

2
70

Р Изъ Гигіеническаго Института Императорскаго Московскаго Университета.

СПОСОБЫ ОПРЕДѢЛЕНІЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.

ДИССЕРТАЦІЯ

НА СТЕПЕНЬ ДОКТОРА МЕДИЦИНЫ

С. Н. Розанова.

6494
ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ИМПЕРАТОРСКАГО
МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА



МОСКВА.



Типо-литографія Русскаго Типо-печатнаго и издательск. дѣла.

Чистые пруды, Мысливиновъ пер., собственн. домъ.



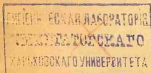
1899.

*Въ Библиотекѣ гігіеническаго института
харьковскаго университета
получена*

Изъ Гигіеническаго Института ИМПЕРАТОРСКАГО Московскаго Университета.

СПОСОБЫ ОПРЕДѢЛЕНІЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.

ДИССЕРТАЦІЯ
НА СТЕПЕНЬ ДОКТОРА МЕДИЦИНЫ
С. Н. Розанова.



Пересланъ
1899 г.



МОСКВА.
Типо-литографія Русскаго Т-ва печатнаго и издательскаго дѣла.
Чистые пруды, Маломосковск. пер., собственный домъ.



1899.

1950

Переплет-60

7-июн 2012

По определению Медицинского Факультета Императорского Московского Университета, состоявшемуся 29 марта 1899 года,— печатать дозволяется.

Доклад И. Влейко.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Введение	Опр.
.....	1

ОПЕЧАТКИ.

Стр.	Напечатано.	Слѣдуетъ читать.
7.	стр. 14 св. По <i>Dulong's</i> 1)	По <i>Dulong's</i> 2)
"	" 7 " (<i>Rubner</i> 3)	(<i>Rubner</i> 4)
"	" 3 " (<i>Krieger's</i> 5)	(<i>Krieger's</i> 2)
12.	" 1 св. воздуха.	воздуха 1).
35.	" 5 " нитровъ	литровъ
43.	" 4 св. будель	будель
92.	" 13 св. предложенныхъ	предложенныхъ
"	" 2 св. влажности	влажности
111.	" 8 " гигрометру	гигрометру
131.	" 14 св. <i>Duprè</i> (1855)	<i>Duprè</i> (1855) 1)
"	" 18 " <i>Macé de Lépinay</i> (1881) 2)	<i>Macé de Lépinay</i> (1881) 2)
132.	" 1 " <i>Denecke</i>	<i>Denecke</i> 1)
"	" 3 " <i>Ferrel</i> 1)	<i>Ferrel</i> 2)
146.	$E = \frac{SF_i \left(\frac{1-f}{i} \right)}{H^n} \times \text{Const.}$	$E = \frac{SF_i \left(1 - \frac{f}{F} \right)}{H^n} \times \text{Const.}$

1950

Передат-60

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Введение	Стр.
Глава I. Измерение влажности воздуха.—Способы выражения влажности.— Значение их.—Поправка термометров.	11
Глава II. Вьюсы. — Гигрометры: объемный, стигматический и диф- фузионный.	32
Глава III. Волосный гигрометр.	67
Глава IV. Психометр. — Психометр неподвижный. — Психометр с вентилятором (итальянский). — Аспирационный психометр. Асс- манга.—Працевой психометр.	95
Глава V. Испаритель.	138
Общие выводы.—Положения.	157
Литература	160

Таблица для вычисления влажности по показаниям сухого и влаж- ного термометра по С.	123
Таблица для вычисления влажности по показаниям сухого и влаж- ного термометра по R.	124
Таблица для вычисления влажности по показаниям психометра- пращи.	136
Давление водяного пара в миллиметрах ртутного столба по Regnaud. Количество испаряющейся воды за 24 часа по испарителю Piche'a при разной температуре и различных величинах относительной влаж- ности воздуха.	137
	151

ВВЕДЕНИЕ.

Les hygiénistes accordaient autrefois à la climatologie une attention peut-être exagérée. Par contre ils ont montré plus tard un grand dédain pour l'étude à vrai dire bien souvent décevante des modalités physiques de l'atmosphère et des rapports multiples qui existent entre elles et l'organisme humain.

