



МИНИСТЕРСТВО ТОРГОВЛИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

---

ТРУДЫ  
ОТДѢЛА ТОРГОВЫХЪ ПОРТОВЪ.

---

Выпускъ XXIII.

О дѣйстви морской воды на сооруженія изъ гидравлическихъ растворовъ въ портахъ Западной Европы и въ южно-русскихъ портахъ.

---

Составили:

**В. И. Чернолскій**

Инженеръ Путей Сообщенія.

**А. А. Байковъ**

Профессоръ С.П. Политехническаго Института.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Государственная Типографія.

1907.

Лабораторные труды гг. Лешателье (Lechatelier), Михаэлиса (Michaelis), Фере (Feret), Кандло (Candlot), Каммермана (Cammerman), Менара (Maunard), Ребюфа (Rebufat), и другихъ, а также изслѣдованія въ испытательныхъ станціяхъ Ла-Рошеля (La-Rochelle), Булоньи (Boulogne sur Mer), Зильта (Sylt), и др., указали, что разложеніе цементныхъ растворовъ въ морской водѣ есть неизбѣжное явленіе. Результаты этихъ трудовъ возбудили вполнѣ основательную тревогу относительно долговѣчности портовыхъ сооружений, воздвигнутыхъ съ значительными денежными затратами въ открытыхъ моряхъ Европы. Естественно, что у строителей портовъ возникъ вопросъ, слѣдуетъ ли изъ лабораторныхъ наблюденій надъ процессами разрушенія растворовъ въ морской водѣ дѣлать аналогичные и, въ какой мѣрѣ, выводы о разрушеніяхъ портовыхъ сооружений въ открытыхъ моряхъ.

Цѣннымъ указаніемъ для разрѣшенія этого вопроса служатъ, безъ сомнѣнія, данныя, добываемыя въ морскихъ испытательныхъ станціяхъ, устроенныхъ и устраиваемыхъ у морскихъ береговъ во Франціи, Бельгіи, Германіи, Италіи и Россіи, въ которыхъ производятся наблюденія надъ разрушеніемъ искусственныхъ опытныхъ массивовъ, погруженныхъ въ открытое море.

Не менѣе важныя указанія могутъ дать данныя и свѣдѣнія о состояніи сооружений, воздвигнутыхъ въ различныхъ портахъ Европы.

Съ этою цѣлью, а именно, для осмотра существующихъ портовыхъ сооружений и для ознакомленія съ ихъ состояніемъ, а также для ознакомленія съ мѣрами, какія принимаются для противодѣйствія наблюдаемымъ разрушеніямъ, были осуществлены (по распоряженію Правительства) двѣ поѣздки: первая въ 1902 году по портамъ Западной Европы, исполненная профессоромъ А. Р. Шуляченко (А. Р. Choulatchenko, (нынѣ покойнымъ) и инженеромъ В. И. Чарномскимъ (W. I.

Czarnomski) и вторая въ 1904 году по русскимъ южнымъ портамъ, исполненная инженеромъ В. И. Чарномскимъ и профессоромъ А. А. Байковымъ (А. А. Вауков).

Отчетъ по первой поѣздкѣ былъ отпечатанъ въ трудахъ Отдѣла Торговыхъ Портовъ за 1903 годъ (выпускъ I). Результаты второй поѣздки составляютъ предметъ настоящаго труда.

Однако, для полноты картины, прежде чѣмъ приступить къ изложенію результатовъ *второй поѣздки*, скажемъ нѣсколько словъ о *первой*.

Какъ извѣстно, дѣйствіе морской воды и морскихъ волнъ на портовые сооружения есть явленіе сложное. При изученіи сложныхъ явленій природы важно эти явленія разчлениить на болѣе простыя, такъ сказать элементарныя, и изучать сначала эти простыя явленія. Руководствуясь при первой поѣздкѣ этими соображеніями, особое вниманіе было обращено на тѣ явленія въ портахъ, въ которыхъ высказывались явственно характерныя черты морскихъ дѣйствій, помимо другихъ болѣе сложныхъ явленій. Въ этихъ видахъ осмотрѣны были въ первую очередь испытательныя или опытыя станціи, устроенныя на морскихъ берегахъ правительствами германскимъ и французскимъ и въ которыхъ собственно химическое дѣйствіе морской воды проявляется на небольшихъ искусственныхъ массивахъ, погруженныхъ въ море и поставленныхъ въ условія, въ какихъ находятся большія портовые сооружения, безъ дѣйствія другихъ внѣшнихъ факторовъ, какъ то ударовъ и давленія волнъ. Устроенная въ сравнительно недавнее время въ Германіи станція на островѣ Зильтъ (Sylt, вблизи города Вестерлянда [Westerland]), не могла представить такого интереса, какъ болѣе старыя французскія станціи въ Булоньѣ (Boulogne sur Mer) и Ля-Рошеллѣ (La-Rochelle), въ особенности, послѣдняя, существующая съ 1844 года. Осмотръ въ этихъ станціяхъ опытныхъ массивчиковъ и осмотръ документальныхъ данныхъ, любезно сообщенныхъ завѣдывающими этими станціями извѣстными изслѣдователями гг. инженерами Фере (Feret) и Менаръ (Maunard), показали, что химическое дѣйствіе морской воды на всѣ существующія въ настоящее время растворы, если не является какихъ либо другихъ факторовъ, противодѣйствующихъ этому химическому дѣйствію, должно проявиться разрушеніемъ безусловно и неминуемо. Но бываютъ случаи химическаго и механическаго характера, которые удерживаютъ въ исправности

наружный видъ сооруженія на болѣе продолжительный срокъ. Такой благопріятный случай представляетъ напримѣръ присутствіе въ морской водѣ углекислоты, ила, наносовъ, ракушекъ и такихъ веществъ, которыя образуютъ наружныя оболочки массива, скрывающія внутреннее разложеніе.

Характернымъ примѣромъ такихъ явленій послужилъ осмотръ въ Булонь (Boulogne sur Mer) построеннаго болѣе 15 лѣтъ тому назадъ (кажется въ 80-хъ годахъ прошлаго столѣтія) короткаго мола «La-Traverse». Время было отлива, молъ былъ сухъ почти до основанія, на поверхности мола были замѣтны потеки изъ чистой воды и выпученныя затвердѣвшія наружныя части раствора, въ общемъ, по наружному виду, молъ не оставялъ желать ничего лучшаго. Однако, когда, по указанію инженера Фере (Feret), удалены были желѣзнымъ зубиломъ выпученныя наружныя части раствора, чтобы проникнуть глубже въ швы каменной кладки, растворъ оказался разрушеннымъ и появилось обильное вытеканіе бѣлой жижи. Рядомъ на наружной поверхности мола растворъ былъ настолько крѣпокъ, что едва поддавался царпанью желѣзнымъ ножомъ. Профессоръ А. Р. Шуляченко въ 1890 г., т. е. 16 лѣтъ тому назадъ, лично осматривалъ этотъ молъ и наружныхъ потековъ и выпучиванія раствора не наблюдалъ; очевидно, что наблюдаемое теперь вытеканіе бѣлой жижи изъ подъ вскрытыхъ внутреннихъ частей раствора указываетъ на то, что, несмотря на вполнѣ здоровый наружный видъ мола, внутренній процессъ разрушенія уже появился.

Взятый образецъ вытекающей изъ мола «La-Traverse» жидкости хранился во время поѣздки въ бумажной коробкѣ, подвергаясь дѣйствию воздуха въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ. По анализу профессора Байкова составъ оказался:

Угольная кислота ( $\text{CO}_2$ ) . . . . .	14,70
Вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ) . . . . .	17,35
Кремнеземъ ( $\text{SiO}_2$ ) . . . . .	0,85
Глиноземъ и окись желѣза ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	0,56
Известь ( $\text{CaO}$ ) . . . . .	65,12
Горькоземъ ( $\text{MgO}$ ) . . . . .	0,82
Сѣрная кислота ( $\text{SO}_3$ ) . . . . .	слѣды
Хлоръ ( $\text{Cl}$ ) . . . . .	слѣды

Процессъ разложенія растворовъ въ швахъ каменной кладки наблюдается также и на оградительномъ Булонскомъ молѣ. Бутовая надводная стѣнка этого мола сложена изъ бутовыхъ глыбъ на растворѣ изъ 500 кгр. портландъ-цемента на 1 куб. метръ песка и облицована правильными тесанными кубиками изъ крѣпкаго известняка съ тщательною расшивкою швовъ. По заявленію инженера Фере (Feret), швы постоянно осматриваются; чуть замѣтятъ выпучиваніе шва, или хотя бы незначительные потеки, тотчасъ шовъ ремонтируется. Для этого зубиломъ очищаютъ шовъ на глубину до 5 сантиметровъ и заполняютъ новымъ растворомъ состава 800 кгр. портландъ-цемента на 1 куб. метръ песка. Тщательное наблюденіе за растворомъ въ швахъ и постоянное ремонтірованіе способствуютъ поддержанію стѣнки мола, по крайней мѣрѣ наружной ея части, въ блестящемъ состояніи.

Взятый въ швѣ облицовки стѣнки Булонскаго мола образецъ разрушеннаго раствора (который во время осмотра былъ замѣненъ новымъ) хранился во время поѣздки въ бумажной коробкѣ въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ. По анализу профессора Байкова составъ его оказался:

	По непосредственному анализу.	За вычетомъ песка. (40,35%)
Угловая кислота (CO <sub>2</sub> ). . . . .	14,40	24,12
Вода (H <sub>2</sub> O). . . . .	10,52	17,63
Песокъ . . . . .	40,35	—
Кремнеземъ (SiO <sub>2</sub> ). . . . .	0,45	0,75
Глиноземъ и окись желѣза (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ). . . . .	5,13	8,60
Известь (CaO). . . . .	21,36	35,81
Горькоземъ (MgO). . . . .	4,62	7,69
Сѣрная кислота (SO <sub>3</sub> ). . . . .	1,96	3,29
Хлоръ (Cl). . . . .	0,60	1,02
	<hr/>	
	99,39	
Щелочей (по разности). . . . .	0,61	
	<hr/>	
	100	

Но не одно только химическое дѣйствіе морской воды производитъ разрушающее дѣйствіе на портовые сооруженія; есть еще динамическій ударъ и давленіе волны, которыя сами способны сдвигать массивы недостаточныхъ размѣровъ съ мѣста и производить полное разрушеніе сооруженія.

Въ портѣ Тайнмутъ (Tyne-mouth), ниже Ньюкестля (Newcastl), въ Англии въ одну бурю сѣверный моль оказался совершенно разрушеннымъ на протяженіи свыше двухсотъ метровъ. Мѣстные инженеры объясняютъ обвалъ стѣнки мола подмывомъ каменной наброски у подошвы стѣнки и сильнымъ напоромъ волнъ; каменная наброска, выведенная на большую высоту, не выдержала напора волнъ, была разрушена и стѣнка изъ массивовъ провалилась въ воду; это уже прямое механическое дѣйствіе волны. Другой примѣръ разрушенія отъ механическихъ силъ представляетъ разрушеніе мола ди - Галиери (di Gallieri) въ 1901 году, въ портѣ Генуи (Gènes) отъ сильнаго удара волнъ, причемъ оказалось, что профиль мола и размѣры массивовъ были недостаточны, а также способъ укладки защитныхъ массивовъ былъ неудовлетворительный для сопротивленія боковому напору волнъ. Въ упомянутыхъ двухъ портахъ механическое дѣйствіе волнъ обнаружилось весьма сильно и существенно.

Такихъ примѣровъ можно бы найти и въ другихъ портахъ, но ограничимся этими двумя.

Совмѣстное химическое дѣйствіе воды и механическое волнъ наблюдалось на островѣ Зильтъ (Sylt), въ Абердинѣ (Aberdeen) и Марсели (Marseille). Въ этихъ сооруженіяхъ разрушеніе отъ химическаго дѣйствія морской воды усиливается проникновеніемъ ея въ отваливающіеся отъ ударовъ волнъ куски сооруженій.

На островѣ Зильтъ (Sylt) возведены многочисленныя береговыя укрѣпленія и буны, для устройства которыхъ примѣняется бетонъ. Оконечности бунъ ограждены гранитнымъ камнемъ или бетонными массивами. Камень, если онъ недостаточныхъ размѣровъ (меньше 1 куб. метра), выбрасывается волной, а бетонные массивы нерѣдко попадаютъ разрушенными, кромки сглажены и поверхность какъ бы слизана водой. Составъ бетона: 1 объемъ цемента, 3 объема песка и 5 объемовъ гравета. Вслѣдствіе замѣченнаго разрушенія бетонныхъ массивовъ, рѣшено было въ послѣднее время у головы бунъ крупный гранитный камень, а массивы и литой бетонъ примѣнять исключительно выше воды, гдѣ ударъ и дѣйствіе волнъ слабѣе. Въ портѣ Эймуидентъ (Jmuiden) при посѣщеніи сѣвернаго мола (время было отлива) наблюдались съ внутренней стороны стѣнки мола впадины отъ отваливагося бетона и бѣлые потеки. Съ наружной стороны мола наброска изъ бетонныхъ оградительныхъ массивовъ, почти на всемъ протяженіи мола (1650 м.), была сильно разрушена, не болѣе 10% уцѣлѣвшихъ массивовъ;

остальные или совѣмъ развалившіеся на куски, или съ видими признаками разрушенія. Видъ разрушенія—сильныя трещины, продольныя и поперечныя, съ бѣлыми потеками, затѣмъ отламываніе угловъ и сглаживаніе, или лучше сказать слизываніе поверхностей массива. На слѣдующихъ полуразрушенныхъ массивахъ можно было прочесть годъ выдѣлки ихъ: 19-го дня 5-го мѣсяца 78-го года—массивъ полуразрушенный съ трещинами на вертикальныхъ граняхъ и съ бѣлыми потеками; 17-го дня 8-го мѣсяца 76-го года—массивъ полуразрушенный, но сравнительно въ лучшемъ состояніи и 13-го дня 6-го мѣсяца 77-го года также полуразрушенный массивъ, но съ сохранившейся верхнею поверхностью, на которой легко прочесть эту запись. На головѣ мола въ числѣ исправныхъ массивовъ укладки 1901 года можно было прочесть на 4-хъ массивахъ срокъ выдѣлки ихъ: 27 д. 7 м. 94 г.; 26 д. 7 м. 94 г.; 17 д. 6 м. 95 г. и 19 д. 6 м. 95 г.

