для определения твердости был избран метод Шора, по которому твердость характеризуется высотой отскока бойка (весом 20 г) с алмазным наконечником. Этот метод имеет то преимущество, что образец при испытании не разрушается. След от удара (белые точки на фиг. 19) занимает мало места, и один и тот же образец может быть подвергнут испытанию через различные периоды насыщения.

Само собою разумеется, что эта характеристика не имеет физического смысла, как, впрочем, и многие другие характеристики твердости, и цифры носят условный характер. Для целей прослеживания изменения свойств одного и того же материала, как, например, в нашем случае, этот метод вполне пригоден.

Полученные данные сведены в следующую таблицу 10.

Таблица 10

Определение твердости
(по Шору)

№ образца	Сухие	После 10 дн. насыщения	После 20 дн. насыщения	После 30 дн. насыщения	Коэффициент размокания		
					после 10 дн.	после 20 дн.	после 30 дн.
340	35.5	34.5	33.5	32.5	0.97	0.94	0.92
342	46.5	45	42.3	40	0.97	0.91	0.86
343	53	50.5	48	49.5	0.95	0.91	0.93
347	17	14.8	15.2	14.5	0.87	0.89	0.85
350	16	14	13.5	12.5	0.88	0.84	0.78
353	51.3	49.3	50.5	50.5	0.96	0.98	0.98

Как видим, размокание пород типа № 340, 342, 347, 350 прогрессирует. Для пород № 343 и № 353, повидимому, держится на одном и том же уровне.

Интересно отметить, что разности № 343 и № 353 имеют насыщение меньше 1%, а разности № 340, 342, 347 и 350 больше 1%.

В виду того, что 1) 30-дневное насыщение является далеко неполным, 2) процесс размокания продолжается для пород с насыщением больше 1%, а для пород с меньшим насыщением при большем сроке неизвестен, нами принят коэффициент размокания, полученный испытанием на разрыв (табл. 7).

IV. Расчет теоретической долговечности

Суммируя все вышеизложенное, мы приходим к следующему порядку исчисления долговечности:

1. Устанавливается структурный тип природы и качественное число Q_1 по микроструктуре (см. стр. 34—36).
2. Устанавливается пористость (см. табл. 6).
3. Приводится поправка на приведенное временное сопротивление разрыву (см. табл. 7).
4. По соотношению между коэффициентом размокания и коэффициентом насыщения (табл. 11) выводится значение теоретической морозостойкости.

Таблица 11

**Определение показателя теоретической морозостойкости
по Гиршвальду)**

Коэффициент размокания	Коэффициент насыщения								
	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
0.30	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	6
0.35	1.8	2.3	2.8	3.3	3.8	4.3	4.8		
0.40	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.7		
0.45	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4		
0.50	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.2	5.8	
0.55	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5.6	
0.60	} 0.8	1.3	1.8	2.3	2.6	3.3	3.8	5.4	
0.65		1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	5.2	
0.70	} 0.6	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.5	5	
0.75		0.9	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	4.8	5.8
0.80	} 0.4	} 0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.6	5.6
0.85			0.75	1.3	1.8	2.3	2.8	4.4	5.4
0.90				1.1	1.6	2.1	2.6	4.2	5.2
0.95	0.25			1	1.5	2	2.5	4	5

Для изучаемой серии пород результаты пересчетов приведены в табл. 12.

Таблица 12

Определение показателя теоретической морозостойкости для ширяевских пород

№ породы	Коэффициент размокания	Коэффициент насыщения	Показатель теоретической морозостойкости
340	0.75	0.59	1.2
341	0.86	0.84	4.4
342	0.96	0.42	0.25
343	0.89	0.63	1.0
344	0.62	0.43	0.8
345	0.65	0.63	2.2
346	0.57	0.71	3.3
347	0.53	0.74	3.6
348	0.65	0.81	3.6
349	0.73	0.57	1.1
350	0.90	0.60	0.75
351	0.83	0.58	1.0
352	0.72	0.68	2.3
353	0.74	1.00	6.0

5. Полученное значение теоретической морозостойкости в зависимости от значения S и приведенного сопротивления разрыву исправляется по нижеследующим поправочным множителям, данным Гиршвальдом (табл. 13).