E. Arnould.

Водяной паръ составляетъ такую же постоянную часть нашей атмосферы, какъ и углекислота, но между ними имѣются существенныя различія. Количество углекислоты въ атмосферномъ воздухѣ остается почти неизмѣннымъ (3 ч. на 10000 ч. по объему), но въ замкнутыхъ пространствахъ можетъ возрастать безпредѣльно, при чемъ вдыханіе воздуха съ содержаніемъ даже 1% углекислоты, если воздухъ не имѣетъ другихъ постороннихъ примѣсей, не оказываетъ какого-либо вреднаго вліянія на организмъ. Количество водяного пара и въ атмосферномъ и комнатномъ воздухѣ подвержено колебаніямъ, но въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ, въ зависимости отъ температуры въ силу свойствъ самого пара, какъ газа несовершеннаго, и всѣ такіе колебанія уже отражаются на физическихъ свойствахъ воздуха и его отношеніяхъ къ живущему организму. При 20° температуры воздухъ можетъ содержать водяного пара не болѣе 2,3%, по объему. При такомъ содержаніи пара воздухъ дѣлается „насыщеннымъ“ и всякое дальнѣйшее поступленіе въ него воды въ парообразномъ состояніи прекращается. Для каждой температуры воздуха существуетъ опредѣленное количество водяного пара, которое онъ можетъ удержатъ. При 20°

воздухъ является насыщеннымъ, когда содержитъ 2,3% водного пара по объему, а при 30° когда заключаетъ въ себѣ 4,1%. Всякое увеличеніе температуры воздуха повышаетъ его способность удерживать воду въ парообразномъ состояніи и всякое пониженіе уменьшаетъ. Вода внесенная въ воздухъ насыщенный водянымъ паромъ перестаетъ испаряться, повышение температуры воздуха вновь вызываетъ испареніе. Понижая температуру воздуха, содержащаго водяной паръ въ количествѣ недостаточномъ для насыщения, мы можемъ довести его до состоянія насыщения, а при дѣйствіи пониженіи температуры до осажденія избытка водяного пара въ видѣ росы.

Способность воздуха удерживать воду опредѣляетъ наши представленія о „сухомъ“ и „влажномъ“ воздухѣ. Сухимъ воздухомъ называется тотъ, въ которомъ количество водного пара далеко не доходитъ до состоянія насыщения, вследствие чего воздухъ имѣетъ возможность вмѣстить въ себѣ много воды, влажнымъ воздухомъ будетъ такой, въ которомъ уже незначительная прибавка водяного пара доводитъ его до состоянія насыщения.

Значеніе влажности воздуха для человѣка заключается въ томъ вліяніи, которое воздухъ оказываетъ на испареніе съ поверхности человѣческаго тѣла и на его тепловые потери и на окружающую человѣка природу.

Вода, составляющая почти $\frac{2}{3}$ вѣса тѣла человѣка, выдѣляется изъ организма въ жидкомъ видѣ почками и кишечникомъ и въ парообразномъ состояніи легкими и кожей. Количество воды удаляющейся этими двумя путями доходитъ до большихъ величинъ. Такъ кожей ¹⁾ выдѣляется въ сутки по крайней мѣрѣ 1500 гр., легкими около 300 граммъ. На отдачу воды легкими и кожей оказываетъ значительное вліяніе влажность воздуха.

Изъ опытовъ Лашенко ²⁾ слѣдуетъ, что при колебаніяхъ влажности воздуха отъ 21° до 32% и приблизительно одинаковой температурѣ отдача воды уменьшается почти на 60%. При 32° темпера-

¹⁾ Schierbeck. Eine Methode zur Bestimmung der Ventilation durch eine Kie-
dang. Arch. f. Hyg., 1893, Bd. XVI, S. 203—237.

²⁾ Лашенко. Ueber den Einfluss des Wasserzinkens auf Wasserdamp-
und Kohlensäure Abgabe des Menschen. Arch. f. Hyg., 1893, Bd. 33, S. 145—190.

туры и 32% относительной влажности съ поверхности кожи и легкихъ человѣка выдѣлилось въ сутки 2512,8 гр., а при 31,7° и 21% влажности уже 3873,6 гр. воды.

Rubner и Lewaschew ¹⁾ показали, что отдача воды кожей и легкими у человѣка за сутки при 25,4° температуры и 6% относительной влажности равняется 1810,8 гр., а при 81% влажности и той же температурѣ 573,6 гр.

Schierbeck ²⁾ изслѣдовалъ отдачу воды кожей обнаженнаго человѣка и нашелъ, что въ сутки потеря воды испареніемъ при температурѣ 32,9° и влажности 25% равняется 1761 гр.

По вычисленіямъ Krieger'a ³⁾ человѣкъ теряетъ испареніемъ съ поверхности легкихъ въ течение сутокъ при температурѣ воздуха 20° и влажности 25% — 352 гр., а при влажности въ 100% — 236 гр.

Rubner ⁴⁾ применивъ опытный методъ нашелъ, что человѣкъ при покоѣ выдѣляетъ легкими въ сутки 408 гр. воды, если находится при обыкновенной комнатной температурѣ и 45% относительной влажности.