Поврежденія южнаго мола въ Абердинѣ (Aberdeen) извѣстны въ литературѣ морской строительной техники. Поврежденія выразились образованіемъ промывовъ въ нижней подводной части мола, составленной изъ уложенныхъ въ правильную стѣнку бетонныхъ массивовъ. Бурею вырывались цѣлые массивы, отчего въ молѣ образовались каверны и передвиженіе остальной части мола. Въ надводной стѣнкѣ изъ литого бетона появились трещины, наполнявшіяся бѣлой молочной массой, свидѣтельствующей о химическомъ разложеніи цементнаго раствора. Продукты разрушенія мало по малу вымывались морской водой, уносились въ море и по мѣрѣ ихъ вымыванія разложеніе все прогрессировало, ибо пористость бетона и массивовъ увеличивалась; щебень оголялся, сдѣленіе между его поверхностями исчезало, кучи щебня уносились волненіемъ и молъ разрушался. Такое послѣдовательное разрушеніе, конечно, ускорялось сильнымъ волненіемъ во время бурь, послѣдствіемъ чего являлось полное разрушеніе наружной части мола. Исправленіе мола было сдѣлано заполненіемъ кавернъ и промывовъ растворомъ изъ быстро схватывающаго романскаго цемента съ облицовкой наружной грани тесанымъ гранитомъ также на романскомъ цементѣ. Но поврежденія повторяются по сіе время и требуютъ постояннаго ремонта, въ чемъ можно было убѣдиться во время осмотра въ 1902 году.

Въ Булоньѣ (Boulogne sur Mer) наружная рисберма ограждающаго мола имѣетъ ширину до  $7\frac{1}{2}$  метровъ и образована у подошвы стѣнки мола изъ бутовой кладки, а далѣе изъ защитныхъ 40-тонныхъ бутовыхъ массивовъ; наружный откосъ при-

крыть также массивами разной величины и состава, которые со временем сползаютъ, разбиваясь и разрушаясь, и уносятся водою. Они тотчасъ замѣняются новыми массивами, складываемыми изъ бутовой кладки на самомъ молѣ. Упомянутые защитные массивы приготовляются на цементахъ разнообразнаго состава. Такихъ опытныхъ цементовъ было приготовлено, по указанію инженера Фере (Feret), до 12 разныхъ сортовъ: изъ нихъ были сдѣланы растворы для массивовъ, уложенныхъ на наружной рисбермѣ мола. Составъ этихъ цементовъ слѣдующій: три смѣси изъ разныхъ количествъ порландъ-цемента и gaize (обожженныхъ при красномъ каленіи) трехъ различныхъ поставокъ; смѣсь изъ равныхъ частей (по вѣсу) порландъ-цемента и римской пуцолланы; смѣсь изъ равныхъ частей порландъ-цемента и трасса изъ Andernach'a; два порландъ-цемента, выжженныхъ изъ сырой массы, содержащей 24% и 22% глинистыхъ частей; цементъ романскій Vassy и три порландъ-цемента отъ 3-хъ различныхъ заводовъ, въ которыхъ смѣсь до обжига содержала не болѣе 21% глинистыхъ частей. Весь этотъ цементъ удовлетворялъ французскимъ нормальнымъ условіямъ. При быстромъ осмотрѣ массивовъ на растворахъ, составленныхъ изъ этихъ цементовъ, трудно было усмотрѣть рѣзкую разницу въ поврежденіяхъ, сдѣланныхъ на массивахъ изъ того или другого сорта цемента, но поврежденія наблюдались на всѣхъ массивахъ безъ исключенія.

Въ Марсели (Marseille) надводная стѣнка мола снаружи отштукатурена (le revêtement en bouding) слоемъ раствора въ 20 сантиметровъ толщины съ вкрапленнымъ въ растворъ крупнымъ щебнемъ; штукатурка оказалась мѣстами какъ бы выѣденной (торчали камни), мѣстами вновь отремонтирована. Составъ раствора штукатурки—500 кгр. Тейльской извести на 1 куб. метръ зернистаго морского песка. Защитные массивы на наружномъ откосѣ (бутовые и бетонные) оказались въ нѣкоторыхъ мѣстахъ въ неважномъ состояніи; бутовые массивы ломаются въ куски, а бетонные округляются; въ послѣднее время разбитые защитные массивы замѣняются исключительно бутовыми, которые считаются болѣе прочными и дешевыми, такъ какъ дѣлаются на мѣстѣ. Составъ раствора для массивовъ—360 кгр. Тейльской извести на 1 куб. зернистаго песка. По заявленію мѣстныхъ инженеровъ ремонтъ штукатурки наружной стѣнки производится постоянно, такъ же, какъ и возобновленіе наружныхъ, защитныхъ массивовъ; наблюдается, что штукатурка и верхніе массивы на откосѣ возобновляются черезъ каждыя 15—20 лѣтъ. По увѣ-



ренію мѣстныхъ инженеровъ, хорошей репутаціи Тейльской извести въ Средиземномъ морѣ способствуетъ то, что она, находясь подъ неизмѣняющимся давленіемъ (при отсутствіи прилива и отлива), хотя и разрушается, но безъ измѣненія объема кладки. Относительно силы проникновенія волненія въ бассейны Марсельскаго порта черезъ ядро мола наблюдается, что морская волна высотой въ 1 метръ, пройдя черезъ ядро волнолома и стѣнку набережной, въ общемъ выше 50 метровъ толщи, производитъ колебаніе воды въ бассейнѣ въ 0,1 метра.

Совмѣстное механическое и химическое дѣйствіе морской воды на сооруженія проявляется также вслѣдствіе гидростатическаго давленія воды, когда вода находится съ обѣихъ сторонъ сооруженія на разныхъ уровняхъ, какъ это бываетъ въ камерныхъ шлюзахъ, сухихъ докахъ и приливныхъ бассейнахъ. Поврежденія этихъ сооруженій въ Абердинѣ (Aberdeen), Кале (Calais), Ля-Рошелѣ (La-Rochelle), Ля-Палисѣ (La-Pallice) и Генуѣ (Gènes) наблюдались независимо отъ состава и рода гидравлическихъ растворовъ. Разность уровней воды по обѣ стороны стѣнокъ шлюзовъ и доковъ (высотой до 9 и 10 метровъ) способствуетъ очевидно проникновенію морской воды внутрь сооруженія и ускоряетъ химическое разрушеніе раствора.

Исторія разрушенія построеннаго въ 80-хъ годахъ прошлаго столѣтія сухого дока (graving-dock) въ Абердинѣ (Aberdeen) и тѣхъ мѣръ, какія были предприняты для его исправленія, изложены весьма обстоятельно въ печатныхъ трудахъ мѣстнаго главнаго инженера Николь-Гордона (Nicol-Gordon); эти исправленія, несмотря на огромную ихъ стоимость, оказались только паліативами. При осмотрѣ дока въ 1902 году наблюдались трещины продольныя и поперечныя (заполненныя бѣлою массою разрушеннаго раствора), искривленія и выпучиванія, такъ что вертикальныя плоскости продольныхъ стѣнъ и горизонтальная плоскость дна дока представляли волнистыя поверхности, покрытыя пятнами бѣлой массы, сквозь которыя сочились значительныя количества бѣлыхъ потековъ воды; кюветы и канавы были наполнены разрушеннымъ растворомъ; все это производило на зрителя впечатлѣніе большого разрушенія. Въ докѣ исправляли всю облицовку, замѣняя цементную штукатурку кладкой изъ тесаннаго гранита. Однако, внимательно читая рапортъ инженера Nicol-Gordon'a, не трудно усмотрѣть, что и качество мѣстнаго цемента не было безъ вліянія на разрушеніе дока. Дѣйствительно образчики цементныхъ испытаній, видѣнные въ 1902 году въ Абердинѣ (Aberdeen), несомнѣнно свидѣтельствуютъ,

что между английскими цементами попадаются цементы, иногда сильно расширяющіеся отъ присутствія свободной извести. Сильно соблюдаемая въ Абердинѣ и Тайнмутѣ аэрація и пересыпаніе цементовъ въ складахъ даетъ этому предположенію большую вѣроятность.

Взятый образецъ разрушеннаго раствора въ этомъ докѣ, по анализу завѣдывающей химической лабораторіей Института Инженеровъ Путей Сообщенія г. Завріева, оказался слѣдующаго состава:

	По непосред- ственному анализу.	За вычетомъ песка. (67,92%)
Потеря . . . . .	13,83	43,20
Угльная кислота (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	3,75	11,71
Песокъ . . . . .	67,92	—
Кремнеземъ (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	3,15	9,84
Глиноземъ и окись желѣза (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	1,90	5,93
Известь (CaO) . . . . .	6,84	21,37
Сѣрная кислота (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	1,44	4,49
Хлоръ (Cl) . . . . .	1,07	3,34

---

99,90

Въ бассейнѣ быстотоковъ (le bassin des chasses) въ Кале (Calais), откосъ котораго образованъ изъ бетона (1 часть раствора на 2 части по объему глыша при составѣ раствора: на 600 кгр. порландъ-цемента 1 куб. метръ доннаго песка), оказались также на поверхности видимые потеки и трещины; по снятіи поверхностнаго слоя (толщиною въ 20 сантиметровъ) обнаружилась вполне разрушенная кашеобразная внутренняя часть бетона. Хотя разрушеніе бетона распространялось не сплошь, а лишь гнѣздами, но по первому взгляду было очевидно, что полное разрушеніе откоса является лишь вопросомъ времени. Нынѣ эти откосы укрѣпляются не бетономъ, а бутовой кладкой (толщиной около 60 сантиметровъ) съ цементнымъ растворомъ того же состава, но съ крупнозернистымъ пескомъ; наружные швы тщательно расшиваются романскимъ цементомъ, который, быстро схватываясь, не пропускаетъ воду внутрь кладки; по прошествіи мѣсяца, когда кладка внутри затвердѣетъ, наружные швы изъ цемента замѣняются растворомъ изъ порландъ-цемента.

Осмотръ камерныхъ шлюзовъ въ Кале (Calais) [15-ти лѣтней постройки] указалъ ту же печальную картину, какъ въ Абер-

динѣ. На внутреннихъ боковыхъ стѣнкахъ шлюза потеки и трещины. Дно шлюза выпучено на 0,15 метра и повреждено на глубину около 1 метра. Бетонъ на этой глубинѣ представлялъ вполнѣ разрушенную массу. Исправленіе производилось замѣной бетона бутовой кладкой на растворѣ изъ 600 кгр. портландъ-цемента на 1 куб. метръ крупнаго песка съ облицовкой (на 0,40 метра) тесаннымъ гранитомъ на растворѣ изъ 750 кгр. портландъ-цемента на 1 куб. метръ крупнаго песка.

Взятый образецъ разложившагося раствора изъ камернаго шлюза въ Кале (Calais) оказался, по анализу г. Завріева, слѣдующаго состава:

	По непосредственному анализу.	За вычетомъ песка. (73,40%).
Потеря . . . . .	4,95	20,00
Угольная кислота (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	5,22	21,10
Песокъ . . . . .	73,40	—
Кремнеземъ (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	2,65	10,72
Глиноземъ и окись желѣза (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ). . . . .	3,03	12,25
Известь (CaO) . . . . .	6,65	26,90
Горькоземъ (MgO). . . . .	0,29	1,17
Хлоръ (Cl) . . . . .	0,56	2,26
Сѣрная кислота (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	0,75	3,03

---

97,50

Въ докахъ и шлюзахъ La Rochelle, La Palice и Gènes наблюдались тѣ же бѣлые налеты и потеки (хотя менѣе значительные), указывающіе на начатый процессъ разрушенія растворовъ.

Резюмируя мнѣнія заграничныхъ строителей, высказанныя по вопросу о дѣйствіи морской воды на цементные растворы, нельзя не заключить, что убѣжденіе и увѣренность въ неразрушаемости растворовъ изъ существующихъ портландъ-цементовъ въ морской водѣ сильно поколеблены, поэтому и наблюдается съ одной стороны стремленіе создать новые портландъ-цементы изъ новыхъ составовъ (опыты г.г. Feret, Le Chatelier и Candlot), а съ другой стороны—стремленіе примѣнять смѣшанные растворы изъ смѣси портландъ-цементовъ съ пуцолланами и трассами (по идеѣ, изложенной впервые докторомъ Михаэлиссомъ и поддержанной инженеромъ Каммерманомъ), или же, отказавшись отъ портландъ-цемента, примѣнять лишь трассы съ известью (Голландія и Бельгія),

или пуцолланы съ известью, или же санторинскую землю съ известью (Италія и порты Адриатическаго моря).