Таблица 13

Определение показателя исправленной теоретической морозостойкости

№ породы	Коэффициент насыщения S	Приведенное временное сопротивление разрыву R_1	Класс. теоретич. морозостойкости	Поправочный множитель	Исправленная теоретическая морозостойкость
340	0.59	99	1.2	0.75	0.90
341	0.84	69	4.4	0.95	4.2
342	0.42	100	0.25	0.75	0.19
343	0.63	117	1.0	0.75	0.75
344	0.43	49	0.8	1.0	0.80
345	0.63	111	2.2	0.75	1.65
346	0.71	88	3.3	0.75	2.45
347	0.74	67	3.6	0.80	2.85
348	0.81	112	3.6	0.85	3.05
349	0.57	348	1.1	0.75	0.83
350	0.60	92	0.75	0.75	0.56
351	0.58	140	1.0	0.75	0.75
352	0.68	109	2.3	0.75	1.70
353	1.00	128	6.0	0.90	5.40

6. Из сопоставления исправленного качественного числа Q_1 с исправленным показателем теоретической морозостойкости по составленной Гиршвальдом таблице поправок (табл. 14) выводится окончательное качественное число Q , характеризующее долговечность породы.

Таблица 14

Таблица поправок для качественного числа (Q) в зависимости от показателя теоретической морозостойкости

(по Гиршвальду)

Q_1 по микро- структуре	Поправка на показатель теоретической морозостойкости								
	2	2—3	3	3—4	4	4—5	5	5—6	6
0.25	+0.75	+1.3	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0	+4.5	+5.0
0.50	0.65	1.2	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9
0.75	0.55	1.1	1.8	2.3	2.8	3.3	3.8	4.3	4.8
1	0.45	0.8	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7
1.5	0.35	0.6	1.3	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4
2	0.1	0.5	1.0	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1
2.5	—	0.3	0.7	1.3	1.8	2.3	2.8	3.3	3.8
3	—	—	0.4	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
3.5	—	—	0.1	0.7	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2
4	—	—	—	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9
4.5	—	—	—	0.1	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6
5	—	—	—	—	0.3	0.8	1.3	1.8	2.3
5.5	—	—	—	—	—	0.5	1.0	1.5	2.0
6	—	—	—	—	—	0.2	0.7	1.2	1.7

Многочисленные наблюдения, произведенные Гиршвальдом и его со-трудниками, показали, что выведенное таким образом качественное число хорошо характеризует наблюдавшуюся долговечность камня.

Долговечность в натуре определяется степенью и характером повреж-дений камня. Можно выделить, грубо говоря, три формы проявления выветривания:

1) Повреждения распространяются на поверхности и внутри камня с одинаковой интенсивностью. Эта форма присуща породам со средней пористостью.

2) Повреждения развиваются, главным образом, на поверхности. Внутренние части камня выветриваются незначительно. Наблюдается, главным образом, на изверженных породах.

3) Повреждения проникают в камень на большую глубину, с поверх-ности мало заметны. Этот тип разрушения свойственен всем породам, подверженным действию мороза.

Переходя к численной характеристике повреждений, Гиршвальд делит их на поверхностные и глубинные, пользуясь приведенными в табл. 15 индексами (более высокими числовыми индексами обозна-чаются более интенсивные повреждения).

Таблица 15

Характеристика повреждений камня

(по Гиршвальду)

Поверхностные			Глубинные	
индекс	поврежде-ния заметны на площади (в см ²)	глубина отдель-ных де-фектов (в мм)	индекс	уменьшение прочности (разрыхле-ние) до глубины (в см)
1	10	до 2	1	незаметно
2	50	» 3	2	1
3	100	4—6	3	2
4	200	7—12	4	3
5	300	13—20	5	4
6	400	21—30	6	5

В зависимости от преобладания того или иного фактора в процессе выветривания характер повреждений, по наблюдениям в натуре, ме-няется. Если преобладают факторы размокания, растворения, вымывания, то сильнее развиваются поверхностные формы повреждений. Графически это можно изобразить линией *E* (фиг. 20).

Если преобладает морозное выветривание, то нарастание повреждений пойдет по линии *C*.

Если все факторы действуют с равной силой, то повреждения будут нарастать по линии *A*.

Сопоставляя повреждения, наблюдавшиеся на 1059 постройках в воз-расте от 12 до 1850 лет с полученными им по вышеуказанным методам качественными числами, Гиршвальд составил таблицу, выдержки из которой (табл. 16) мы приводим в части, характерной для гидротехниче-ских сооружений, руководствуясь следующими соображениями.