Вода, содержащаяся въ тѣлѣ человѣка, сохраняетъ свое количественное отношеніе къ вѣсу тѣла съ неизмѣнными постоянствомъ. Меланхоликъ Leichterster'n'a ⁵⁾, „чтобъ очистить свою кровь“, выпивалъ въ течение сутокъ по 7 литровъ воды и тѣмъ не менѣе количество гемоглобина въ его крови оставалось такое же, какъ и безъ усиленнаго питья. У человѣка лишь малая часть воды (5%) выдѣляется кишечникомъ и, слѣдовательно, главная масса ея распределяется между почками, легкими и кожей ⁶⁾. Если одинъ изъ этихъ органовъ не можетъ вследствие условій, вносящихся въ самогъ организмъ или во вѣншей природѣ, удалить должное ко-

¹⁾ Rubner und Lewaschew. Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitsschwankungen über den Menschen. Arch. f. Hyg. 1897, Bd. 29 S. 1—55.

²⁾ 1. c.

³⁾ Krieger. Untersuchungen und Beobachtungen über die Entstehung von rein-
lichen und fieberhaften Krankheiten. Zeitschr. f. Biol., 1869, Bd. V, S. 483.

⁴⁾ Rubner. Notiz über die Wasserdampfausscheidung durch die Lunge. Arch.
f. Hyg., 1898, Bd. 33 S. 151—154.

⁵⁾ См. Лашенко 1. c.

⁶⁾ Галляперенъ. Уч. опис. хини 1892, стр. 343.

личество воды, чтобы содержание ее в тканях оставалось в нужных границах, то функцию его исправляет другой орган: мало выделяется воды через легкие и кожу, усиливается деятельность почек. Так как деятельность кожи и легких вполне зависит от влажности воздуха, то становится ясным, что при большой влажности воздуха на долю почек может выпасть такая работа, которой они не в состоянии выполнить, если поражены какими-либо болезненными изменениями. В этом случае влажность воздуха является фактором патологическим, вызывающим серьезные расстройства в организме. Важные расстройства организма можно ожидать и тогда, если при здоровом состоянии почек поражена сосудистая система. Значение в этом смысле влажности воздуха известно уже было давно, когда вовсе еще не существовало экспериментальных исследований о выделении воды кожей и легкими. Старые врачи (*Дескавер*¹⁾ ставили вне сомнения вред влажного воздуха для «водночных»² и сердечных больных, а сухого воздуха—для больных нервных и некоторых грудных.

Если организм в здоровом состоянии обладает приспособлениями, позволяющими ему быстро удалить лишнюю для него количества воды и приводить содержание ее к определенной норме, то недостаток воды выносить он наоборот с трудом. Это известно всем по собственному опыту и подтверждается наблюдениями над животными.

Голодающее животное может потерять почти весь жир и 50% своего белка, но потеря 10% воды вызывает уже угрожающую для жизни являющуюся³⁾.

*Landauer*⁴⁾ подвергал белых мышей полному лишению воды и нашел, что в воздух средней влажности (55%) они жили максимум 58 дней и терли в весе 45%, в абсолютно же сухом воздухе только 5,4 дни с потерей в весе в 35%.

Мыши при полном голодании жили в обыкновенном воз-

духе 3,3 дни с потерей в весе в 30%, в абсолютно сухом воздухе 2 дни и терли в весе 21,5%.

*Falk*¹⁾, помещая животных в сухой или влажный воздух, наблюдал вредное действие сухого воздуха на птицах, умиравших часто в сухом воздухе без каких-либо изменений во внутренних органах, равно и на грызунах, у которых вызывались судороги и эпилептоидные припадки. Наоборот, большая влажность воздуха переносилась животными без всяких видимых последствий.

C. Schmidt и *Voit*, исследуя кровь холерного больного, нашли нормальных 82,4% воды нашли в ней 76,0%, т. е. на 6,4% меньше. Холера между тем известна за болезнь, вызывающую наибольшее стечение крови. Из этих наблюдений *Rabinek*²⁾ заключает, что человек весом 70 kilo при потере только 4480 грм. воды уже должен испытывать опасное для жизни высыхание тканей.

Что человек может в сутки терять испарением и большее количество воды, вполне установлено, но несомненно однако, что такая потеря воды влечет за собой расстройства здоровья только в исключительных случаях, когда человек не имеет возможности пополнить питьем траты воды. Весьма вероятно, что длительное пребывание в сухом воздухе, если не нарушает нашего самочувствия—или нарушает только в начале, когда организм к нему не приспособлен—то все же производит какое-либо изменение в организме, может быть отражающееся на кровяном давлении, на морфологическом составе крови, ее удельном весе, количестве гемоглобина. Все такие вопросы остаются пока не затронутыми.