По мнѣнію мѣстныхъ строителей трассовый, пуцоллановый и санторинскій растворы сопротивляются дѣйствию морской воды лучше, чѣмъ портландъ-цементъ, но эти растворы, какъ медленно твердѣющіе при примѣненіи ихъ въ открытыхъ мѣстахъ, должны быть защищены слоемъ изъ портландъ-цемента, затвердѣвающимъ быстрѣе. Примѣромъ сохраняемости пуцоллановаго раствора можетъ служить образецъ взятый въ 1902 г. отъ стѣнки, построенной въ Триестѣ (Triest), въ 1717 году, и вполне сохранившейся въ подводной своей части.

Въ конструктивномъ отношеніи всѣми морскими строителями рекомендуется независимо отъ рода цемента примѣнять растворы жирные и плотные, употреблять чистый кварцевый крупнозернистый песокъ съ возможно меньшимъ содержаніемъ пустотъ и, для замедленія проникновенія морской воды во внутрь, облицовывать наружныя части сооружений тесаннымъ камнемъ съ тщательной расшивкой швовъ. Облицовка тесаннымъ камнемъ въ настоящее время примѣняется всюду въ портовыхъ сооруженияхъ Западной Европы, несмотря на большую дороговизну такой работы.

*Вторая поѣздка* (по южно-русскимъ портамъ Чернаго и Каспійскаго морей) была осуществлена въ 1904 году. Были осмотрѣны молы и оградительныя сооружения Одессы, Ялты, Феодосіи, Новороссійска, Поти, Батума и Петровска и сухіе доки въ Севастополѣ и Баку. Молы въ этихъ портахъ построены по общему Марсельскому типу; а именно—на каменной наброскѣ, выведенной съ морского дна до 21 футовой глубины (предѣла разрушительнаго дѣйствія волнъ на камень подсыпки въ Черномъ морѣ), построены стѣнки изъ правильно уложенныхъ массивовъ до высоты немного выше морского уровня, а затѣмъ на массивахъ устроена надводная бутовая кладка съ охранной стѣнкой; рисберма подсыпки у подошвы массивовъ и наружный откосъ подсыпки (въ предѣлахъ дѣйствія волны) покрыты защитными массивами. Постройка моловъ Ялты, Феодосіи, Новороссійска и Батума относится къ періоду времени, начиная съ 1885 года, Одессы съ 1866 года, Поти и Петровска съ 1870 года. Въ Батумѣ и Новороссійскѣ примѣняли постоянно Новороссійскій портландъ-цементъ; въ Феодосіи и Ялтѣ—Новороссійскій и Глухоозерскій портландъ-цементы; въ Одессѣ—вначалѣ римскую пуцоллану съ известью и англійскій портландъ-цементъ (White and Brothers)

и затѣмъ Новороссійскій и Глухоозерскій портландъ-цементы: въ Петровскѣ—сначала мѣстные кирпичныя цемянки, англійскій портландъ-цементъ и затѣмъ Новороссійскій и Вольскій портландъ-цементы; въ Поті—сначала Тейльскую известь и мѣстный Теклятскій цементъ, а затѣмъ англійскій портландъ-цементъ и Новороссійскій портландъ-цементъ.

По мѣстнымъ оффиціальнымъ документамъ средній химическій составъ Новороссійскаго, Глухоозерскаго и Вольскаго портландъ-цементовъ и мѣстнаго Теклятскаго цемента слѣдующіе:

	Новорос- сійскъ.	Глухо- озерскъ.	Вольскъ.	Теклять.
Летучихъ веществъ . . . . .	1,86	1,03	1,26	—
Кремнеземъ (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	21,23	21,85	22,93	33,420
Глиноземъ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	10,23	7,1	6,44	12,530
Окись желѣза (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .		3,0	2,61	4,742
Известь (CaO) . . . . .	63,31	62,0	64,28	43,342
Горькоземъ (MgO) . . . . .	1,44	2,10	0,97	1,230
Сѣрная кислота (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	1,26	1,38	1,03	0,420
Щелочи (K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,60	1,60	—	0,388

Химическій составъ употребленныхъ въ 60 и 70 г.г. прошлаго столѣтія въ Одессѣ, Поті и Петровскѣ, для бетонныхъ массивовъ и для бутовой кладки, тейльской извести, пуцолланы и англійскихъ портландъ-цементовъ въ мѣстныхъ портовыхъ документахъ не указанъ вовсе; въ это время знаніе химическаго состава употребленнаго для дѣла цемента не считалось въ Россіи обязательнымъ для морскаго строителя.

Такъ какъ въ Черномъ и Каспійскомъ моряхъ нѣтъ прилива и отлива, то о состояніи подводныхъ частей южнорусскихъ портовыхъ сооруженій можно было судить по наружному осмотру ихъ въ корневой части ихъ, или на рисбермахъ, гдѣ глубина небольшая; для ознакомленія съ подводными частями сооруженій пришлось вынимать изъ воды массивы и для осмотра внутренняго ихъ состоянія разрывать массивы пороховыми зарядами на куски. Сначала, разрывы массивовъ производились подъ водой на мѣстѣ ихъ залеганія, водолазы вытаскивали

куски массива изъ воды для осмотра и взятія пробъ; но, въ послѣдствіи, замѣтивъ, что разрушенный растворъ при вытаскиваніи кусковъ изъ воды размывался, принято было подымать массивы краномъ изъ воды и, послѣ установки массива на берегу, разрывать его порохомъ на части, а еще лучше, во избѣжаніе засоренія внутреннихъ трещинъ въ массивѣ продуктами взрыва, разбивать массивъ на куски съ помощью клиньевъ и молота. На разрывъ 40-тоннаго бутового массива расходовалось до 1½ килограмма, а бетоннаго до 3-хъ килограммовъ пороха.

Песокъ во всѣхъ южно-русскихъ портахъ употребляется мѣстный, морской, весьма мелкій, и вообще плохого качества — смѣсь морскихъ ракушекъ и разрушенныхъ береговыхъ породъ известковаго песчаника и сланца. Составъ растворовъ изъ портландъ-цемента для бетонныхъ и бутовыхъ массивовъ слѣдующій: на 1 объемъ портландъ-цемента отъ 2½ до 3-хъ объемовъ песка, а для бутовой надводной кладки на 1 объемъ портландъ-цемента отъ 3 до 3½ объемовъ песка. Бетонные массивы дѣлаются голышевые изъ мелкаго голыша или гравета, собираемаго на морскомъ берегу, а щебеночные массивы изъ битаго въ щебень крупнаго голыша или рванаго карьернаго камня; послѣдніе массивы лучше, но первые значительно дешевле. Размѣръ голыша и битаго щебня въ среднемъ отъ 5 до 6 сант. съ каждой стороны. На 1 куб. метръ бетона полагается 1,08 куб. метра голыша или битаго щебня, и отъ 0,40 до 0,43 куб. метровъ цементнаго раствора, въ зависимости отъ объема пустотъ голыша или щебня, уложеннаго въ штабель. На 1 куб. метръ бутовой кладки полагается 1,1 куб. метра бутового камня и отъ 0,27 до 0,38 куб. метра цементнаго раствора, въ зависимости отъ объема пустотъ въ уложенномъ въ штабель камнѣ. Наружныя грани бутовой кладки облицованы крупнымъ камнемъ съ грубой отеской ихъ по швамъ и съ расшивкой швовъ растворомъ изъ 1 объема портландъ-цемента на 1½ до 2-хъ объемовъ песка. Составъ раствора для бетонной кладки Севастопольскихъ и Бакинскихъ доковъ былъ слѣдующій: для внутренней части 1 ч. цемента на 3 ч. песка, а для наружной 1 на 2½.

Составъ бетонныхъ массивовъ на растворѣ изъ римской пуцолланы, примѣняемый въ Одессѣ въ 1866—70 годахъ, былъ слѣдующій: на 311 пудовъ римской пуцолланы 45 пудовъ извести и 0,95 куб. саж. битаго щебня.

Составъ щебеночно-бетонныхъ массивовъ на растворѣ изъ Тейльской извести или изъ мѣстнаго Теклятскаго цемента, при-

мѣняемый въ 1868—70 годахъ въ Поті, былъ слѣдующій: на 1 объемъ извести (или цемента)  $2\frac{1}{2}$  объема песка и  $2\frac{1}{2}$  щебня (или же голыша) и также на 1 объемъ извести (или цемента) 2 объема песка и 2 объема щебня или голыша.

Результаты осмотра сооружений въ южно-русскихъ портахъ приводятъ, относительно разрушаемости гидравлическихъ растворовъ въ морской водѣ, къ аналогичнымъ выводамъ, какіе получились при осмотрѣ сооружений Западной Европы, т. е. что морская вода постепенно разрушаетъ все растворы. Для растворовъ изъ портландъ-цемента срокъ видимаго разложенія въ Черномъ морѣ опредѣляется въ 10 лѣтъ; въ это время на поверхности сооружения наблюдаются уже явственныя потеки и выпучиванія растворовъ, а также сглаживаніе кромокъ и слизываніе поверхности массивовъ, а внутри, въ растворѣ, появляются бѣлыя мѣстныя образованія и бѣлыя жилки по трещинамъ. Раньше 10-лѣтняго срока разрушеніе портландъ-цементныхъ растворовъ наблюдается видимымъ образомъ въ случаѣ неблагоприятныхъ условій для растворовъ, напримѣръ въ стѣнкахъ сухихъ доковъ, а также, если растворъ тощій и песокъ мелкій плохого качества.

Относительно другихъ растворовъ (пуцоллановыхъ и изъ тейльской извести), въ виду незначительнаго числа имѣющихся въ Поті и Одессѣ на этихъ растворахъ массивовъ, не имѣется достаточно данныхъ для опредѣленія степени ихъ разрушенія въ зависимости отъ времени ихъ погруженія въ морѣ. Повидимому и заключая изъ наблюдаемыхъ экземпляровъ, эти растворы какъ будто въ Черномъ морѣ сохраняются лучше и дольше. Такъ, напримѣръ, на рейдовомъ молѣ Одесскаго порта съ внутренней его стороны, противъ головы брекватера, былъ поднятъ краномъ старый массивъ 1868 г. съ глубины 9 метр.; фотографическій снимокъ этого массива указанъ подъ № 17. Массивъ былъ уложенъ въ 1868 г. при постройкѣ мола, затѣмъ при ремонтѣ мола въ 1895 г. онъ былъ вынутъ изъ воды и вслѣдствіе нѣкоторыхъ поврежденій брошенъ въ воду. При поверхностномъ осмотрѣ его въ 1904 г. онъ оказался покрытымъ ракушками и водорослями и представлялся снаружи нѣсколько объѣденнымъ—углы и кромки были сглажены; у этого массива отбили клиньями и молотомъ два угла; эта работа была очень трудна и при откалываніи кусковъ вытеканія молочной жидкости не наблюдалось; внутренній растворъ былъ очень крѣпокъ и плотенъ и не носилъ никакихъ видимыхъ слѣдовъ разрушенія; поверхностный слой, не содержащій свободной извести, имѣлъ толщину

отъ 20 до 30 миллиметровъ; при отбитіи же пострадавшаго ранѣ угла были найдены едва замѣтныя бѣлыя образованія.

Затѣмъ бетонный массивъ работы 1869 г. на растворѣ изъ Теклятскаго цемента, находящійся на подводномъ откосѣ съ внутренней стороны южнаго мола Потійскаго порта и поднятый изъ воды въ 1904 г., оказался покрытымъ съ наружной поверхности ракушками и водорослями; при ударахъ молоткомъ онъ легко разбивался.

Также бетонный массивъ работы 1874 г. на растворѣ изъ Тейльской извести, вынутый изъ воды въ 1904 г. изъ подводной стѣнки разбираемаго сѣвернаго мола Потійскаго порта; фотографическій снимокъ массива указанъ ниже подъ № 9; массивъ разбитъ на части порохомъ зарядомъ; наружная корка оказалась толщиной въ 1 миллиметръ и меньше.

Все вышеизложенное относилось, главнымъ образомъ, къ сооруженіямъ, воздвигнутымъ на растворѣ изъ поргандъ-цемента, и, очевидно, недостаточно уясняетъ дѣйствіе морской воды на растворы изъ другихъ гидравлическихъ связывающихъ веществъ. Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы будемъ имѣть въ виду, исключительно, растворы изъ поргандъ-цемента.