Для гидротехнического сооружения следует предположить тип разру-шений, связанный с растворением и размоканием, т. е. характеризуемый

линией Е (фиг. 20). Здесь повреждения по поверхности и в глубину будут характеризоваться индексами

1—1; 2—1; 3—1; 4—2; 5—2 и 6—2

Пользуясь описанными в табл. 15 индексами, можно определить, через какой срок повреждения в камне, обладающем данным качественным числом, достигнут размеров, характеризуемых данными индексами.

Для намеченной последовательности в нарастании повреждений мы получим следующие зависимости между качественными числами и долговечностью, как то показывают измерения на старинных постройках (табл. 16 и 17).

Таблица 16

Поверхностный тип выветривания. Зависимость между качественным числом Q и возрастом построек с повреждениями разной степени

Индекс 1—1		Индекс 2—1		Индекс 3—1		Индекс 4—2		Индекс 5—2		Индекс 6—2	
качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)	качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)	качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)	качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)	качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)	качественное число Q	возраст соору- жения (в годах)
0.25	650	0.25	850	0.25	1500	0.25	1850	0.75	1500	1.0	1125
0.50	475	0.50	620	0.50	1100	0.5	1350	1.0	960	1.5	690
0.75	350	0.75	450	0.75	800	0.75	985	1.5	590	2.0	370
1.0	220	1.0	285	1.0	500	1.0	620	2.0	310	2.5	190
1.5	135	1.5	175	1.5	300	1.5	380	2.5	165	3.0	100
2.0	75	2.0	95	2.0	160	2.0	200	3.0	88	4.0	55
2.5	38	2.5	50	2.5	90	2.5	110	4.0	47	5.0	30
3.0	20	3.0	26	3.0	46	3.0	60	5.0	26	6.0	17
				4.0	25	4.0	30	6.0	15		
				5.0	14	6.0	17				

Иллюстрируем примером прогноз долговечности на основании этой таблицы.

Допустим, что порода имеет качественное число $Q = 3.0$. Тогда первые повреждения на ней проявятся через 20 лет (индекс 1—1). Через 46 лет эти повреждения будут заметны на плоскостях до 100 см^2 и сопровождаются уменьшением прочности до глубины в 1 см. Через 100 лет эти же повреждения будут заметны на поверхности в 400 см^2 и сопровождаются уменьшением прочности до глубины в 2—3 см.

В случае преобладания морозного (глубинного) выветривания, характеризуемого линией С (фиг. 20), зависимость между качественным числом Q и повреждениями будет несколько иной, как показывает табл. 17.

В случае, если порода обладает качественным числом $Q = 3.0$ и подвержена попеременному замораживанию и оттаиванию, то уменьшение прочности (и появление трещин) будет заметно на глубине в 1 см через 20 лет, на глубине в 3 см через 68 лет и на глубине в 5 см через 105 лет.

На основании всего вышеизложенного составлена табл. 18 теоретической долговечности изученных нами 14 разновидностей ширяевских пород. Ни у Гиршвальда, ни в других каких-либо литературных источниках при современном состоянии изученности вопроса нельзя найти указаний на соотношения между поведением камня как такового и камня в бетоне. Поэтому мы при исчислении долговечности камня в бетоне

Глубинный тип выветривания. Зависимость между качественным числом Q и возрастом построек с повреждениями разной степени

Качественное число Q	Возраст постройки, на которой наблюдались повреждения, обозначаемые индексами					
	1—1	1—2	1—3	2—4	2—5	2—6
0.75	350	500	700	1170	—	не наблюдались » » » 195 105 60 32 19
1.0	220	320	450	750	950	
1.5	135	200	280	450	600	
2.0	75	100	150	250	300	
2.5	38	55	80	130	160	
3.0	20	30	42	68	90	
4.0	—	16	22	37	50	
5.0	—	—	12	20	26	
6.0	—	—	—	13	15	

условно принимаем, что одежда из цементного раствора не оказывает существенного влияния на ход климатической агрессии, и анализ воздействия ее на камень ведем, исходя из свойств самого камня.

Подобное допущение, разумеется, произвольно и подлежит пересмотру по мере накопления исследований о поведении камня в бетоне.

