

Приборы для быстрого и достаточно точнаго опредѣленія удѣльнаго вѣса льда и сопротивленія его на изломъ.

Б. П. Вейнберга.

1. Въ половинѣ марта 1911 г. комиссія по предупрежденію наводненій при Томскомъ городскомъ общественномъ самоуправленіи обратилась ко мнѣ въ лицѣ ея предсѣдателя, Е. Л. Зубашева, съ просьбою выработать программу и методы наблюдений, которыя могли бы дать матерьялъ для предсказаній срока наступленія ледохода и интенсивности его и вызываемыхъ имъ наводненій. За малостью времени, остававшася (предположительно) до ледохода этого года, я рѣшилъ использовать его лишь для выработки методовъ, которые позволяли бы слѣдить за послѣдовательными—по мѣрѣ приближенія ледохода—измѣненіями нѣкоторыхъ физическихъ свойствъ льда, характеризующимися въ обыденной рѣчи словомъ „разрыхленіе“. Такими свойствами льда мнѣ казались удѣльный вѣсъ и сопротивленіе его на разломъ,—и я сдѣлалъ попытку выработать методы и сконструировать простые приборы, которые позволяли бы быстро и достаточно точно опредѣлять эти величины для ряда кусковъ льда, взятыхъ на различномъ разстояніи отъ его свободной поверхности.

2. Такъ какъ врядъ ли можно было ожидать, чтобы измѣненія удѣльнаго вѣса были значительными, то естественно было прибѣгнуть къ методу варіаціоннаго типа. Такимъ методомъ представился мнѣ способъ, который явился бы соединеніемъ всплыванія съ методомъ гидростатическаго взвѣшиванія: была бы взята жидкость, не дѣйствующая на ледъ и лишь слегка уступающая ему по удѣльному вѣсу, и опредѣленію подлежалъ бы при каждомъ испытаніи, кромѣ вѣса куска льда, тотъ небольшой „камушійся“ вѣсъ, который испытываемый кусокъ имѣлъ бы въ этой жидкости. Способъ этотъ¹⁾ позволяетъ произвольно далеко увеличивать точность: если пользоваться для опредѣленія небольшого вѣса льда въ жидкости болѣе чувствительными вѣсами, чѣмъ для опредѣленія вѣса самого куска, то точность опредѣленія удѣльнаго вѣса куска льда почти равна точности опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкости.

Въ самомъ дѣлѣ, называя чрезъ x удѣльный вѣсъ льда, чрезъ Δ —удѣльный вѣсъ жидкости, чрезъ δ —удѣльный вѣсъ воздуха въ усло-

¹⁾ Подробнѣе описанъ въ Журн. Русск. Физ.-Хим. Общ., т. 43, 1911, стр. 338—339.

віяхъ опыта, чрезъ P —вѣсъ куска льда въ воздухѣ, а чрезъ p —вѣсъ куска льда въ жидкости, имѣемъ:

$$\frac{P}{P-p} = \frac{x-\delta}{\Delta-\delta}. \quad (1)$$

Отсюда, принимая во вниманіе, что p мало въ сравненіи съ P , находимъ послѣдовательно

$$x = (\Delta - \delta) \frac{P}{P-p} + \delta = (\Delta - \delta) \frac{1}{1 - \frac{p}{P}} + \delta = (\Delta - \delta) \left(1 + \frac{p}{P}\right) + \delta = \Delta + \frac{p}{P}(\Delta - \delta). \quad (2)$$

Удобною жидкостью оказалась смѣсь — приблизительно равныхъ по вѣсу частей — русского скипидара (*oleum terebenthinae rossicum*) и льняного масла (*oleum lini recens*), но, такъ какъ обильные пузырьками воздуха куски льда изъ верхнихъ слоевъ бывали легче этой смѣси, то, хотя нагрузка ихъ добавочными гириями и не представляетъ значительныхъ усложненій, лучше, пожалуй, для такихъ кусковъ будетъ пользоваться смѣсью изъ двухъ частей льняного масла и одной части скипидара.

Опытъ показалъ, что даже два сосѣднихъ куска одного и того же слоя могутъ давать разности въ удѣльномъ вѣсѣ, достигающія иногда до тысячной. Поэтому я счелъ достаточною точность въ 5 десяти тысячныхъ — тѣмъ болѣе, что измѣненіе температуры на 1° вызываетъ измѣненіе удѣльнаго вѣса смѣси скипидара и льняного масла приблизительно на 7–8 десяти тысячныхъ, а поддерживать и измѣрять температуру въ предполагаемыхъ условіяхъ опыта — на рѣкѣ или вблизи нея — врядъ ли возможно точнѣе, чѣмъ до $0^\circ.2$.