Местное действие сухого воздуха легче определить. Сухой воздух, приходя в соприкосновение с кожей и слизистыми оболочками, действует на них высушивающим образом, отсюда ощущение сухости в губах, носу, зеве, раздражение голосовых связок, трещины на губах и даже на коже, носовые кровоте-

¹⁾ Берсерг. О влажности воздуха в стальных помещениях, 1873.

²⁾ Rabner. Die Beziehung der atmosph. Feuchtigkeit. Arch. f. Hyg. 1890, Bd. XI, S. 234.

³⁾ Landauer. Der Einfluss der Wassercntziehung auf den Stoffwechsel im Organismus. VIII Congrès international d'Hygiène, 1896, t. IV, p. 220—224.

¹⁾ Брунон. К вопросу о рациональном устройстве отопления и вентиляции, 1890, стр. 17.

²⁾ Rabner. Die Beziehung. p. 233.

чения. Сухость в зѣбѣ „чувство жажды“ можетъ впрочемъ зависѣть и отъ обѣдненія крови водою и служить въ такихъ случаяхъ указателемъ, что количество воды въ тѣлѣ уменьшено. Кромѣ того при сухомъ воздухѣ наблюдается иногда чувство тяжести и даже боли въ головѣ и шумъ въ ушахъ. Последнія явленія впрочемъ по всей вѣроятности слѣдуетъ приписать не сухости воздуха, а примѣси къ нему продуктовъ сухой перегонки пыли, чѣмъ *Fodor* объясняетъ всѣ непріятныя ощущенія, появляющіяся во время пребывания въ сухомъ воздухѣ. По мнѣнію *Fodor'a* ¹⁾ жалобы на сухость воздуха въ отопляемыхъ помѣщеніяхъ вызываются не той или другой степенью влажности воздуха, а примѣсью къ воздуху летучихъ раздражающихъ продуктовъ сухой перегонки пыли, которая на поверхности отопительныхъ приборовъ подвергается усиленному нагреванію. Такъ какъ такая перегонка по *Fodor'у* начинается при 150°C, то ее нельзя ожидать при водяномъ отопленіи низкаго давленія. *С. Ф. Бубновъ* ²⁾ однако показалъ, что перегонка пыли начинается при 100°—120°, но что уже при нагреваніи пыли до 70° выделяются изъ нея дурно пахнущія газообразныя вещества, которыя и могутъ поступать въ комнатный воздухъ, если нагревательная поверхность калориферовъ достигаетъ до 70°. Надо думать кромѣ того, что и сама пыль, помимо газообразныхъ продуктовъ, выделяемыхъ ею при нагреваніи, принимаетъ и прямое участіе въ дѣйствіи сухого воздуха на слизистыя оболочки путемъ механическаго раздраженія и отнятія отъ нихъ въ качествѣ гигроскопическаго тѣла влаги.

Какъ относится сухой воздухъ въ качествѣ этиологическаго момента къ развитію различныхъ заболеванийъ дыхательныхъ путей и каково вліяніе его на теченіе этихъ болѣзней—всѣмъ мало извѣстно.

Krieger ³⁾ видѣвъ въ сухости воздуха предрасполагающій моментъ къ появленію крупы и дифтерита.

Krone ⁴⁾ наблюдалъ отъ сухого воздуха развитіе ларингитовъ и бронхитовъ.

¹⁾ Бубновъ, Оп. с. стр. 23.

²⁾ Бубновъ. Сухая перегонка пыли. Сбор. раб. инж. лабор. моск. ун-в. 1888 г. т. II, стр. 167.

³⁾ Krieger. Aetiologische Studien. 1880.

⁴⁾ Friedrich's Blätter, 18-2, Pes. Вразъ, 1882, стр. 622.

Манассеинъ ¹⁾ считаетъ сухой воздухъ весьма вреднымъ для болѣзныхъ, въ особенности для чахоточныхъ.

Бродовичъ ²⁾ нашелъ, что при влажности воздуха выше 70% и ниже 45% заболевимостьъ дыхательныхъ путей значительно увеличивается.

Вода, превращаясь въ паръ, поглощаетъ большое количество тепла. 1 граммъ воды, испаряясь при температурѣ тѣла (35°), связываетъ 573 единицы теплоты. Въ испареніи воды съ поверхности тѣла организмъ такимъ образомъ получаетъ средство отдавать свою излишнюю теплоту и регулировать тепловую экономію.