В табл. 18 приводится теоретическая долговечность камня для трех случаев его применения.

1. Части сооружений, не подверженные замораживанию. К ним относятся внутренние части плотины, подводные части шлюзов и каменных набросок и т. п.

2. Части, подверженные периодическому замораживанию в надводных условиях. К ним относятся все сооружения на суше, части плотины, шлюзов, банкетов и т. п. выше уровня высоких вод.

3. Части гидротехнических сооружений находящихся в зоне переменного уровня.

Для 1-го случая эксплуатации камня мы полагаем более интенсивным процесс поверхностного разрушения. За начало разрушения принимаем условно появление разрушений площадью до 10 см² с глубиной отдельных дефектов до 2 мм (индекс 1—1).

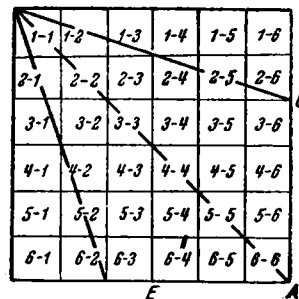
При дефектах, достигающих площади в 100 см² при глубине их в 4—6 мм, мы считаем положение угрожающим (индекс 3—1).

Под окончательным разрушением мы подразумеваем появление дефектов площадью 400 см² при глубине 20—30 мм (индекс 6—2).

Для 2-го случая эксплуатации мы за начало разрушения принимаем появление первых следов (выкрашивание кромок) без появления растрескивания или уменьшения прочности с глубиной (индекс 1—1).

При уменьшении прочности на глубину до 2 см или возникновении поверхностных трещин, идущих до глубины в 2 см, мы считаем состояние камня угрожающим (индекс 1—3).

Под окончательным разрушением мы подразумеваем растрескивание камня или разрыхление его до глубины в 5 см (индекс 2—6).



Фиг. 20. Нарастание повреждений в зависимости от воздействующих факторов.

E — выветривание при сильном участии воды; C — морозное выветривание; A — выветривание под влиянием разнообразных факторов. Первое число в каждой клетке — индекс поверхностного повреждения, второе — индекс глубинного повреждения.

**Расчет теоретической долговечности карбонатных пород Самарской Луки
(по Гиришвальду)**

№ породы	Порода	Расчетное качественное число Q	Теоретическая долговечность в годах								
			при преобладании поверх- ностного типа выветривания (внутренние части плотины и шлюзов, подводные части отмосток)			при преобладании глубинного типа выветривания (части сооружений выше уровня высоких вод, подверженные периодическим замора- живаниям)			части сооружений, находящиеся в зоне переменных уровней		
			начало разрушения, индекс 1—1	угрожающее состояние, индекс 3—1	окончательное разрушение, индекс 6—2	начало разрушения, индекс 1—1	угрожающее состояние, индекс 1—3	окончательное разрушение, индекс 2—6	начало разрушения, индекс 1—1	угрожающее состояние, индекс 1—3	окончательное разрушение, индекс 2—6
340	Доломит сахаровидный	0.5	475	1100	—	475	980	—	38	80	195
341	Известковый доломит	1.0	20	25	55	—	22	60	—	—	19
342	Доломит	0.75	350	800	1500	350	700	—	20	42	105
343	Доломит	1.0	220	500	1125	220	450	950	20	42	105
		1.5	135	300	690	135	280	600	16	30	80
344	Доломит	1.5	135	300	690	135	280	600	16	30	80
345	Известковый доломит	0.75	350	800	1500	350	700	—	20	42	105
		1.5	135	300	690	135	280	600	16	30	80
346	Известняк	3.0	20	46	100	20	42	105	—	12	32
347	»	3.5	20	35	80	—	30	80	—	—	25
348	Доломитизированный из- вестняк	3.0	20	46	100	20	42	105	—	12	32
349	То же	1.5	135	300	690	135	280	600	16	30	80
		3.0	20	46	100	20	42	105	—	12	32
350	»	2.0	75	160	370	75	150	300	—	22	60
		3.0	20	46	100	20	42	105	—	12	32
351	Известняк	3.5	20	35	80	—	30	80	—	—	25
352	»	2.0	75	160	370	75	150	300	—	22	60
		3.0	20	46	100	20	42	105	—	12	32
353	Афанитовый известняк	2.5	38	90	190	38	80	195	—	15	45

Как усматриваем из табл. 18, при обоих типах выветривания сроки службы оказываются очень близкими.