Нѣтъ никакого сомнѣнія, что вопросъ о дѣйствіи морской воды на цементы есть по преимуществу химическій. Нельзя, конечно, отрицать участіе механическихъ силъ, развиваемыхъ морской стихіей, въ разрушеніи морскихъ сооружений, но первой причиной разрушенія цементныхъ растворовъ несомнѣнно являются химическія измѣненія подъ вліяніемъ морской воды. Если бы отвердѣвшій цементный растворъ сохранялъ неизмѣннымъ свое сопротивленіе дѣйствію раздавливающихъ и скалывающихъ усилій, то надлежащимъ выборомъ конструктивныхъ размѣровъ сооружения можно было бы съ успѣхомъ бороться противъ тѣхъ механическихъ усилій, которыя могутъ развиваться въ морѣ. Но всѣ подобныя расчеты падаютъ вслѣдствіе того, что механическія свойства раствора измѣняются съ теченіемъ времени, благодаря ослабленію сцѣпленія разнородныхъ частицъ, образующихъ растворъ, и такое ослабленіе внутренней связи раствора происходитъ, главнымъ образомъ, подъ вліяніемъ тѣхъ химическихъ процессовъ, которые совершаются между морской водой и цементомъ. Поэтому прочность морскихъ сооружений всецѣло зависитъ отъ того, какъ глубоко совершается химическое взаимодействіе между морской водой и отвердѣвшимъ цементомъ. А ргіогі можно утверждать, что только такой матеріалъ будетъ вполне устойчивымъ въ морской водѣ,



компоненты котораго могутъ находиться въ равновѣсїи съ компонентами морской воды. А такъ какъ морская вода является растворомъ солей, далекимъ отъ насыщенїя, то вообще говоря какое растворимое твердое тѣло въ равновѣсїи съ морской водой находится не можетъ. Если же принять во вниманїе, что количество твердыхъ фазъ—отвердѣвшаго цемента—является безконечно малымъ по отношенїю къ количеству жидкой фазы, и что слѣдовательно составъ жидкой фазы нужно считать постояннымъ, то отсюда ясно, что даже при самой незначительной растворимости не можетъ существовать равновѣсїя въ присутствїи твердой фазы. То же самое приходится сказать и по отношенїю къ тому случаю, если твердое тѣло, растворяясь, испытываетъ гидролитическое разложенїе или диссоціацію. Въ этомъ случаѣ равновѣсїе возможно при условїи, что въ жидкой фазѣ находятся продукты диссоціаціи или въ той степени концентраціи, которая необходима для равновѣсїя, или при условїи, что твердая фаза является твердымъ растворомъ. Измѣненїемъ концентраціи котораго можетъ быть достигнуто равновѣсїе съ жидкой фазой. Оба эти случая мало вѣроятны и по отношенїю къ цементамъ не имѣютъ значенїя, такъ какъ въ цементахъ такое явленїе можетъ имѣть мѣсто по отношенїю къ силикатамъ и алюминатамъ извести, однимъ изъ продуктовъ диссоціаціи которыхъ является гидратъ окиси кальція, котораго въ морской водѣ совершенно не находится. На основанїи этого анализа мы можемъ сказать, что стойкими въ морской водѣ могутъ быть только такіе цементы, которые въ отвердѣвшемъ видѣ не содержатъ ни тѣлъ растворимыхъ, ни тѣлъ, подвергающихся гидролитической диссоціаціи. Если же этого нѣтъ, то неизбѣжно долженъ возникнуть процессъ разложенїя и онъ прекратится только тогда, когда весь растворъ подвергнется химическому превращенїю и превратится въ систему тѣлъ, находящихся въ равновѣсїи съ морской водой. Возможно, конечно, что новое тѣло, образованное при такомъ процессѣ, сохранитъ внѣшнюю форму исходной твердой фазы и будетъ обладать извѣстною механическою прочностью. Природа даетъ намъ много примѣровъ подобнаго явленїя въ образованїи такъ называемыхъ псевдоморфозъ, но по отношенїю къ цементамъ это не имѣетъ мѣста, какъ будетъ показано ниже.

Возможенъ еще одинъ случай равновѣсїя, который въ противоположность истинному равновѣсїю можно назвать случайнымъ равновѣсїемъ. Это будетъ въ томъ случаѣ, если на поверхности твердой фазы образуется неизмѣняемый слой, совершенно

устраняющей соприкосновение между твердой и жидкой фазой. Такое явление имеет место по отношению к цементам, когда они в естественных условиях покрываются оболочкой углекислого кальция: однако получаемое таким образом равновесие является мало устойчивым, так как в морской воде существуют явления, парализующие предохранительное действие этой оболочки, как это будет указано ниже.

Обращаясь к рассмотрению действия морской воды на растворы из портланд-цемента, мы считаем необходимым остановиться на составе его. Хотя по этому вопросу много еще существует неясностей и разногласий, но тем не менее имеются и хорошо установленные факты, на которых можно прочно базироваться. Согласно Ле-Шателье (Le-Chatelier) главной составляющей портланд-цемента является силикат извести  $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ , гидратацией и распадением которого обуславливается твердение цемента. Это превращение может быть выражено уравнением:



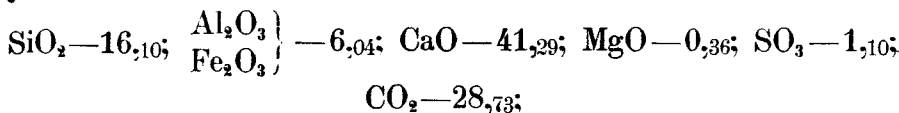
Как видно, одним из главных продуктов этой реакции является гидрат окиси кальция и присутствие значительных количеств его в затворенном портланд-цементе вне всякого сомнения. Что касается второго продукта  $\text{CaOSiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ , то существование его в цементном растворе до сих пор еще не доказано с положительностью и многими исследователями принимается, что образуется силикат другого состава. Нам кажется более правильным считать, что определенная силиката извести при твердении портланд-цемента совершенно не образуется и в окончательном виде при действии достаточного количества воды реакция твердения совершается по уравнению:



при чем гидрат кремневой кислоты выделяется не в чистом виде, но с содержанием извести, зависящим от концентрации того раствора, в котором он образуется. В пользу такого взгляда можно привести следующие наблюдения: Ньюберри (Newbery) и Смит (Smith) при действии значительного количества воды на сплавленный  $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$  (750 к. с. на 1 гр. вещ.) получали после продолжительного действия осадки состава  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Осадок подобного же состава получается, согласно Михаэлису, при действии насыщенного раствора извести на кремневую кислоту. Это довольно ясно указывает,

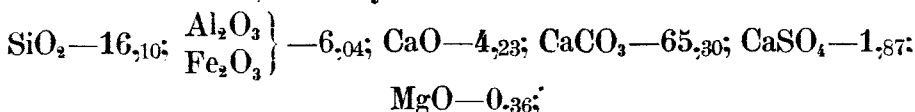
что при гидратации  $3\text{CaOSiO}_2$  выделяется кремневая кислота и такъ какъ при этомъ окружающій растворъ насыщенъ известью, то выделяются такіе комплексы  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$ , которые являются предѣломъ поглощенія извести кремневой кислотой. Съ другой стороны извѣстно, что если портландъ-цементъ обрабатывать дистиллированной водой въ отсутствіи углекислоты, то выщелачивается почти вся известь. Факты эти указываютъ, что комплексы  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$ , являющіеся результатомъ дѣйствія воды на портландъ-цементъ или  $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ , нельзя признавать за опредѣленные химическія соединенія, а скорѣе они обусловлены способностью коллоидовъ поглощать кристаллическія тѣла и давать аморфныя тѣла неопредѣленного состава въ зависимости отъ концентраціи среды, въ которой они находятся. Насколько ничтожна связь между  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  въ такихъ тѣлахъ можно видѣть изъ дѣйствія  $\text{CO}_2$  на затворенный портландъ-цементъ. Для иллюстраціи можно привести одинъ опытъ.

Былъ взятъ затворенный портландъ-цементъ годичнаго срока. При испытаніи на разрывъ онъ далъ (по прошествіи года) 45,5 кил. на кв. с. Измельченный въ порошокъ и смоченный водой онъ подвергался продолжительному дѣйствію углекислоты, причемъ время отъ времени перетирался. Когда поглощенія углекислоты болѣе не замѣчалось, онъ былъ высушенъ при  $100^\circ$  и анализированъ. Результаты получились слѣдующіе:



Щелочи, вода и пр.—100—93,73=6,33.

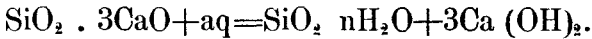
Если эти данныя перечислить, принимая, что вся  $\text{CO}_2$  соединена съ известью, то получимъ:



откуда видно, что изъ всего количества извести 41,29% остались несоединенными только 4,23%, т. е.  $\frac{1}{10}$  всей извести.

Добавимъ къ этому, что опыты Э. Шварца (E. Schwarz) непосредственно показали, что затворенный портландъ-цементъ въ тонкомъ слоѣ (3 м.м.) обладаетъ всѣми свойствами полупрозрачныхъ перепонокъ и этотъ фактъ можетъ служить прямымъ доказательствомъ того, что въ тѣлѣ затвердѣвшаго портландъ-цемента присутствуютъ коллоиды.

На основаніи всѣхъ этихъ данныхъ можно утверждать, что въ присутствіи большихъ массъ воды основную реакцію твердѣнія портландъ-цемента слѣдуетъ выражать уравненіемъ:



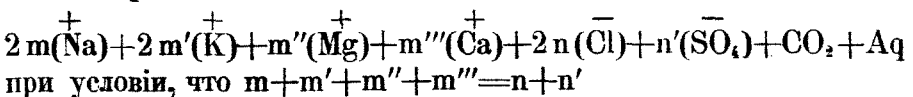
Кромѣ этихъ двухъ тѣлъ въ отвердѣвшемъ портландъ-цементѣ возможно еще существованіе алюминатовъ извести и вещества неопредѣленнаго состава, заключающаго  $\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ , и щелочи, подобнаго стекламъ или шлакамъ, которое играетъ роль плавня при обжигѣ портландъ-цемента. Оба эти тѣла имѣютъ подчиненное значеніе и во всякомъ случаѣ заключаются въ цементѣ не въ преобладающихъ количествахъ.

Такимъ образомъ главными составляющими отвердѣшаго портландъ-цемента нужно признать гидратъ окиси кальція и кремневую кислоту. Разсмотримъ теперь, какъ эти тѣла будутъ относиться къ морской водѣ.

По изслѣдованіямъ Форгаммера (Forhammer) средній составъ морской воды Атлантическаго океана можетъ быть выраженъ слѣдующими цифрами. Въ 1,000 частяхъ воды содержится:

NaCl . . . . .	26,862	части.
MgCl <sub>2</sub> . . . . .	3,239	»
MgSO <sub>4</sub> . . . . .	2,196	»
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1,350	»
KCl . . . . .	0,582	»
Остатокъ . . . . .	0,071	»

Кромѣ того въ ней всегда находится  $\text{CO}_2$ , количества которой очень мѣняются въ зависимости отъ многихъ условій, въ среднемъ можно принять около 96 — 100 мм. гр. на литръ для нашихъ странъ, согласно Буханану. Во внутреннихъ средиземныхъ моряхъ, а также возлѣ береговъ, наблюдаются болѣе или менѣе сильныя уклоненія отъ этихъ чиселъ, но въ общемъ характеръ сохраняется тотъ же. Самымъ существеннымъ здѣсь является то, что во первыхъ растворъ солей далекъ отъ насыщенія, во вторыхъ, всѣ тѣла (кромѣ  $\text{CO}_2$ ) являются электролитами. Въ виду этого удобнѣе выражать составъ морской воды не въ видѣ концентраціи солей, но въ видѣ іоновъ и тогда въ общемъ составъ морской воды можетъ быть представленъ слѣдующимъ образомъ:



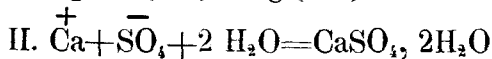
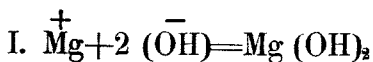
Если принять во вниманіе, что отвердѣвшій портландъ-цементъ состоитъ изъ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{CaO}$ , причеиъ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  въ водномъ растворѣ также является электролитомъ, то всѣ возможныя превращенія могутъ быть разбиты на два класса: 1) реакціи электролитовъ, обладающія большой скоростью (почти мгновенныя), и 2) реакціи неэлектролитовъ или же реакціи электролитовъ съ неэлектролитами, которыя требуютъ болѣе значительнаго промежутка времени.

1) *Реакціи электролитовъ* или реакціи обмѣннаго разложенія совершаются въ томъ случаѣ, если два іона противоположныхъ знаковъ могутъ дать соединеніе, растворимость котораго при данной температурѣ отвѣчаетъ концентраціи іоновъ меньше той, какая имѣется въ растворѣ. По отношенію къ разсматриваемому случаю мы имѣемъ:

Катионы:  $\overset{+}{\text{Na}}$ ,  $\overset{+}{\text{K}}$ ,  $\overset{+}{\text{Mg}}$ ,  $\overset{+}{\text{Ca}}$

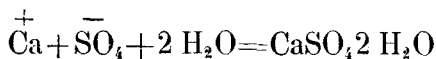
Анионы:  $\overline{\text{SO}_4}$ ,  $\overline{\text{Cl}}$ ,  $\overline{\text{OH}}$

Изъ всѣхъ возможныхъ комбинацій этому условію удовлетворяютъ:



Изъ этихъ двухъ превращеній первая реакція совершается при самихъ ничтожныхъ концентраціяхъ іоновъ  $\overset{+}{\text{Mg}}$  и  $\overline{\text{OH}}$ , такъ какъ растворимость  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  невелика. Поэтому какъ только морская вода, содержащая іоны  $\overset{+}{\text{Mg}}$  въ значительной концентраціи, приходитъ въ соприкосновеніе съ растворами извести, содержащими  $\overline{(\text{OH})}$ , тотчасъ происходитъ образованіе  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Что касается втораго превращенія, то оно непосредственно при дѣйствіи морской воды на цементъ не происходитъ, такъ какъ хотя насыщенный растворъ гипса при  $15^\circ$  въ 100 ч. воды содержитъ  $0,209$  частей, — что отвѣчаетъ содержанію  $0,0121$  іоновъ  $\overset{+}{\text{Ca}}$  и  $\overline{\text{SO}_4}$  въ 1000 ч. воды, — но въ присутствіи поваренной соли растворимость увеличивается. По даннымъ Lunge и Steiner'a при содержаніи  $3,53\%$   $\text{NaCl}$  въ литрѣ воды растворяется (при температурѣ  $21,5^\circ$  Цельсія)  $6,408$  гр.  $\text{CaSO}_4$ .