Потеря тепла испареніемъ съ поверхности легкихъ и кожи весьма значительна. По *Helmholtz'у* ³⁾ на нагреваніе выдыхаемаго воздуха тратится 2,6%, съ испареніемъ воды въ легкихъ 14,7% и кожнымъ испареніемъ вмѣстѣ съ лучеиспусканіемъ 80%, всего количества тепла развиваемаго человѣкомъ. По *Dulong'у* ⁴⁾ на нагреваніе выдыхаемаго воздуха идетъ 3,5%, на испареніе при дыханіи 7,2%, на испареніе черезъ кожу 14,5%, на выдѣленіе тепла проведеніемъ и лучеиспусканіемъ 73%.

Если человѣкъ при легкой работѣ развиваетъ тепла 2441 бол. калорій и выдѣляетъ воды въ формѣ пара кожей 3208 грм. и легкими 300 грм., то съ испаряющейся водою онъ теряетъ 2140 калорій, т. е. почти 87% общей отдачи тепла (*Rubner* ⁵⁾).

Какъ количество испаряющейся воды, такъ и тепловыя потери человѣческаго организма черезъ испареніе вполнѣ зависятъ отъ влажности воздуха.

По вычисленіямъ *Krieger'a* ⁶⁾ человѣкъ теряетъ испареніемъ съ поверхности легкихъ въ сутки при 20° и 100% влажности 183074 мал. калорій, а при 25% влажности 249658 кал. Разность

¹⁾ Вразъ, 1883, стр. 416.

²⁾ Бродовичъ. Отношеніе влажности воздуха въ жилыхъ помѣщеніяхъ къ заболеванію дыхательныхъ путей. 1887.

³⁾ Landolt. Учен. записки, 1893, стр. 495, 496.

⁴⁾ Rubner. Thermische Wirkungen der Luftfeuchtigkeit. Arch. f. Hyg., 1890. Bd. XI S. 256.

⁵⁾ Krieger. Untersuchungen. Zeitschr. f. Biol., 1869. Bd. V, p. 448.

количество тепловых потерь зависящая от изменения влажности воздуха равняется здесь 66584 мал. кал.

Изъ приведенныхъ выше наблюдений Лаченно видно, что при изменении влажности отъ 21% до 32% и одной и той же температурѣ величина испарения воды съ поверхности кожи и легкихъ изменяется на 60%. Вычитая изъ чиселъ данныхъ Лаченно 300 грм., которые могутъ быть отнесены на долю легкихъ, легко вычислить въ этихъ случаяхъ скрытую теплоту испарения, пользуясь формулой Regnault $l = 606,5 - 0,695 \cdot t$ или Clausius'a $l = 607 - 0,708 \cdot t$. Если принять, что вода покидаетъ кожу въ видѣ пара при 35°, то при 32° и 32% влажности человекъ теряетъ испареніемъ черезъ кожу 1268 бол. калорій, а при 21% влажности уже 2050 кал.

Чѣмъ суше воздухъ, тѣмъ болѣе теряется тепла чрезъ испареніе, при влажномъ воздухѣ усиливается за то потери тепла лученоспущаніемъ и проведеніемъ, такъ что общ. величина приблизительно взаимно уравниваются и организмъ въ концѣ концовъ теряетъ одинаковое количество тепла и въ сухомъ и во влажномъ воздухѣ (Rubner). Это происходитъ однако только тогда, если воздухъ окружающій человека имѣетъ температуру пизнуго, чѣмъ тѣло. Когда температура воздуха приближается къ температурѣ тѣла, то вся работа регуляціи тепла выпадаетъ на долю кожного испарения, такъ какъ ни лученоспущаніе, ни проведение оказываются не въ состояніи отнимать тепло отъ организма. Только въ достаточно сухомъ воздухѣ испареніе можетъ идти настолько энергично, чтобы организмъ сохранилъ свое тепловое равновѣсіе. Въ влажномъ тепломъ воздухѣ испареніе и отдача тепла уменьшается, что отражается на нашемъ самочувствіи и можетъ даже вызвать серьезныя болѣзненные явленія.

Влажность воздуха кромѣ прямого вліянія на человѣческой организмъ оказываетъ еще на него косвенное вліяніе чрезъ посредство окружающей его природы.

Сюда относится вѣсычаніе поверхностныхъ слоевъ почвы, образование и распространение пыли, жизнеспособность и размноженіе микроорганизмовъ, возникновеніе и распространеніе нѣкоторыхъ

болѣзней. Обо всемъ этомъ и полагаю возможнымъ не распространяться, такъ какъ всестороннее разсмотрѣніе вопроса о влажности воздуха не входитъ въ предѣлы моей работы.