Для определения долговечности камня в тех частях сооружений, которые будут находиться в условиях переменного горизонта воды, мы, следуя Гиршвальду, принимаем сниженное на две единицы качественное число.

Для этого случая теоретическая долговечность, вычисленная применительно к глубинному типу выветривания (табл. 18), дает значительно меньшие сроки службы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сопоставлении полученных значений теоретической долговечности с делением и оценкой пород по группам, основанным на петрографическом изучении и подтвержденным физико-механическими исследованиями, можно видеть полное совпадение полученных результатов.

Как усматриваем из табл. 19, все породы, отнесенные к 1-й и 2-й группам, имеют долговечность 690—1500 лет. Породы остальных групп имеют долговечность 80—100—370 лет и лишь в одном случае (№ 349) 690 лет.

Таблица 19

Теоретическая долговечность карбонатных пород по группам

Породы 1-й и 2-й групп				Породы 3-й, 4-й и 5-й групп			
№ образцов	теоретическая долговечность в годах			№ образцов	теоретическая долговечность в годах		
	начало разрушения	угрожающее состояние	окончательное разрушение		начало разрушения	угрожающее состояние	окончательное разрушение
342	350	800	1500	341	20	25	55
344	135	300	690	349	135	300	690
340	475	1100	—	348	20	46	100
343	220	500	1125	350	75	160	370
345	135—350	300—800	690—1500	346	20	46	100
				347	20	35	80
				351	20	35	80
				352	20—75	46—100	100—370
				353	38	90	190

Данные табл. 18 и 19, суммирующих все проведенные нами исследования, позволяют сделать следующие выводы практического характера.

1. Карбонатные породы не пригодны к употреблению в зоне переменных уровней воды.

2. Для доломитов размокание, снижающее прочность до 60% от первоначальной, не представляет непосредственной угрозы тем более, что установлено оно при самом полном насыщении, практически для доломитов невозможно.

3. Напротив, для известняков оно опасно, так как при малой их начальной прочности, размокании в 43% (для № 347 даже в 47%) и быстром росте коэффициента насыщения, можно ожидать через непродолжительный эксплуатационный срок значительных повреждений.

4. Для доломитизированных известняков окончательное разрешение вопроса о размокаемости требует постановки специального опыта, имитирующего прохождение воды сквозь камень за весь эксплуатационный срок.

5. Доломиты могут быть допущены к употреблению в тех местах сооружений, которые будут всегда находиться ниже уровня меженных.

вод или выше уровня высоких вод, а также внутри тела плотины и в наземных сооружениях.

6. Известняки типа № 346, 347, 351 и 352 в гидротехнических сооружениях применяться не должны.

Несмотря на то, что в итоге данного исследования мы получили вполне определенные результаты как теоретического, так и практического значения, они без сомнения во многих отношениях не могут считаться исчерпывающими. Особо следует выделить вопрос о влиянии процессов образования и изменения карбонатных пород на их физико-механическую характеристику. В этом отношении из-за недостаточной изученности процессов доломитизации и прочих вторичных процессов (выщелачивания пелитоморфного кальцита, отложения вторичного и т. д.), мы не в состоянии дать картину закономерных связей между этими процессами и качеством пород в отношении их прочности и устойчивости. Особенно это относится к выяснению этих соотношений в пространстве. Пока можно указать только на некоторые отдельные факты, несомненно стоящие в тесной связи с тем или иным характером упомянутых процессов. Так, вытекающая из микроскопического изучения и из физических определений констатация уменьшения как общей пористости, так в особенности и количества открытых пор по мере возрастания степени доломитизации пород заставляет предполагать самый процесс доломитизации происходившим еще до затвердения карбонатных осадков, т. е. считать его додиагенетическим.

Об упрочняющем воздействии на породы отложений вторичного кальцита и ослабляющем влиянии присутствия слабо сопротивляющегося выщелачивания пелитоморфного кальцита не раз упоминалось при характеристике пород различных групп.