$2\text{H}_2\text{O}$ , что отвѣчаетъ концентраціи іоновъ  $0,0372$ .  $\text{Ca}^+$  и  $\text{SO}_4^-$  въ  $1000$  ч. воды. По этимъ даннымъ для воды съ  $2,68\%$   $\text{NaCl}$  растворимость гипса вычисляется въ  $5,37$  гр. на литръ, что отвѣчаетъ концентраціи іоновъ  $\text{Ca}^+$  и  $\text{SO}_4^-$  въ  $0,0312$  на литръ. Концентрація эта больше той, которую имѣютъ іоны  $\text{SO}_4^-$  въ морской водѣ: принимая вышеприведенный составъ ея, для іоновъ  $\text{SO}_4^-$  въ морской водѣ вычисляется концентрація въ  $0,02322$  на литръ ( $0,01322$  изъ  $\text{MgSO}_4$  и  $0,01000$  изъ  $\text{CaSO}_4$ ), но разница не велика, и потому въ тѣхъ случаяхъ, когда по какой либо причинѣ часть воды будетъ вступать въ соединеніе, возможна кристаллизація гипса по уравненію:



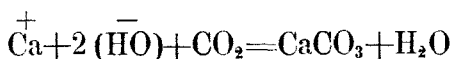
Такое явленіе въ исключительныхъ случаяхъ можетъ происходить въ замкнутыхъ полостяхъ, если какимъ нибудь образомъ доступъ воды извнѣ туда прекратится.

II. *Реакціи неэлектролитовъ.* Изъ реакцій, относящихся ко второй категоріи, самое существенное значеніе имѣетъ раствореніе извести:



реакція эта совершается непосредственно при доступѣ воды и идетъ до полного удаленія гидрата окиси кальція, такъ какъ въ морской водѣ іоновъ гидроксидла совершенно не содержится. Значеніе этой реакціи выяснено въ достаточной мѣрѣ по отношенію къ портландъ-цементу, въ особенности, благодаря трудамъ Менара (Maynard).

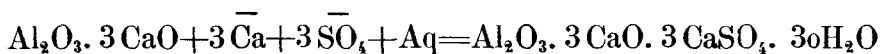
Другой весьма важной реакціей является образованіе углекислаго кальція  $\text{CaCO}_3$ , благодаря присутствію въ водѣ углекислоты. Реакція эта можетъ быть выражена уравненіемъ:



но вѣроятно она протекаетъ сложнѣе. Дѣло въ томъ, что  $\text{CaCO}_3$  не растворимъ въ чистой водѣ, но въ водѣ, содержащей  $\text{CO}_2$ , растворимъ замѣтно. Благодаря этому, образующаяся аморфная  $\text{CaCO}_3$  въ присутствіи новаго количества  $\text{CO}_2$  можетъ растворяться и изъ этого раствора снова выдѣляться въ кристаллическомъ видѣ. Велѣдствіе такой перекристаллизаціи пере-

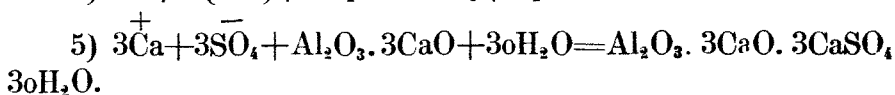
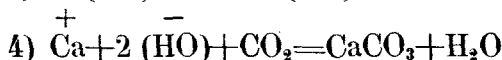
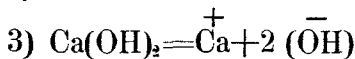
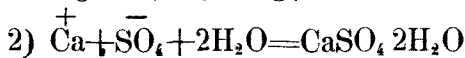
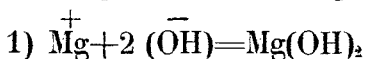
ходъ извести въ углекислую известь при извѣстныхъ условіяхъ даетъ не безсвязный порошокъ нерастворимаго осадка, какъ это имѣеть мѣсто при образованіи  $Mg(OH)_2$ , но агрегаты твердыхъ частицъ, обладающій хорошими механическими свойствами и напоминающій плотные известняки. Если при этомъ принять во вниманіе, что образующійся углекислый кальцій обладаетъ очень сильнымъ сцѣпленіемъ съ пескомъ, то важность этой реакціи для прочности цементныхъ растворовъ становится еще очевиднѣе.

Наконецъ третьей реакціей, имѣющей очень часто весьма существенное значеніе, является образованіе сульфоалюмината извести по уравненію:



Труды Михаэлиса, Кандло, Деваля и Ле-Шателье въ достаточной мѣрѣ выяснили условія образованія и значеніе этого соединенія. Оно можетъ образовываться только въ щелочной средѣ, въ присутствіи содержащихъ глиноземъ соединеній, и сопровождается значительнымъ увеличеніемъ объема. Тѣло это имѣеть временное существованіе, такъ какъ при дѣйствіи значительной массы воды оно разлагается, причѣмъ  $CaSO_4$  и  $CaO$  переходятъ въ растворъ, а окись алюминія выдѣляется въ видѣ коллидальнаго осадка.

Такимъ образомъ главнѣйшія реакціи, имѣющія мѣсто при дѣйствіи морской воды на портландъ-цементъ, будутъ слѣдующія:



Всѣ эти реакціи (исключая 2) идутъ до конца, т. е. прекращаются только тогда, когда всѣ вещества, которыя находятся въ первой части этихъ уравненій, сполна перейдутъ въ тѣ, которыя находятся во второй части. Разсматривая продукты этихъ реакцій, мы видимъ, что только два тѣла являются вполне устойчивыми въ морской водѣ:  $Mg(OH)_2$  и  $CaCO_3$ ; а если принять во вниманіе

маніе составъ самого цементнаго раствора, то приходится придти къ заключенію, что равновѣсіе установится только тогда, когда цементный растворъ превратится въ смѣсь тѣлъ:  $Mg(OH)_2$ ,  $SiO_2 \cdot nH_2O$  и  $CaCO_3$ . Изъ этихъ тѣлъ два первыя являются тѣлами аморфными и неимѣющими никакой прочности, и только третье является тѣломъ кристаллическимъ, способнымъ обладать значительнымъ сопротивленіемъ механическимъ усиліямъ. И такъ прочность и устойчивость растворовъ изъ портландъ-цемента въ морской водѣ исключительно обуславливается тѣмъ, въ какой мѣрѣ въ немъ происходитъ образованіе углекислаго калыція.

Если теперъ на основаніи этого анализа мы обратимся къ разсмотрѣнію того, что происходитъ съ массивомъ изъ портландъ-цемента при погруженіи его въ морскую воду, то картина представится въ слѣдующемъ видѣ.

Всякій массивъ, послѣ изготовленія, остается лежать на воздухѣ и опускается въ воду по прошествіи извѣстнаго времени. Срокъ выдерживанія массивовъ на воздухѣ зависитъ отъ различныхъ условій работы и колеблется отъ нѣсколькихъ недѣль до нѣсколькихъ мѣсяцевъ. За это время происходитъ реакція твердѣнія цемента и цементный растворъ пріобрѣтаетъ извѣстную механическую прочность. Въ то же время подъ вліяніемъ углекислоты воздуха происходитъ превращеніе гидрата окиси калыція въ углекислый калыцій. Послѣдняя реакція очевидно совершается на поверхности массива и распространяется отъ периферіи къ центру такимъ образомъ, что массивъ какъ бы одѣвается оболочкой, совершенно не содержащей свободной извести. Присутствіе этой оболочки весьма просто и удобно можетъ быть обнаружено при помощи извѣстнаго индикатора—феноль-фталейна. Какъ извѣстно, этотъ индикаторъ остается безцвѣтнымъ въ кислой и нейтральной средѣ, и окрашивается въ ярко-малиновый цвѣтъ въ присутствіи ѣдкихъ щелочей и извести. Поэтому если свѣжій изломъ цементнаго раствора облить спиртовымъ растворомъ феноль-фталейна, то тѣ части, которыя не содержатъ свободнаго гидрата извести, остаются безцвѣтными, тѣ же, гдѣ известь находится, окрашиваются въ яркій малиновый цвѣтъ. Пользуясь этимъ приѣмомъ, легко прослѣдить, на какую глубину произошло образованіе оболочки. Многочисленные опыты, произведенные авторами какъ надъ лабораторными образцами, такъ и надъ массивами, показали, что вообще говоря образованіе этой оболочки совершается крайне медленно, что обусловлено двумя причинами:

1) незначительнымъ содержаніемъ углекислоты въ воздухѣ



и 2) крайне медленной диффузіей воздуха внутрь цементнаго тѣла, особенно для жирныхъ растворовъ. Расчетъ показываетъ, что для чистаго портландъ-цемента, если допустить, что всего  $\frac{2}{3}$  извести могутъ быть превращены въ  $\text{CaCO}_3$ , (на самомъ дѣлѣ гораздо больше, какъ это видно изъ приведеннаго выше опыта дѣйствія  $\text{CO}_2$  на портландъ-цементъ), требуется пропустить болѣе 1,000,000 объемовъ воздуха. Поэтому толщина такой оболочки, даже по истеченіи долгаго промежутка времени, вообще бываетъ незначительна. Слѣдующіе примѣры могутъ служить подтвержденіемъ вышесказаннаго. Наблюденія производились такимъ образомъ, что отъ массива отбивались въ различныхъ мѣстахъ куски и свѣжая поверхность излома тотчасъ обливалась спиртовымъ растворомъ феноль-фталена.

Массивы, лежавшіе на воздухѣ и испытанные въ 1904 году.

Портъ.	Годъ изготовленія.	Продолжительность лежанія на воздухѣ.	Родъ цемента.	Толщина оболочки, не красящейся отъ феноль-фталена въ миллим.
1. Потъ . . . . .	1902	2 года	Русскій портландъ-цементъ.	5
2. Батумъ . . . . .	1902	2 »	Тоже	2—3
3. Потъ . . . . .	1901	3 »	»	2—3
4. Новороссійскъ . . . . .	1898	6 лѣтъ	»	10—20
5. Батумъ . . . . .	1896	8 »	»	5
6. Феодосія . . . . .	1892	12 »	»	10 мм.
7. Потъ . . . . .	1874	30 »	Русскій романъ-цементъ мѣстный (Гелъятскій).	Окраска нѣтъ.

Какъ видно изъ этихъ примѣровъ, даже по прошествіи нѣсколькихъ лѣтъ, слой, не содержащій свободной извести, достигаетъ всего нѣсколько миллиметровъ; подобное явленіе наблюдалось повсюду. Только одинъ массивъ оказался не содержащимъ свободной извести, но это былъ 30-ти лѣтній массивъ и притомъ изъ романъ-цемента. Вообще слѣдуетъ замѣтить, что романъ-цементы и известь въ растворахъ гораздо быстрѣе поглощаютъ углекислоту и для нихъ слой въ нѣсколько сантиметровъ образуется въ сравнительно короткій промежутокъ вре-

мени. Такое различіе между портландъ-цементными растворами и романъ-цементами безъ сомнѣнія обусловливается большой плотностью портландъ-цемента, а также и тѣмъ обстоятельствомъ, что кристаллическій гидратъ извести, выдѣляющійся при твердѣніи, окружаетъ зерна негидратированнаго цемента плотной оболочкой, изолирующей ее отъ доступа влаги и углекислоты.

Такимъ образомъ массивъ, опускаемый въ воду по простествіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ послѣ изготовленія, почти всегда имѣетъ чрезвычайно тонкую оболочку. Оболочка эта, какъ не содержащая свободной извести, дѣйствию морской воды не подвергается и вслѣдствіе этого въ массивѣ при погруженіи въ море начинаютъ совершаться химическія превращенія не на поверхности, но на нѣкоторой глубинѣ во внутреннихъ слояхъ. Эти превращенія, какъ указано выше, заключаются въ образованіи углекислой извести, осажденіи  $Mg(OH)_2$ , образованіи сульфоалюмината извести и раствореніи извести. Изъ этихъ реакцій только первая можетъ способствовать прочности массива, увеличивая все болѣе и болѣе толщину наружной оболочки, всѣ же остальные прогрессивно ослабляютъ прочность раствора и, увеличивая его пористость, способствуютъ болѣе быстрому ходу разрушенія. Надо, однако, замѣтить, что условія для образованія  $CaCO_3$  являются крайне неблагоприятными. Содержаніе углекислоты въ среднемъ въ литрѣ морской воды можно принять [по Буханану (Buchanan)] около 100 млгр., поэтому одинъ литръ морской воды способенъ превратить въ углекислый кальцій 127 млгр.  $CaO$ , но въ то же время, по опытамъ Э. Шварца (E. Schwarz), литръ воды съ содержаніемъ 30 гр.  $NaCl$  (что отвѣчаетъ морской водѣ) растворяетъ 1542 млгр.  $CaO$ . Такимъ образомъ морская вода, превращая нѣкоторое количество извести въ нерастворимую углекислую известь, въ то же время способна растворить 12 разъ большее количество извести. Отсюда ясно, что переходъ извести въ углекислую известь долженъ сопровождаться весьма сильнымъ выщелачиваніемъ цементнаго раствора. Одновременно съ выщелачиваніемъ цементнаго раствора внутри массива происходитъ осажденіе  $Mg(OH)_2$  и по всей вѣроятности образованіе сульфоалюмината извести. Эта послѣдняя реакція, происходя съ большимъ увеличиваніемъ объема, нарушаетъ все болѣе и болѣе внутреннюю связь частицъ, разъединяетъ ихъ и этимъ облегчаетъ доступъ воды внутрь массива, такъ какъ самъ сульфоалюминатъ, будучи тѣломъ не прочнымъ, водою разлагается и уносится, и дѣлаетъ цементный растворъ болѣе пористымъ. Результатомъ всего этого является ослабленіе

прочности массива и образование пустотъ, внутреннихъ кавернъ, наполненныхъ безсвязной массой продуктовъ разрушенія съ большимъ содержаніемъ  $Mg(OH)_2$ , а въ концѣ концовъ—полное разрушеніе массива.