Изъ предыдущаго обзора легко убѣдиться, что несмотря на многочисленныя изслѣдованія, разъясняющія физиологическое и гигиеническое значеніе влажности воздуха, остались еще многіе вопросы открытыми; вовсе затѣмъ отсутствуютъ изслѣдованія относительно вліянія влажности воздуха на большой организмъ, изслѣдованія, которыя могли бы опровергнуть или подтвердить воззрѣнія прежнихъ авторовъ, не владѣвшихъ богатымъ современнымъ арсеналомъ усовершенствованныхъ методовъ изслѣдованія. Причина этого кроется въ томъ, что влажности воздуха на практикѣ не придаются значенія важнаго фактора для здоровья человека, почему пренебрегаютъ изслѣдованіемъ воздуха на содержаніе водяного пара, а если такія изслѣдованія и производятся, то часто по несовершеннымъ методамъ, дающимъ ложные результаты.

До сихъ поръ недостаточно отгнѣили различіе способовъ изслѣдованія комнатнаго воздуха отъ атмосфернаго, и полагали, что въ томъ и другомъ случаѣ примѣнимы одни и тѣ же методы. Изъ послѣдующаго изложенія читатель убѣдится, что такое мнѣніе по отношенію ко многимъ приборамъ не оправдывается. Такъ вычисленіе влажности по показаніямъ неподвижнаго психрометра должно производиться по формулѣ значительно отличающейся отъ принятой въ настоящее время, если желаютъ получить вѣрныя величины влажности. Нѣкоторыя также оказались таблички, которыми снабжены стѣнные психрометры. Ошибки, пронекающія отъ пользованія ими, достигаютъ до 20% влажности. Равнымъ образомъ мнѣ удалось показать, что примѣненіе нѣкоторыхъ гигрометровъ, основанныхъ на удлинении гигроскопическихъ тѣлъ подъ вліяніемъ влажности воздуха, можетъ влечь ошибки въ опредѣленіи влажности простирающіяся до 40%, и что тотъ же самый приборъ при соблюденіи нѣкоторыхъ условій даетъ совершенно вѣрныя показанія.

При изслѣдованіи какаго-либо болѣзненнаго явленія, которое

может происходить от недостатка или избытка влажности воздуха, предстоит большая трудность в установлении причинной зависимости этих разнородных явлений, когда приборы не дают достаточных точек опоры для суждения о самой влажности воздуха. Когда при жалобах на сухость воздуха обращаются к гигрометру и видят, что он показывает 50%, то естественно приходит к совершенно логическому заключению, что причина болезненных ощущений или явлений заключается не в сухости воздуха, а должна быть объяснена другими влияниями.

Ненадежность приборов и несовершенство способов исследования и служили, надо полагать, главным тормозом, задерживающим развитие наших знаний в этой области.

Мысль наблюдателя, направляемая неверными числовыми данными, вступала на ложный путь, факты получали неправильную оценку или игнорировались и быть ничего удивительного, что в вопросе о влиянии влажности воздуха на здоровье человека остается столько неразрешенного и даже незагнанного.

Подготовить почву для такого рода исследований и составляю мою задачу.

Работа наша произведена в Гигиеническом Институте Императорского Московского Университета под руководством многоуважаемого профессора *Сергия Феодоровича Бубнова*, которому и приношу здесь мою сердечную благодарность.

ГЛАВА I.

Измерение влажности воздуха.—Способы выражения влажности.— Значение их.—Повторя термометров.

Измерение влажности воздуха заключается в определении количества водяного пара, находящегося в данный момент в воздухе, и в определении отношения этого количества к тому, которое мог бы содержать воздух, если бы был насыщен водяным паром. Содержание влаги в воздухе может быть выражено различно.

1. Числом граммов водяного пара в 1 куб. метр.
2. Давлением водяного пара, выраженным высотой ртутного столба. Если обозначим чрез p содержание водяного пара в граммах в 1 куб. метр, а чрез f —давление пара в миллиметрах, то

$$p = \frac{1,06}{1 + 0,00367 \cdot t} \cdot f$$

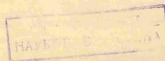
отсюда

$$f = \frac{(1 + 0,00367 \cdot t)p}{1,06} = 0,943 (1 + 0,00367 \cdot t)p.$$

Этими уравнениями выражается зависимость между весом пара и его давлением.

Давление водяного пара один из физиков и гигиенистов называют также абсолютной влажностью, другие под этим названием разумеют весовое содержание водяного пара.

3. Числом граммов пара, содержащегося в килограмме



воздуха. Килограмм сухого воздуха при 0° и $760^{\text{мм}}$ занимает объем, равный 0,773 куб. метра, поэтому при температурѣ t и давлении h онъ займетъ объемъ $0,773 (1 + 0,00367 \cdot t) \frac{760}{h}$.