Процессы выветривания и разрушения доломитовых пород и известняков Самарской Луки проявляются в природе наиболее резко в явлениях образования доломитовой муки в первых и карстовых явлений во вторых, а также в образовании корок выветривания и в явлениях выщелачивания, приуроченных к сильно развитой здесь трещиноватости. Факт часто встречающегося в природных условиях чрезвычайно резкого разрушения доломитов во многих районах Самарской Луки и полной сохранности известняков так называемого ушковского слоя, т. е. органогенных известняков горизонта C_3^b , находится в некотором противоречии с устанавливаемой в данном исследовании высокой степенью устойчивости доломитовых пород и малой сопротивляемостью органогенных известняков типа пород № 346 и 347, относящихся к упомянутому слою. Объяснение этому следует, очевидно, искать как в достаточно резком различии самого характера агентов воздействия, вызывающих разрушения в геологической обстановке, с одной стороны, и при лабораторных испытаниях обычного типа, — с другой, так и в колоссальном различии длительности самих воздействий в этих, столь различных между собою, условиях.

Все указанные, остающиеся открытыми, вопросы, а также целый ряд других, возникших в процессе самого исследования менее общего характера, но не менее важных в методическом отношении, ставят перед исследователями, изучающими соотношения между физико-механическими свойствами и петрографическими особенностями горных пород, в частности карбонатных пород данного типа, целый ряд задач, требующих своего разрешения как в теоретическом, так и в практическом отношении.

К их числу принадлежат:

- 1) петрографическое изучение вторичных структур карбонатных пород;
- 2) экспериментальное воспроизведение воздействия агентов, влияю-

щих на карбонатные породы в природных условиях и гидротехнических сооружениях;

3) экспериментальная проверка влияния длительного насыщения и длительной фильтрации на механические свойства камня;

4) выделение и изучение типов воды, находящейся в камне, для выяснения вопроса размокания;

5) разработка физических методов определения микропористости;

6) упрощение и уточнение методов характеристики структурных соотношений, влияющих на прочность и устойчивость пород.

ЛИТЕРАТУРА

Белянкин Д. С., Лапин В. В. и Островский Б. В. К вопросу об исследованиях карбонатных пород в аншлифах. Изв. Акад. Наук, сер. геол., вып. 2, 1940.
Кин. Физические свойства почвы. 1933.

Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Каменные строительные материалы, сб. 1. Пг., изд. Ком. для изуч. ест.-произв. сил Акад. Наук, 1923.

Маттсон. Почвенные коллоиды. 1934.

Цункер. Поведение воды в почве. Всесоюз. Акад. сел.-хоз. наук, 1937.

Цытович. Механика грунтов, 1940.

Hirschwald T. Handbuch der bautechnischen Gesteinprüfung. 1912.

Schaffer. Weathering on natural building Stones. 1932.

Versluys T. Die Kapillarität der Boden. Int. Mitt. Bodenkunde, 1932.

B. V. ZALESKY, A. I. KORSUNSKY AND V. V. LAPIN

ON THE PROBLEM OF THE LONGEVITY OF THE CARBONATE ROCKS VARIETIES FROM THE SAMARA BEND

Summary

The aim of the present paper is to outline the principal trends in the methods of studying resistivity and longevity of carbonate rocks.

The study also contains a characteristic of the petrographic and physico-mechanical properties, as well as estimate of longevity (after Hirschwald's method) of some dolomites, dolomitized limestones and limestones of the Samara Bend region on the Volga.

The petrographic investigations have been accomplished by means of the microscopic examination of transparent and nontransparent thin sections and by means of the immersion method. These studies have revealed a number of structural peculiarities of the rocks, established according to the quantitative proportion and the character of distribution of calcite and dolomite, as well as according to the grain size of these minerals, the degree of porosity and its nature (see photomicrographs, plates 1—4).

A comparison of petrographical and physico-mechanical characteristics has made it possible to subdivide the rocks under consideration into groups distinguished by the degree of their resistance to the physico-mechanical and chemical aggression (see tables 1—5). A study of the longevity of these rocks after Hirschwald's method confirmed their preceding characteristics and subdivision (see tables 18—19). In the main, the best resisting rocks are dolomites and highly dolomitized limestones possessing the greatest compactness and the lowest number of open pores. The paper shows the essential value of the petrographical method in studying the complex problem of rock resistivity and longevity. In the course of investigation the importance of studying secondary structures of carbonate rocks has become obvious, as well as of studying the microporosity and water behaviour in the stone. The necessity has also been revealed of making experiments that would both reproduce the action of agencies exerting influence upon carbonate rocks under natural conditions and in constructions, and check up the effect of protracted saturation and protracted filtration upon the mechanical properties of carbonates.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Д. С. Белянкин и В. В. Лапин. Новые данные по минералогии шлаков Зестафонского завода	1
В. В. Лапин. О шлаках Карсакпайского медеплавильного завода: нормальном и базальтоидном	8
Б. В. Залеский, А. И. Корсунский и В. В. Лапин. К вопросу о долговечности некоторых разностей карбонатных пород Самарской Луки	18