Существуетъ весьма распространенное мнѣніе, что массивы, погружаемые въ морѣ, находятся въ особыхъ условіяхъ, благоприятствующихъ ихъ сохраненію; такими условіями считаютъ, между прочимъ, съ одной стороны то обстоятельство, что массивы покрываются оболочкой изъ морскихъ растений и ракушекъ, а съ другой стороны подвергаются дѣйствию углекислоты, переводящей известъ въ углекислый кальцій. Полагаютъ, что подъ вліяніемъ этихъ факторовъ массивы облекаются какъ бы броней или кольчугой, защищающей ихъ отъ проникновенія морской воды и придающей имъ, такимъ образомъ, большую устойчивость. Такое мнѣніе нужно признать безусловной иллюзіей. По нашимъ наблюденіямъ слой водорослей и ракушекъ не только не защищаетъ массивъ отъ проникновенія морской воды, но скорѣе способствуетъ разрыхленію наружной поверхности массива и этимъ быть можетъ даже ускоряетъ разрушеніе ихъ. По крайней мѣрѣ, какъ увидимъ далѣе, намъ приходилось видѣть массивы, покрытые снаружи обильной вегетаціей, внутри же совершенно разрушенные. Что же касается углекислоты, растворенной въ морской водѣ, то прямо можно утверждать, что дѣйствіе ея является скорѣе опаснымъ, чѣмъ благотворнымъ, такъ какъ, облекая массивъ сравнительно прочной, хотя и тонкой оболочкой, хорошо сопротивляющейся химическому дѣйствию морской воды, она этимъ самымъ препятствуетъ видѣть внутреннее разрушеніе и создаетъ, такимъ образомъ, иллюзію о хорошемъ состояніи массива, иначе говоря оболочка не устраняетъ зла, но только прикрываетъ его. Въ этомъ отношеніи можно привести поучительные примѣры надъ состояніемъ массивовъ въ различныхъ портахъ Чернаго моря.

Въ Новороссійскѣ нами были изслѣдованы нѣсколько подводныхъ массивовъ. Одинъ изъ этихъ массивовъ, защитный на восточномъ молѣ, изготовленный въ 1886 г. изъ поргландцемента (щебеночно-бетонный), лежалъ въ водѣ на разстояніи нѣсколькихъ десятковъ метровъ отъ берега (фотографическій снимокъ указанъ ниже подъ № 11). Снаружи массивъ былъ покрытъ сильной вегетаціей и ракушками, подъ которыми оказался слой, не красящійся отъ феноль-фталейна, толщиной въ 20 миллиметровъ, но довольно слабый. Этотъ массивъ былъ разбитъ на части и при этомъ оказалось, что внутри массива

почти весь растворъ былъ вымытъ, мѣстами въ пустотахъ между камнями наблюдалось бѣлое полужидкое вещество. Такимъ образомъ по истеченіи 18 лѣтъ почти весь растворъ былъ вымытъ. Массивъ этотъ долженъ быть признанъ сильно пострадавшимъ.

Другой подобный же массивъ, на западномъ молѣ, работы 1891 г. далъ такую же картину. Растворъ отчасти былъ вымытъ, но въ меньшей степени, чѣмъ въ предыдущемъ, въ пустотахъ наблюдались обильныя бѣлыя образования, при ударахъ массивъ легко разбивался на части (фотографическій снимокъ указанъ ниже подъ № 12). Анализъ этихъ бѣлыхъ образований, произведенный Э. Шварцемъ (E. Schwarz), далъ слѣдующіе результаты:

Воды и органическихъ веществъ . . . . .	6,51	%
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	60,96	»
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	0,58	»
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1,56	»
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,02	»
Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	1,82	»
Mg(OH) <sub>2</sub> . . . . .	16,65	»
Нерастворимый остатокъ . . . . .	10,96	»

Наружная оболочка имѣла толщину менѣе 1 миллиметра. Массивъ этотъ имѣлъ возрастъ 13 лѣтъ и, какъ видно, въ немъ разрушеніе сказалось совершенно ясно.

Подобныя же явленія наблюдались и въ Θεодосіи. Тамъ былъ поднятъ изъ воды у корня «Широкаго мола» цѣбеночно-бетонный массивъ работы 1893 г., изготовленный изъ поргладь-цемента (фотографическій снимокъ указанъ ниже подъ № 15). Массивъ лежалъ на глубинѣ 3 метровъ и вынутый изъ воды на видъ казался прекрасно сохранившимся. Снаружи онъ былъ покрытъ вегетаціей и ракушками. Однако подъ дѣйствіемъ самыхъ легкихъ ударовъ онъ былъ разбитъ на куски и когда обнажились внутреннія части, то тамъ повсюду наблюдались обильныя бѣлыя образования, заполняющія цѣлый рядъ маленькихъ кавернъ. Анализъ вещества бѣлыхъ образований, высушеннаго безъ доступа воздуха, далъ слѣдующіе результаты:

Воды и органическихъ веществъ . . . . .	12,41	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	2,52	»
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,81	»
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	19,70	»
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	1,60	»
Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	3,52	»
Mg(OH) <sub>2</sub> . . . . .	56,90	»

И здѣсь, какъ видно изъ этихъ данныхъ, громадное содержание  $Mg(OH)_2$ , происхождение которой изъ морской воды въ всякаго сомнѣнія. Наружная оболочка имѣла толщину отъ 2 до 3 миллиметровъ. Массивъ имѣлъ возрастъ 11 лѣтъ и процессъ разрушенія въ немъ достигъ уже значительнаго развитія.

Въ Ялтѣ былъ поднятъ буювой массивъ, изготовленный въ 1895 г. также на портландъ-цементѣ (фотографическій снимокъ указанъ ниже подъ № 16). Онъ лежалъ на глубинѣ 2-хъ метровъ возлѣ городской набережной и имѣлъ размѣры  $5 \times 7 \times 10$  футовъ. Съ момента укладки въ 1895 г. до момента поднятія въ 1904 г. онъ оставался на мѣстѣ безъ всякихъ перемѣщеній, такъ что всѣ измѣненія въ немъ произошли исключительно отъ дѣйствія морской воды. При поднятій краемъ онъ раздѣлился на двѣ неравныя части, изъ которыхъ нижняя, меньшая, осталась въ морѣ, а верхняя (около  $\frac{2}{3}$ ) была вынута на сушу. При наружномъ осмотрѣ онъ оказался покрытымъ сильной вегетаціей и ракушками. Изъ верхнихъ угловъ сохранился только одинъ, вообще форма была сильно измѣнена. Массивъ разбивался очень легко, причемъ внутри оказался цѣлый рядъ кавернъ, наполненныхъ продуктами разрушеній. Одни изъ этихъ продуктовъ имѣли видъ полужидкихъ бѣлыхъ образований, весьма обильныхъ, и по нимъ происходило раскалываніе массива. Другіе продукты, также весьма обильные, имѣли видъ грязи или ила безъ всякой связности. Анализъ бѣлыхъ образований далъ слѣдующіе результаты (высушено въ экскалаторѣ надъ безводной известью):

Воды и органическихъ веществъ . . . . .	41,72	%
$SiO_2$ и песокъ . . . . .	5,37	»
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . . . . .	0,68	»
$CaO$ . . . . .	40,72	»
$MgO$ . . . . .	10,35	»
$SO_3$ . . . . .	1,47	»

Какъ видно и здѣсь присутствіе большого количества  $Mg(OH)_2$  не оставляетъ никакого сомнѣнія въ сильномъ химическомъ дѣйствіи морской воды внутри массива.

Вещество, имѣющее видъ грязи или ила, высушенное при  $100^\circ C.$ , дало при анализѣ слѣдующіе результаты:

Песокъ . . . . .	42,50	%
$SiO_2$ . . . . .	2,02	»
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . . . . .	1,21	»
$CaCO_3$ . . . . .	46,21	»

Mg (OH) <sub>2</sub> . . . . .	3,45 %
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	0,70 »
Воды и органическихъ веществъ . .	4,46 »

Вся известь здѣсь находится въ видѣ CaCO<sub>3</sub> и CaSO<sub>4</sub>, и совершенно отсутствуютъ силикаты извести, слѣдовательно здѣсь мы имѣемъ полное разложеніе цемента.

Наружная оболочка имѣла толщину около 1 миллиметра.

Массивъ имѣлъ возрастъ 9 лѣтъ и показывалъ весьма сильное разрушеніе.

Другой массивъ, бетонный, работы 1893 г., въ томъ же портѣ лежалъ съ внутренней стороны защитнаго мола на глубинѣ 6 метровъ. Размѣры 3 × 2 × 3 ф. Снаружи онъ былъ покрытъ вегетацией и ракушками. Внутри растворъ оказался довольно крѣпкимъ, но начало бѣлыхъ образований наблюдалось повсюду. Углы и кромки были цѣлы. Толщина оболочки 1 миллиметръ. Массивъ имѣлъ возрастъ 11 лѣтъ и безъ сомнѣнія находился въ первой стадіи разрушенія, уже начавшагося, но не зашедшаго далеко.

Разсмотрѣнные случаи могутъ служить примѣрами разрушенія цементныхъ массивовъ тогда, когда оно совершается не на поверхности, а внутри массива. Причиною такого процесса является, какъ указано выше, присутствіе оболочки, содержащей известь въ видѣ углекислаго кальція, на который морская вода не дѣйствуетъ. По всей вѣроятности разрушеніе этого типа происходитъ въ тѣхъ массивахъ, которые не подвергаются сильнымъ механическимъ воздѣйствіямъ, что имѣетъ мѣсто на нѣкоторой глубинѣ и въ защищенныхъ мѣстахъ, гдѣ вліяніе волненія значительно ослаблено. Результатомъ этого процесса является полное внутреннее разрушеніе массива при сохраненіи внѣшней формы. Такъ какъ процессъ этотъ совершается, главнымъ образомъ, благодаря диффузіи черезъ мельчайшія поры и трещины, то разрушеніе происходитъ довольно медленно. По нашимъ наблюденіямъ первые слѣды разрушенія можно замѣтить не ранѣе 6—8 лѣтъ, совершенно явственнымъ оно становится черезъ 10 — 14 лѣтъ и полное разрушеніе совершается по прошествіи 20 и болѣе лѣтъ. Отсюда слѣдуетъ, что опыты и наблюденія даже десятилѣтней давности являются недостаточными и что при опредѣленіи степени неповрежденности массивовъ нельзя довольствоваться только внѣшнимъ осмотромъ массивовъ. На это обстоятельство указывалось ранѣе, а въ послѣднее время съ особенной настойчивостью Менаромъ (Maunard).

Очень можетъ быть, что многія «катастрофы», при которыхъ въ нѣсколько часовъ подъ вліяніемъ сильной бури разрушались громадныя сооруженія, ранѣе стоявшія совершенно неповрежденными, обязаны именно этому типу разрушенія массивовъ. Сильная буря или ураганъ, которыми въ этихъ случаяхъ объясняютъ разрушеніе сооружений, являются лишь толчкомъ, обнаруживающимъ то, что существовало и ранѣе, но только было замаскировано наружной оболочкой.

Вторымъ типомъ разрушенія цементныхъ массивовъ являются случаи, когда разрушеніе совершается преимущественно съ поверхности. Разрушеніе этого рода испытываютъ массивы, подвергающіеся механическому дѣйствию волнъ; съ особенной ясностью оно наблюдается на массивахъ, лежащихъ на уровнѣ поверхности моря. Результатомъ такого разрушенія получается характерное явленіе слизыванія массивовъ, заключающееся въ томъ, что поверхность массивовъ смывается, острые ребра и углы закругляются и получаютъ сглаженные очертанія. Такой ходъ разрушенія зависитъ отъ того, что тонкая поверхностная оболочка, не содержащая свободной извести, представляетъ ничтожное сопротивленіе механическимъ усиліямъ. Кромѣ того, связь между этой оболочкой и внутренними частями массива всегда ослаблена, такъ какъ къ поверхности ихъ соприкосновенія имѣетъ доступъ свѣжая морская вода и здѣсь, слѣдовательно, прежде всего совершается взаимодѣйствіе между морской водой и цементомъ. Это взаимодѣйствіе несомнѣнно приводитъ къ растворенію извести и осажденію  $Mg(OH)_2$ , но кромѣ того здѣсь-же имѣются на лицо всѣ условія для образованія сульфоалюмината извести \*). Эти явленія настолько ослабляютъ

\*) Хотя до сихъ поръ присутствіе сульфоалюмината извести непосредственно въ массивахъ не наблюдалось, однако, образованіе его, по крайней мѣрѣ временное, весьма вѣроятно. Это слѣдуетъ изъ того, что въ массивахъ, погруженныхъ въ морскую воду, имѣются на лицо всѣ условія, для образованія этого соединенія. Кромѣ того въ пользу этого предположенія можно привести слѣдующія наблюденія. Намъ были доставлены два образца молочной жидкости, вытекающей изъ цементныхъ растворовъ. Одинъ образецъ былъ собранъ въ 1902 году проф. Шуляченко и инж. Чарномскимъ въ Булони изъ шлама, другой былъ собранъ въ Одессѣ изъ массивовъ 1868 года, вынутыхъ изъ воды въ 1900 году, инж. Чеховичемъ. Анализы этихъ образцовъ дали слѣдующіе результаты (образцы были высушены и имѣли видъ бѣлаго порошка):

	Летучее.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>
Образецъ изъ Булони:	32,03	0,85	0,56	65,12	0,82	—
» » Одессы:	28,83	1,02	0,63	68,50	0,94	—

какъ видно изъ этихъ анализовъ въ образцахъ совершенно отсутствуютъ сернокислыя соли, хотя цементные растворы подвергались продолжительное время дѣйствию морской воды, содержащей гипсъ. Очевидно, существуетъ какая то причина, удерживающая серную кислоту въ нерастворенномъ соединеніи и такой причиной всего вѣроятнѣе слѣдуетъ считать образованіе сульфоалюмината извести.