Такая точность легко достижима, и, слѣд., оставалось осуществить второе условіе: быстроту измѣренія при этой степени точности. Для этой цѣли я предположилъ пользоваться не рычажными, а пружинными вѣсами, точность которыхъ — при условіи достаточно малой разности удѣльнаго вѣса льда и выбранный жидкости — вполне достаточна.

3. Окончательно я остановился на слѣдующемъ наборѣ приборовъ. Для взвѣшиванія куска льда на воздухѣ примѣнялись пружинные вѣсы съ предѣльною нагрузкою въ 5 кгр. и дѣленіями въ 100 гр., допускавшими отчетъ съ погрѣшностью въ 10–20 гр. (рис. 1, слѣва). Изъ льда выпиливался кусокъ квадратнаго сѣченія (сторона около 20 см.)

по всей толщѣ куска; этотъ кусокъ перепиливался на куски сантиметровъ въ 12—15 толщиною, и имъ придавалась—финскимъ ножомъ—приблизительно цилиндрическая форма (діаметръ—см. 18). Такой кусокъ вѣсилъ 3—4 кгр. и, слѣд., достаточно было нѣсколькихъ десятковъ секундъ, чтобы опредѣлить вѣсъ его въ воздухѣ съ погрѣшностью, во всякомъ случаѣ, не превышающею 1%.

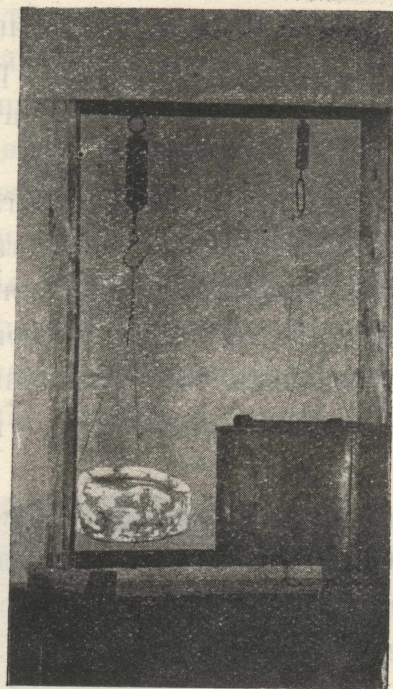


Рис. 1.

Для взвѣшиванія такого куска льда въ смѣси скипидара и льняного масла служилм пружинные вѣсы съ предѣльною нагрузкою въ 100 гр. и дѣленіями въ 5 гр., допускавшіе отчетъ съ точностью около 1 гр. Чашка, какъ у этихъ, такъ и у тѣхъ вѣсовъ, представляла кольцообразную полоску алюминіевой жести (вѣсъ ея у этихъ вѣсовъ, съ проволоками, 33 гр.). Удѣльный вѣсъ изслѣдованныхъ кусковъ льда колебался отъ 0.906 до 0.910, а удѣльный вѣсъ жидкости, температура которой въ различныхъ опытахъ измѣнялась между 2° и 8°C., былъ около 0.909 при 0°, 0.903—при 8°; вѣсъ же въ жидкости куска въ 3—4 кгр. (т. е. объемомъ въ 3300—4400 см.³) при разности удѣльных вѣсовъ въ 0.001, составляетъ 3—4 гр. Отсюда ясно, что примененные пружинные вѣсы давали погрѣшность около 0.0002—0.0003 въ разности удѣльных вѣсовъ льда и жидкости, что вполне достаточно для намѣченной цѣли.

Замѣчу, что при произведенныхъ мною наблюденіяхъ эту погрѣшность превышала погрѣшность въ опредѣленіи самаго удѣльнаго вѣса

жидкости — за отсутствием въ то время подходящаго ареометра достаточной чувствительности и за трудностью примѣненія вѣсовъ Мора на открытомъ воздухѣ. Имѣя же, напр., ареометръ со скалою 0.880—0.940 и дѣленіями въ 0.0005 и подвергая испытанію куски льда 18 см. діаметромъ и 20 см. высотой — вѣсомъ около $4\frac{1}{2}$ кгр. —, можно легко съ нашимъ наборомъ вѣсовъ опредѣлять удѣльный вѣсъ льда съ точностью до 0.0002.

4. Приведу въ таблицѣ I результаты, полученные весною 1911 г. при изслѣдованіи двухъ кусковъ льда (поперечные размѣры около 70×70 см.²), которые взяты были съ р. Томи 23 марта (толщина безъ наста 70 см.) и 31 марта (толщина безъ наста 55 см.) и сохранявшихся затѣмъ на дворѣ лабораторій подъ слоемъ снѣга. Позже уже нельзя было вырубать ледъ, такъ какъ его поверхность была подъ водою, а 11 апрѣля ледъ пошелъ. Результаты, относящіеся къ различнымъ днямъ измѣренія, плохо сравнимы между собою, потому что составъ смѣси былъ не вполне одинаковъ въ различные дни, а измѣренія вѣсами Мора — а сначала грубымъ ареометромъ — не позволяютъ ручаться болѣе, чѣмъ за 0.001.