О П Е Ч А Т К И

<i>Страница</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Следует читать</i>
9	9 снизу	шлаков	шлаков по данным
21	5 снизу	микропорами	макропорами
36	в сноске, 2 снизу	массу (b)	массу (b ₄)

Труды ИГЕН, вып. 58

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Вып. 36 (№ 11). 1940. Стр. 72. Ц. 6 р.

И. А. Островский и В. П. Петров. Материалы по связи оптики и химического состава магнезиально-железистых слюд. В. П. Еремеев и Р. П. Петров. Петрографическая характеристика неонintrузии г. Квиран. В. П. Еремеев. Петрографическое исследование цеолитового габбро из района с. Гвердзанети в Грузии. В. В. Лапин. К минералогии основных мартеновских шлаков рудного процесса.

Вып. 40 (№ 13). 1940. Стр. 55. Ц. 3 р. 80 к.

Д. С. Белянкин. Современные успехи советской технической петрографии — основа дальнейших ее перспектив. Н. А. Сирин. Гранитные интрузии Приполярного Урала. В. В. Лапин. О составе фаялитового силиката в шлаке медного штейна. Б. В. Иванов. Петрографический анализ импортного доломитового кирпича. В. И. Лучицкий. К вопросу о диагностике кордиерита в метаморфических и магматических породах. И. А. Преображенский. Об автигенных минералах и минералообразовании.

Вып. 44 (№ 14). 1940. Стр. 50. Ц. 4 р.

Н. Ф. Шония. Сакаурская неонintrузия в верхней Раче. Г. М. Заридзе и К. И. Чичикадзе. Эперская неонintrузия на Кавказе. И. В. Борисевич. К минералогии карбонатных марганцовых руд Мазульского месторождения. М. К. Бельштерли и А. А. Турцев. Терромагнитные исследования биотита.

Вып. 50 (№ 15). (В печати).

С. Г. Саркисян. Петрография рыхлых касситеритсодержащих отложений Забайкалья.

Вып. 55 (№ 16). (В печати).

И. Е. Сморгков. Кислые интрузии Зеренского района (Восточное Забайкалье) в связи с их оловоносностью.

Вып. 56 (№ 17). (В печати).

И. А. Преображенский. Акцессорные минералы изверженных пород.

Вып. 57 (№ 18). (В печати).

В. И. Лучицкий и М. И. Ожегова. Генетические взаимоотношения глубинных и интрузивно-эффузивных пород северо-запада Украинского кристаллического массива. В. П. Еремеев. Некоторые строительные материалы и нерудные ископаемые Дигории.

Вып. 58 (№ 19). (В печати).

Д. С. Белянкин и В. В. Лапин. Новые данные по минералогии шлаков Зестафонского завода. В. В. Лапин. О шлаках Карсакпайского медеплавильного завода: нормальном и базальтоидном. Б. В. Залеский, А. И. Корсунский и В. В. Лапин. К вопросу о долговечности разностей карбонатных пород Самарской Луки.

Вып. 59 (№ 20). (В печати).

И. А. Преображенский. Граниты Мань-Хамбо, Приполярный Урал. С. Г. Саркисян и М. К. Житкова. Петрография рыхлых отложений бассейна рр. Народа, Мань-я и Шокурья Приполярного Урала. Д. С. Белянкин, В. П. Еремеев и Р. П. Петров. К изучению неонintrузии горы Тепли. П. И. Спасько. К вопросу о происхождении гнейсов долины р. Теберды на Северном Кавказе.

Вып. 61 (№ 21). (В печати).

Д. С. Коржинский. Закономерности ассоциации минералов в метаморфических и метасоматических породах архея Восточной Сибири.

КНИГИ ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ

Адрес: Москва, 12. Б. Черкасский пер., 2.

Контора «АКАДЕМКНИГА».