сдѣленіе между наружной оболочкой и тѣломъ массива, что достаточно самыхъ незначительныхъ механическихъ усилій волны, чтобы эта оболочка была смыта. Подъ вліяніемъ углекислоты, растворенной въ морской водѣ, снова происходитъ образованіе оболочки, которая снова смывается и т. д. И такимъ образомъ, хотя массивъ всегда покрытъ оболочкой, не подвергающейся дѣйствію морской воды, но онъ непрерывно разрушается. Случаи такого разрушенія нами наблюдались повсюду: въ Батумѣ, въ Поті, въ Новороссійскѣ, въ Феодосіи и въ Ялтѣ. Толщина оболочки, не окрашивающейся отъ фенолфталеина, въ большинствѣ случаевъ была около 0,1 — 0,2 миллиметра и никогда не бывала болѣе 1—2 миллиметровъ. Только одинъ массивъ изъ русскаго портландъ-цемента обнаружилъ оболочку толщиною въ 50 миллиметровъ. Онъ находился въ Поті на южномъ молѣ и хотя постоянно подвергался удару волнъ, но сохранился безъ всякихъ поврежденій. Массивъ этотъ разбивался съ большимъ трудомъ.

Приведенныя наблюденія показываютъ, что выщелачиваніе значительнаго количества извести изъ портландъ-цементныхъ растворовъ является неизбѣжнымъ и составляетъ главную причину разрушенія массивовъ.

Относительно механизма этого явленія прежде полагали, что наружная вода проникаетъ внутрь массива, растворяетъ известь и этотъ растворъ выносится наружу, такимъ образомъ, процессъ этотъ разсматривали какъ непрерывную фильтрацію.

Однако г. Ле-Шателье показалъ, что дѣло обстоитъ иначе и выщелачиваніе извести совершается, главнымъ образомъ, въ силу диффузіи, благодаря осмотическому давленію раствореннаго вещества. Взглядъ этотъ нужно считать болѣе правильнымъ, хотя при извѣстныхъ условіяхъ въ массивахъ можетъ совершаться непосредственно фильтрація—это имѣетъ мѣсто въ тѣхъ случаяхъ, когда существуетъ гидростатическое давленіе или разность уровней жидкости съ двухъ сторонъ массива, что напримѣръ постоянно совершается въ докахъ. Во всякомъ случаѣ, совершается ли выщелачиваніе извести вслѣдствіе диффузіи, что обуславливается разностью осмотическаго давленія въ растворѣ внутри и снаружи цементнаго раствора, или оно происходитъ при помощи фильтраціи, что обуславливается разностью гидростатическаго давленія снаружи и внутри массива, результатъ будетъ одинъ и тотъ же, хотя достигается онъ въ различный промежутокъ времени. Существеннымъ обстоятельствомъ здѣсь является лишь то, что и для фильтраціи и для диффузіи необходимо,



чтобы массивъ представлялъ простую механическую проницаемость для воды, т. е. быть пористъ, а это имѣетъ мѣсто для всякихъ растворовъ изъ поргландь-цемента, хотя и въ различной степени. Все различіе между фильтраціей и диффузіей заключается лишь въ томъ, что въ одномъ случаѣ перемѣщается растворитель—вода, а въ другомъ случаѣ перемѣщается растворенное тѣло—известь, тамъ, гдѣ нѣтъ фильтраціи, не будетъ и диффузіи. Такъ какъ невозможно получить цементныхъ растворовъ, которые при нѣкоторомъ давленіи не пропускали бы воду, то достиженіе абсолютной водонепроницаемости массивовъ является неосуществимымъ и, слѣдовательно,—какъ бы ни совершалось выщелачиваніе извести, тѣмъ или инымъ путемъ, оно неизбежно должно привести къ разрушенію массива, весь вопросъ только во времени. Съ этой точки зрѣнія рѣшеніе вопроса о наилучшихъ пропорціяхъ бетона, представляетъ большую практическую важность.

Насколько сильно происходитъ фильтрація черезъ поргландь-цементные растворы, можно судить по наблюденіямъ въ докахъ. Въ этомъ отношеніи нами были изслѣдованы два дока: въ Баку—докъ Дадашева (коммерческой) и въ Севастополь—малый докъ (военный). Стѣнки перваго дока представляютъ каменную кладку (изъ известняка) на растворѣ изъ поргландь-цемента, стѣнки же Севастопольскаго дока сооружены изъ бетона на поргландь-цементѣ. Картина разрушенія въ обоихъ докахъ наблюдалась одинаковая: цѣлый рядъ потековъ на стѣнкахъ дока указывалъ, что фильтрація происходитъ непрерывно. (Фотографическіе снимки потековъ въ докѣ Дадашева указаны ниже подъ №№ 18 и 19).

Потеки эти состоятъ, главнымъ образомъ, изъ водной окиси кальція и углекислаго кальція, что ясно указываетъ на выщелачиваніе извести изъ поргландь-цемента. На сколько сильно происходитъ здѣсь выщелачиваніе можно видѣть изъ слѣдующихъ данныхъ: въ Севастополь на днѣ малаго дока нами была собрана жидкость, которая представляла явно щелочную реакцію. Анализъ этой жидкости показалъ, что въ ней содержится 0,036%  $\text{CaSO}_4$  и 0,209%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , т. е. это былъ насыщенный растворъ извести (благодаря присутствію другихъ солей, растворимость извести больше, чѣмъ въ чистой водѣ). При этомъ слѣдуетъ указать на слѣдующее обстоятельство: вода, проникающая въ докъ, была двоякаго происхожденія: часть ея вытекала изъ трещинъ, видимыхъ непосредственно, иногда довольно значительныхъ, эта вода отъ феноль-фталейна не окрашивалась, дру-

гая же часть просачивалась сквозь всю толщу стѣны и эта вода отъ феноль-фталейна окрашивалась въ ярко малиновый цвѣтъ. Наблюденія эти показываютъ, что независимо отъ протѣхъ трещинъ вся стѣна является какъ бы фильтромъ, сквозь толщину котораго непрерывно происходитъ проникновеніе воды. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ на стѣнахъ наблюдались полужидкіе потеки. Анализъ одного образца далъ слѣдующіе результаты:

Воды и органическихъ веществъ . . . . .	14,13	%
Песка . . . . .	2,82	»
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1,65	»
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,53	»
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	77,05	»
Mg(OH) <sub>2</sub> . . . . .	0,78	»
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	2,26	»

Какъ видно, потекъ состоитъ, главнымъ образомъ, изъ извести (углекислой подъ вліяніемъ воздуха).

Кромѣ полужидкихъ потековъ наблюдались и твердые потеки. Одинъ изъ такихъ потековъ образовался въ углу со стороны батопорта и имѣлъ въ длину отъ 5—6 метровъ. Анализъ образца, собраннаго съ этого потока, далъ слѣдующіе результаты:

Воды и органическихъ веществъ . . . . .	7,68	%
Песка . . . . .	0,60	»
SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,61	»
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,16	»
Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	0,53	»
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	32,92	»
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	3,03	»
Mg(OH) <sub>2</sub> . . . . .	53,91	»

Подобныя явленія наблюдались нами и въ докѣ въ Баку. Заканчивая настоящее изслѣдованіе, мы должны сказать, что главною причиною разрушенія портландъ-цементныхъ растворовъ является раствореніе извести. Борются съ этимъ явленіемъ возможно было бы однимъ способомъ: превращая всю известь въ углекислую известь, и въ этомъ отношеніи выдерживаніе возможно долгое массивовъ на воздухѣ при постоянномъ смачиваніи водой, является очень полезнымъ. Всѣ другія средства, какъ то облицовываніе бетоновъ водонепроницаемыми веществами, употребленіе болѣе плотныхъ растворовъ, прибавка пуццоланъ, хотя и могутъ оказаться полезными, но должны

считаться палліативами. И если въ настоящее время техника не обладаетъ болѣе пригоднымъ матеріаломъ для изготовленія массивовъ для морскихъ сооружений, чѣмъ портландъ-цементъ, то этотъ послѣдній является лишь относительно лучшимъ, чѣмъ другіе матеріалы. Твердую увѣренность въ прочности морскихъ сооружений на портландъ-цементѣ техника получить только тогда, когда будетъ найденъ способъ, простой и дешевый, превращать всю известь цемента въ углекислый кальцій.

Наглядное понятіе о характерѣ наблюдаемыхъ въ южно-русскихъ портовыхъ сооруженияхъ разрушеній даютъ слѣдующіе фотографическіе виды, снятые въ 1904 году:

№№ 2 и 8 виды внѣшней стороны головы южнаго мола Петровскаго порта: а именно—охранной бутовой стѣнки и бутовыхъ массивовъ на откосѣ, а также бетонныхъ запасныхъ массивовъ (оштукатуренныхъ) на самой стѣнкѣ, работы 1897—1900 г.г. на растворѣ изъ Новороссійскаго портландъ-цемента (1 об. цем. и 3 об. песка); на томъ же откосѣ мола видны полуразрушенные бутовые массивы; изъ нихъ—одни сдѣланы на растворѣ изъ англійскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на 3 ч. песка), а другіе изъ кирпичной цемянки съ известью работы 80-хъ годовъ прошлаго столѣтія.

№№ 1 и 3 виды головы сѣвернаго мола Петровскаго порта, состоящей изъ надводной стѣнки, уложенной въ 1880 г. изъ каменныхъ глыбъ на известковомъ растворѣ, и изъ полуразрушенныхъ бутовыхъ массивовъ, составленныхъ внутри изъ сухой кладки и снаружи изъ кладки на растворѣ изъ англійскаго портландъ-цемента, работы 1881 года.

№№ 4 и 7 виды полуразрушенной части охранной стѣнки на южномъ молѣ Петровскаго порта; составленной изъ бутовой кладки на растворѣ изъ кирпичной цемянки съ известью, работы 80-хъ годовъ прошлаго столѣтія.

№№ 5 и 6 виды наброски изъ защитныхъ массивовъ съ внѣшней стороны волнолома Потійскаго порта; наброска сдѣлана въ 1902—1903 гг. и состоитъ частью изъ старыхъ массивовъ работы 70-хъ годовъ прошлаго столѣтія, вынутыхъ изъ подводной стѣнки разобраннаго въ 1904 году сѣвернаго мола, частью изъ новыхъ массивовъ работы 1900—1902 гг. На фотографіи № 5 указана нижняя половина разбитаго пороховымъ зарядомъ бутового массива работы 1901—1902 гг. на растворѣ изъ Новороссійскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на  $2\frac{1}{2}$  ч. песка); растворъ оказался вполне исправнымъ; на фотографіи № 6 указана боковая часть разбитаго пороховымъ зарядомъ бетон-

наго массива работы 1878 г., на растворѣ изъ англійскаго цемента Робинса (1 ч. цемента на  $2\frac{1}{2}$  ч. песка); растворъ оказался съ незначительными бѣлыми разрушеніями внутри и съ потеками снаружи.

№№ 9 и 10 виды бетонныхъ массивовъ работы 1874—1878 гг. на растворѣ изъ Тейльской извести (1 ч. извести на 1,4 ч. песка), вынутыхъ въ 1904 г. изъ подводной стѣнки разобраннаго стараго сѣвернаго мола. Массивы по наружному виду оказались вполне исправными.

№№ 11 и 12 виды уложенныхъ въ 1886 г. на вѣшной бермѣ близъ корня восточнаго мола Новороссійскаго порта и въ 1896 г. на бермѣ западнаго мола того же порта защитныхъ бетонныхъ массивовъ, сдѣланныхъ на растворѣ изъ Новороссійскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на 3 ч. песка); массивы по наружному виду оказались полуразрушенныя; анализъ раствора одного изъ нихъ, разбитаго пороховымъ зарядомъ, помѣщенъ выше на стр. 29.

№ 13 видъ наружной части восточнаго мола Новороссійскаго порта—у уровня воды на разстояніи 150 сажень отъ корня мола; работа массивовъ и бутовой кладки 1886—1888 г.: видны слѣды разрушеній низа бутовой кладки и верхнихъ массивовъ.

№ 14 видъ разрушеннаго известковаго песчаника, употребленнаго въ 1892 г. для облицовки бутовой охранной стѣнки на защитномъ молѣ Феодосійскаго порта.

№ 15 видъ вынутаго въ 1904 г. изъ воды щебеночно-голышеваго массива, уложеннаго въ 1892 г. на наружномъ откосѣ у корня широкаго мола Феодосійскаго порта; массивъ работы 1892 г. на растворѣ изъ Глухоозерскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на 3 ч. песка); по наружному виду массивъ оказался обросшимъ травой и вполне исправнымъ; разбитый клиньями и молотомъ обнаружилъ внутри разрушеніе раствора съ бѣлыми образованіями; анализъ раствора помѣщенъ выше на стр. 29.

№ 16 видъ вынутаго въ 1904 г. изъ воды бутового массива, расположеннаго на откосѣ городскихъ набережныхъ Ялтинскаго порта; массивъ работы 1895 г. на растворѣ изъ Глухоозерскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на  $2\frac{1}{2}$  ч. песка); разбитый клиньями и молотомъ обнаружилъ внутри разрушеніе раствора съ бѣлыми образованіями; анализъ раствора помѣщенъ на стр. 30.

№ 17 видъ вынутаго въ 1904 г. изъ воды щебеночно-бетоннаго массива, расположеннаго на внутреннемъ откосѣ рейдо-

вой части карантиннаго мола Одесскаго порта; массивъ работы 1868—1869 гг. на растворѣ изъ римской пуцолланы съ известью (311 пуд. пуцолланы, 45 пуд. извести и 0,95 куб. саж. щебня).