Если p —вѣсъ пара въ куб. метрѣ, то q —вѣсъ пара въ килограммѣ сухого воздуха будетъ:

$$q = p \cdot 0,773 (1 + 0,00367 \cdot t) \frac{760}{h}$$

или, замѣняя p давлениемъ пара f , получимъ

$$q = f \cdot 1,06 \cdot 0,773 \frac{760}{h} = 623 \frac{f}{h}$$

гдѣ h —давление сухого воздуха и равняется $H - f$.

4. Въ объемныхъ единицахъ ²⁾. Если давление пара f , а барометрическое давление воздуха H , то содержаніе водяного пара e въ объемныхъ единицахъ на 1000 объемовъ воздуха выведется изъ пропорціи $e : 1000 = f : H$; откуда $e = \frac{1000 \cdot f}{H}$.

5. Относительной влажностью, т. е. отношеніемъ упругости пара f , содержащагося въ воздухѣ, къ упругости пара F , насыщеннаго воздухъ при данной температурѣ. Отношеніе $\frac{f}{F}$ будетъ всегда менѣе единицы; чтобы не имѣть дѣла съ дробями его помножаютъ на 100; слѣдовательно $\frac{100 f}{F}$ выражаетъ влажность въ процентахъ насыщения.

6. Недостаткомъ насыщения $F - f$, т. е. разницей между возможнымъ наибольшимъ давлениемъ водяного пара при данной температурѣ и существующимъ въ действительности давлениемъ водяного пара. Недостатокъ или дефицитъ насыщения обозначаетъ насколько должно быть увеличено содержаніе пара въ воздухѣ, чтобы оно дошло до состоянія насыщения или какое количество

¹⁾ Лавиновъ. Метеорологія и климатологія, 1889 стр. 239.

²⁾ Менделѣевъ. Основы химіи. 1889, стр. 31.

воды воздухъ можетъ удержать въ парообразномъ состояніи. Выраженіе это представляетъ мѣру испаряющей силы воздуха.

7. Jamín ¹⁾ предложилъ выражать влажность воздуха не отношеніемъ $\frac{f}{F}$, а $\frac{f}{H - f}$, т. е. отношеніемъ упругости пара къ упругости сухого воздуха, если желаютъ выразить это отношеніе въ объемахъ, или отношеніемъ $\frac{p}{P} = 0,622 \frac{f}{H - f}$, если хотятъ выразить то же по вѣсу.

8. Менделѣевъ, а потомъ Канустинъ ²⁾ предложили сводить въ одну величину показанія барометра, термометра и гигрометра и изображать эти измѣненія вѣсомъ 1 куб. метра воздуха, пользуясь формулой

$$P = \frac{1293 (H - f)}{(1 + 0,00367 \cdot t) 760}$$

Оба послѣднія предложенія не получили примѣненія ни въ метеорологіи, ни въ гигиенѣ. Не выражаютъ также обыкновенно влажность воздуха въ объемныхъ единицахъ и по отношенію къ вѣсовой единицѣ воздуха.

Выраженія влажности сводится слѣдовательно: къ абсолютной влажности—обозначивъ-ли ее числомъ граммовъ пара въ 1 куб. метрѣ воздуха или миллиметрами ртути,—къ относительной влажности и къ недостатку насыщения. Всѣ эти выраженія имѣютъ свои достоинства и недостатки и ни одно изъ нихъ, взятое въ отдѣльности и безъ одновременно данной температуры, не даетъ прямого представленія о влажности воздуха. Абсолютная влажность показываетъ дѣйствительное содержаніе водяного пара въ воздухѣ, но не опредѣляетъ способности воздуха поглощать водяные пары, которая собственно и характеризуетъ сухость или влажность воздуха. Воздухъ имѣющій, положимъ, $4,6^{\text{мм}}$ абсолютной влажности

¹⁾ Jour. de Physique. (2) III, 1884, p. 463.

²⁾ Врѣмъ, 1889, стр. 145.

совершенно насыщенный водяным паромъ при 0°, на половину насыщенный при 10° и весьма сухъ при 20°.

Относительная влажность представляет степень насыщения воздуха водянымъ паромъ, но не даетъ ни абсолютнаго количества водяного пара, которое воздухъ содержитъ, ни того количества воды, которое воздухъ еще можетъ удержать въ парообразномъ состояніи.

Недостатокъ насыщения выражаетъ количество водяного пара, которое воздухъ можетъ еще удержать, но не указываетъ того количества влаги, которое онъ уже содержитъ.