Въ таблицѣ I приведены удѣльные вѣса кусковъ льда, вычисленные съ точностью до 0.0001; первая строка даетъ день испытанія, первый столбецъ — порядковый номеръ куска, если считать отъ свободной поверхности (верхней).

Таблица I.

	24.3.11	26.3.11	31.3.11	1.4.11	2.4.11
I	0.9111	0.8812	0.9100	0.8899	0.8747
II	0.9167	0.9131	0.9029	0.8752	0.8759
III	0.9151	0.9150	0.9160	0.9166	0.9137
IV	0.9180	0.9154	0.9110	0.9155	0.9092
V	0.9149	0.9160	0.9165	0.9208	0.9149
VI	0.9149	0.9157	—	—	—

Эти опредѣленія можно разсматривать лишь, какъ пробу предложеннаго мною способа, показавшую, между прочимъ, на необходимость пользоваться заранѣе охлажденною до 0° жидкостью: при нашихъ измѣреніяхъ температура жидкости сильно измѣнялась, — напр., 2.4.11 отъ 4°5 въ началѣ измѣреній до 2°7 въ концѣ ихъ, причемъ температура жидкости наверху сосуда и внизу его, несмотря на перемѣшиваніе путемъ подниманія и опусканія взвѣшиваемаго куска льда, различалась обыкновенно на 1°.—2°. Во всякомъ случаѣ ясно, что первый привезенный кусокъ имѣлъ одинаковый удѣльный вѣсъ по всей толщѣ, но, постоявъ безъ достаточной защиты на воздухѣ, умень-

шилъ удѣльный вѣсъ верхняго слоя. Второй кусокъ сохранялся болѣе тщательно, и въ немъ замѣтно уступающею по удѣльному вѣсу, какъ въ первый, такъ и въ послѣдующіе дни, была верхняя часть, и на глазъ болѣе обильная пузырьками воздуха, чѣмъ остальная толща.

5. Для опредѣленія сопротивленія льда на изломъ нужно было сконструировать приборъ, въ которомъ избѣгалось бы вѣданіе опорныхъ частей въ разламываемый кусокъ. Такъ какъ это вѣданіе стоитъ въ зависимости отъ того, что у льда температура плаванія понижается при увеличеніи давленія, опоры надо было сдѣлать изъ матерьяла съ плохую теплопроводностью. Поэтому я рѣшилъ устроить опорныя площадки деревянныя и притомъ—вращающіяся въ плоскости, въ которой прилагается ломающее усиліе. Рис. 2 представляетъ видъ построеннаго приборчика, оказавшагося весьма удобнымъ и требующимъ лишь добавленія приспособленія, которое позволяло бы закрѣплять неподвижно опорныя площадки (въ нашихъ опытахъ мы, передвинувъ ихъ на желаемое разстояніе отъ середины, удерживали ихъ затѣмъ отъ стремленія подняться вверхъ нажимомъ рукъ).

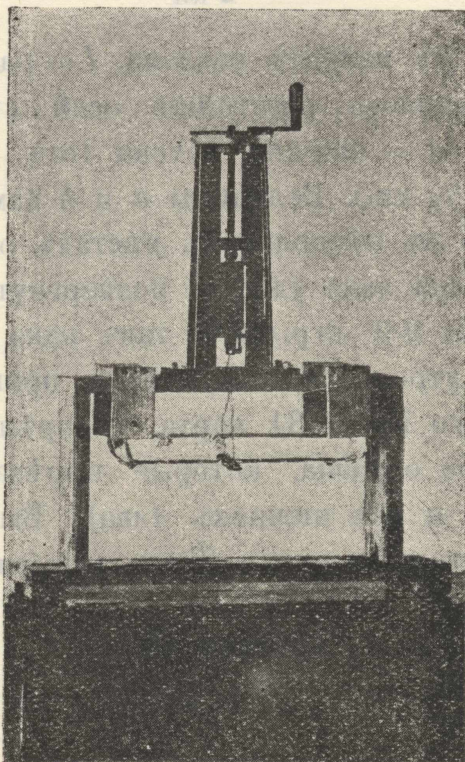


Рис. 2.