Три образчика изъ этого массива, обтесанные въ 1904 г. въ правильные кубики, были подвергнуты давленію въ Одесской портовой испытательной станціи и обнаружили слѣдующее сопротивленіе разрушенію:

1-й образецъ размѣрами 6,5 на 6,5 на 6,5 сантиметровъ—1500 килограммъ.

2-й образецъ размѣрами 6,5 на 6,5 на 6,5 сантиметровъ—1500 килограммъ.

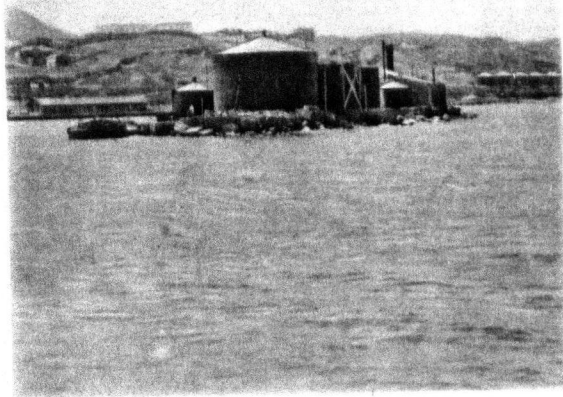
3-й образецъ размѣрами 6,3 на 6,8 на 5,8 сантиметровъ—3100 килограммъ. Разрушающее давленіе составитъ на 1 квадратный сантиметръ для 1-го образца  $\frac{1500}{42,23} = 35,5$  килограммъ, для 2-го  $\frac{1500}{42,23} = 35,5$  килограммъ и для 3-го  $\frac{3100}{46,24} = 67,2$  килограммъ.

№№ 18 и 19 показываютъ виды потековъ на стѣнкахъ сухого бетоннаго дока Г. Дадашева въ Баку, построеннаго въ 1897—1899 гг. на растворѣ изъ Новороссійскаго портландъ-цемента (1 ч. цемента на 3 ч. песка).

Такіе же потеки и бѣлыя образованія наблюдались и въ двухъ сухихъ докахъ Севастополя. Анализы потековъ и бѣлыхъ образованій, взятыхъ изъ Севастопольскихъ доковъ, помѣщены выше на стр. 35.

№ 20 На этой фототиніи показанъ видъ полуразрушенныхъ массивовъ на волноломѣ Потійскаго порта.

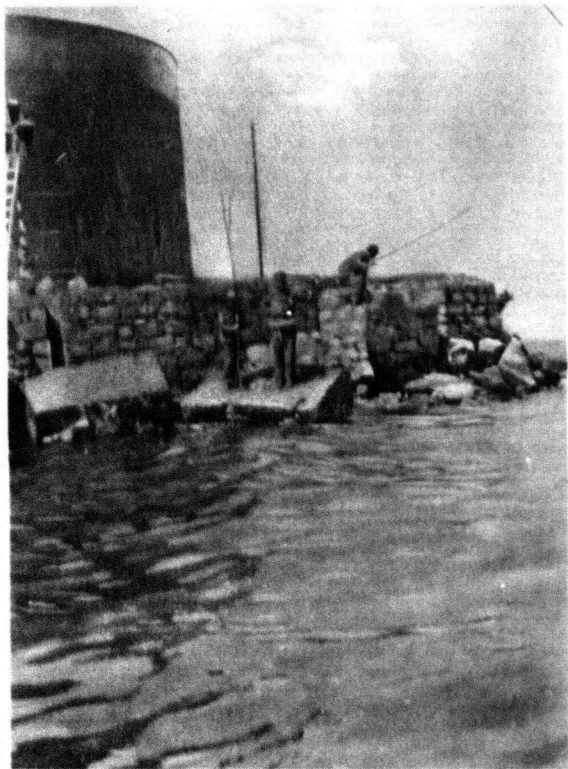
---



№ 1. Петровскъ. Видъ головы Сѣвернаго мола.



№ 2. Петровскъ. Видъ внѣшней стороны головы Южнаго мола.



№ 3. Петровскъ. Видъ головы Сѣвернаго мола.



№ 4. Петровскъ. Видъ полуразрушенной части охранной стѣнки на Южномъ молѣ.



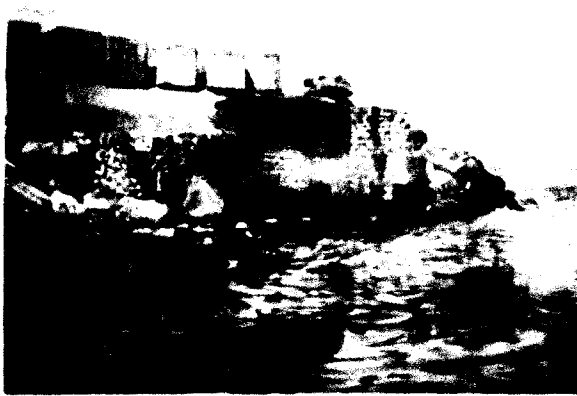
№ 5. **Поти.** Видь наброски изъ защитныхъ массивовъ съ вѣшной стороны волнолома.



№ 6. **Поти.** Видь наброски изъ защитныхъ массивовъ съ вѣшной стороны волнолома.



№ 7. **Петровскъ.** Видь полуразрушенной части охранной стѣнки на Южномъ молѣ.



№ 8. **Петровскъ.** Видь вѣшной стороны головы Южного мола.





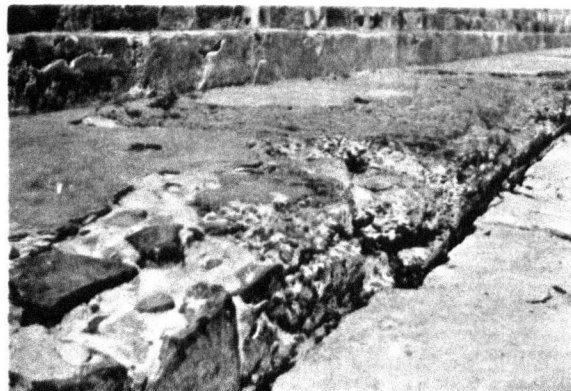
№ 9. **Поти.** Видъ бетонныхъ массивовъ работы 1874-78 г. на растворѣ изъ Тейльской извести.



№ 10. **Поти.** Видъ бетонныхъ массивовъ работы 1874-78 г., на растворѣ изъ Тейльской извести.



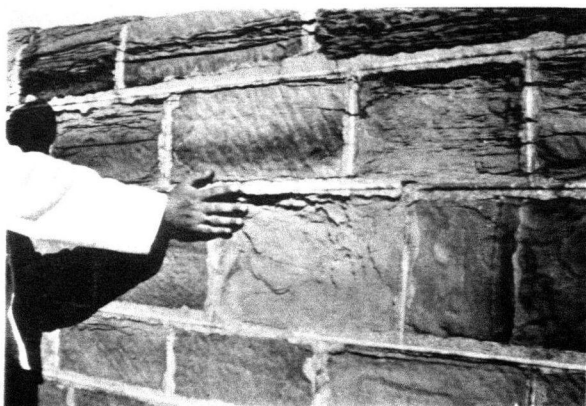
№ 11. **Новороссійскъ.** Видъ защитныхъ массивовъ, уложенныхъ на вѣшной бермѣ Восточнаго мола.



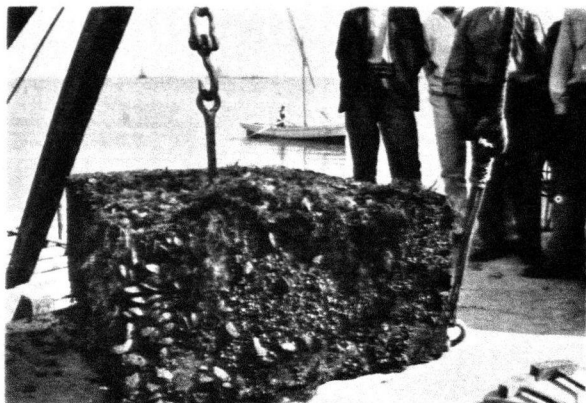
№ 12. **Новороссійскъ.** Видъ защитныхъ массивовъ, уложенныхъ на вѣшной бермѣ Западнаго мола.



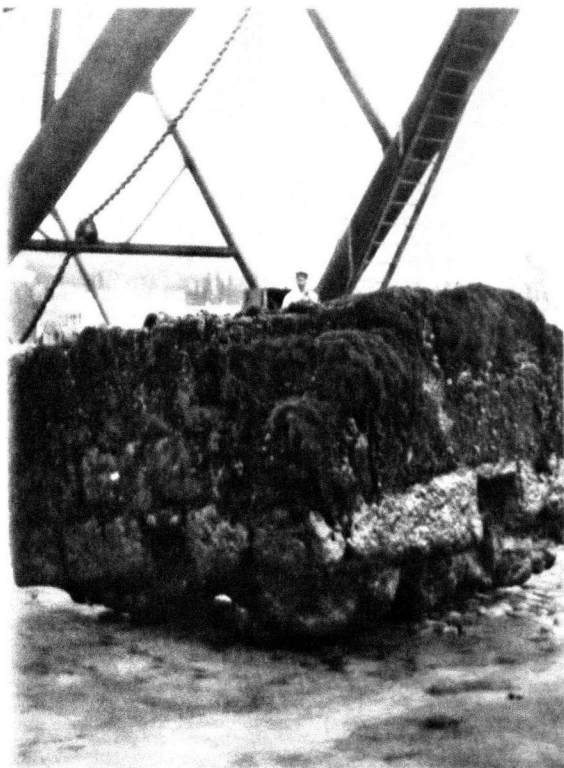
№ 13. Новоросійськъ. Видъ наружной части  
Восточнаго мола.



№ 14 Феодосія. Видъ разрушеннаго известкаго песчаника въ  
облицовкѣ охранной стѣнки защитнаго мола.



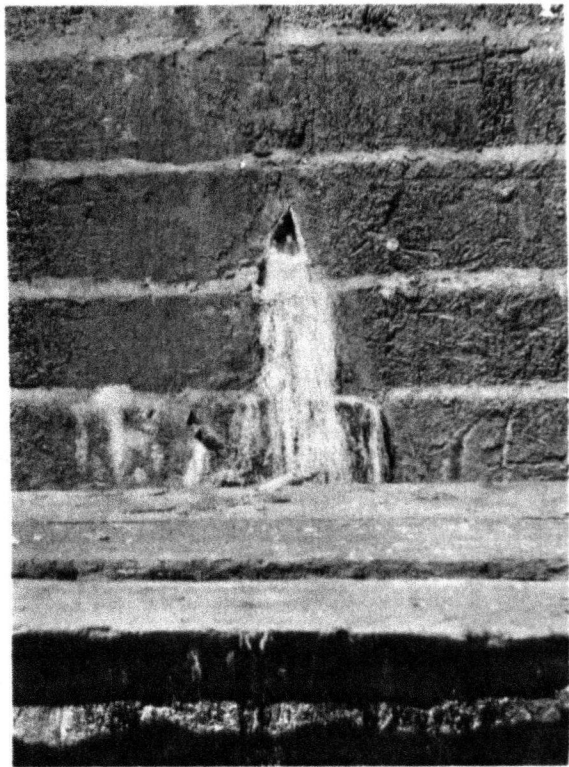
№ 15. Феодосія. Щебеночно-голышевый массивъ, работы 1892 г., вынутый изъ воды въ 1904 г. съ наружнаго откоса у корня Широкаго мола.



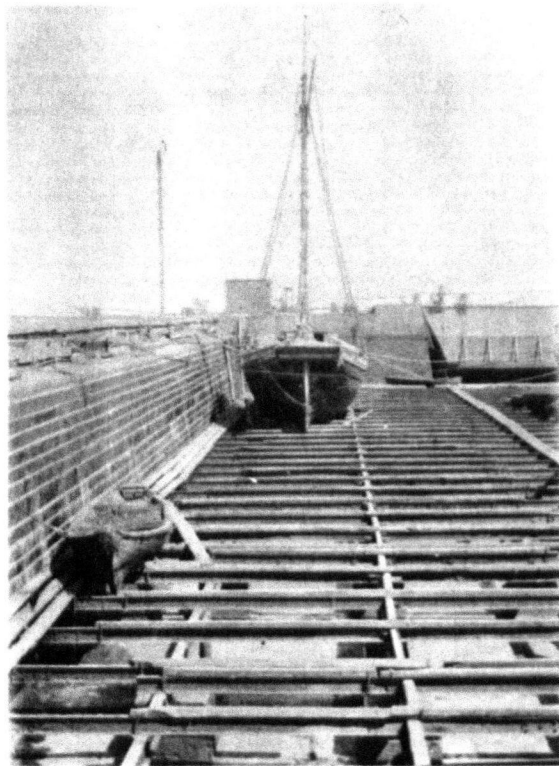
№ 16. Ялта. Бутовый массив работы 1895 г.,  
вынутый в 1904 г. сь откоса городских набереж-  
ныхъ.



№ 17. Одесса. Щебеночно-бетонный массив на рас-  
творъ изъ римской пуцолланы сь известью, работы  
1868-69 г. Вынуть изъ воды в 1904 г. сь внутрен-  
него откоса рейдовой части Карантиннаго мола.



№ 18. Баку. Видъ потековъ на стѣнкахъ сухого дока Г. Дадашева.



№ 19. Баку. Видъ потековъ на стѣнкахъ сухого дока Г. Дадашева.



№ 20. Поти. Видъ разрушенныхъ массивовъ на волноломѣ съ внѣшней стороны.