Приборъ состоитъ изъ деревянной рамки, на верхней доскѣ которой помѣщены пружинные вѣсы (отъ прибора Гопкинсона для опредѣленія магнитной проницаемости желѣза изъ отрыванія), растягива-

емя при помощи вращенія находящейся наверху рукоятки. Изъ льда выпиливался кусокъ призматической формы такъ, чтобы длина его была параллельна свободной поверхности льда на рѣкѣ, и ему придавалась правильная форма сначала обстругиваніемъ ножомъ, а затѣмъ оплавливаніемъ на маленькой мѣдной плитѣ, подогревавшейся снизу парами воды. Кусокъ этотъ помѣщался между горизонтальною деревяною пластинкою, подвѣшенною къ пружинѣ вѣсовъ и давившею на испытуемый образецъ снизу, и двумя деревянными опорными площадками, давившими на образецъ сверху. Затѣмъ вращеніемъ рукоятки пружинные вѣсы растягивались и доводили образецъ до излома, при чемъ напряженіе въ моментъ излома легко можно было отсчитать съ точностью до $\frac{1}{2}$ англійскаго фунта (скала вѣсовъ раздѣлена на полу-фунты). Если же предѣльная тяга вѣсовъ (25 англ. фунтовъ) оказывалась недостаточною для разлома, образецъ вынимался, подшлифовывался еще разъ на паровой мѣдной плитѣ, и опытъ повторялся.

Предѣльное напряженіе T рассчитывалось по формулѣ

$$T = \frac{3}{2} \frac{Pl}{ah^2}, \quad (3)$$

гдѣ P — тяга вѣсовъ въ моментъ разлома, l — разстояніе точекъ опоры, за которое принималось разстояніе осей спорныхъ площадокъ (отъ 23 до 30 см.), a — ширина бруска (отъ 2 до 4 см.), h — его высота (отъ 2 до $3\frac{1}{3}$ см.). Величины a и h измѣрялись деревяннымъ штангенъ—циркулемъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ образца.

6. Изъ перваго куска льда удалось подвергнуть опыту два образца (получилось $T = 8.0$ и 9.9 кгр./см.²), такъ какъ приборъ былъ готовъ лишь 31 марта утромъ, а вскорѣ былъ привезенъ и второй кусокъ льда. Изъ втораго куска 31 марта, 1 апрѣля и 2 апрѣля было изслѣдовано по четыре образца, которые вырѣзались изъ верхнихъ слоевъ, изъ среднихъ и изъ нижнихъ (два). Вычисленные изъ результатовъ этихъ опытовъ значенія T (въ кгр./см.²) сведены въ таблицѣ II.

Таблица II.

	31.3.11	1.4.11	2.4.11
Верхній.	8.1	6.5	10.4
Средній.	12.6	13.1	15.2
Нижніе.	15.2	10.7	11.2
	11.0	12.9	14.3

Отсюда видно, что трехдневное стояніе при теплой погодѣ подъ снѣгомъ не отразилось на предѣльномъ напряженіи, испытываемомъ

льдомъ, что наиболѣе прочными являются, повидимому, средніе слои (въ среднемъ $T = 13.0$), которымъ, можетъ быть, нѣсколько уступаютъ нижніе (въ среднемъ $T = 12.7$), но что верхніе слои, дѣйствительно, „рыхлѣе“ остальной массы (въ среднемъ $T = 8.3$).

При проектируемыхъ систематическихъ наблюденіяхъ желательно относительно каждаго слоя опредѣлять скорость его образованія, температурный градіентъ потока холода, обусловившаго его образованіе, и тогда можно будетъ попытаться отвѣтить на вопросъ, насколько быстрота образованія ледяного покрова рѣки вліяетъ — *ceteris paribus* — на его прочность.

7. Я рѣшилъ опубликовать даже эти отрывочныя данныя въ связи съ описаніемъ приборовъ, при помощи которыхъ они получены, — въ надеждѣ, что, можетъ быть, кто либо изъ лицъ, живущихъ вблизи рѣкъ, станетъ производить подобныя же наблюденія и опредѣленія и тѣмъ самымъ внесетъ новыя свѣдѣнія въ столь мало разработанный вопросъ, какъ удѣльный вѣсъ и сопротивленіе излому такого распространеннаго матерьяла, какимъ является рѣчной ледъ.

Томскъ, 7. 9. 11.

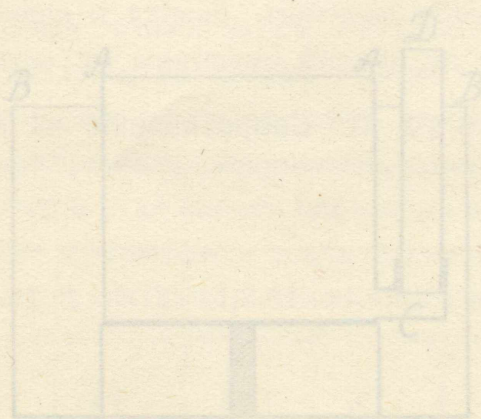


Рис. 1.

Въѣздъ въ ведро "А.А." (рис. 1), снабженное боковымъ отъѣвлениемъ Θ въ вставленномъ въ него ланцовымъ стекломъ B и помѣщаемое въ подставку внутри другого ведра $ВВ$. Промежутокъ между стѣнками