Полное представлѣніе о влажности воздуха мы можемъ составить, когда абсолютная влажность, относительная влажность и недостатокъ насыщения будутъ даны вмѣстѣ или даже одна какая либо изъ этихъ величинъ, но вмѣстѣ съ температурой, такъ какъ помощью простыхъ вычисленій изъ одного выраженія получаются и другія. Въ частныхъ же случаяхъ тотъ или другой способъ выраженія можетъ имѣть преимущества и даже приобретать исключительное значеніе.

При сужденіи о количествѣ водяного пара отдаваемого при дыханіи имѣетъ значеніе только и исключительно абсолютная влажность выдыхаемаго воздуха; въ этомъ случаѣ ни относительная влажность, ни недостатокъ насыщения нисколько не опредѣляютъ потери водяного пара съ поверхности дыхательныхъ путей.

Черезъ легкія человѣка, вдыхающаго каждый разъ по 500 куб. сант. воздуха, при 15 дыханіяхъ въ 1 минуту пройдетъ въ 24 часа 10800 литровъ воздуха, круглымъ числомъ 10 куб. метровъ. Воздухъ въ легкіяхъ согрѣвается почти до температуры тѣла и дѣлается почти насыщеннымъ водянымъ паромъ. При температурѣ выдыхаемаго воздуха въ 10° температура выдыхаемаго по Valentin'y¹⁾, равняется 35°; если принять выдыхаемый воздухъ вполне насыщеннымъ водянымъ паромъ (Valentin, Rubner), то абсолютная влажность его будетъ 39,2 грм. Это число и выразитъ потерю

¹⁾ Krieger. Ueber die Entstehung von entzündlichen und fieberhaften Krankheiten. Zeitschr. f. Biol. Bd. V, 1869, S. 433.

²⁾ Rubner und Lewaschew. Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitsechwankungen. Arch. f. Hyg., 1897, Bd. 29, s. 51.

влаги поверхностью дыхательныхъ путей на 1 куб. метръ вдыхаемаго воздуха, если онъ совершенно сухъ, т. е. вовсе не содержитъ въ себѣ водяныхъ паровъ. При относительной влажности вдыхаемаго воздуха въ 20% содержаніе водяного пара будетъ 1,9 грм. и тогда потеря воды при дыханіи выразится 3,92—1,9=37,3 грм.; при 50% относительной влажности человекъ теряетъ при дыханіи 39,2—4,7=34,5, а при 100% влажности 39,2—9,3=—29,9 граммъ воды.

При температурѣ вдыхаемаго воздуха въ 30° и 0% относ. влажности температура выдыхаемаго равняется 37,5°, причемъ онъ содержитъ 44,6 грмм. водяного пара, отдаваемого поверхностью дыхательныхъ путей; если вдыхаемый воздухъ содержитъ влажности 20%, 50% и 100%, то соответствующія потери влаги при дыханіи на каждый кубическій метръ воздуха будутъ 38,6 грм., 29,6 грм. и 14,5 грм. Полагая объемъ воздуха въ легкіяхъ человека за сутки равнымъ 10 куб. метрамъ, будемъ имѣть слѣдующія величины въ граммахъ для суточной потери водяного пара поверхностью дыхательныхъ путей при разныхъ условіяхъ со стороны температуры и % влажности выдыхаемаго воздуха.

Температура воздуха. Относит. влажность выдыхаемаго воздуха.

Температура воздуха.	Относит. влажность выдыхаемаго воздуха.	0%	20%	50%	100%
10°	35,0°	392	373	345	299
30°	37,5°	446	386	296	145

Изъ этой таблицы и предшествовавшихъ вычисленій видно, что относительная влажность не имѣетъ прямой связи съ потерями водяныхъ паровъ легкими, а лишь поскольку она служитъ выраженіемъ абсолютной влажности воздуха.

Точно также при сужденіи о климатѣ наружнаго воздуха на содержаніе влажности въ комнатномъ воздухѣ при большой разности температуръ того и другого, напр. въ зимнее время, имѣетъ значеніе только абсолютная влажность наружнаго воздуха и при вычисленіи дѣйствія провѣтриванія на влажность комнатнаго воздуха только абсолютную влажность воздуха и приходится брать

въ расчетъ. Если въ комнатѣ вмѣстимостью въ 100 куб. метровъ, имѣющей температуру 20° и относительную влажность 20%, замѣнить 50 куб. метровъ наружнымъ воздухомъ, имѣющимъ температуру 0° и относительную влажность 100%, то, предполагая, что наружный воздухъ нагрѣется до температуры комнатнаго воздуха, по одной лишь относительной влажности того и другого мы не можемъ заключить, какия отъ этого поступаютъ перемѣны во влажности комнатнаго воздуха. Последнее становится однако яснымъ, если относительную влажность замѣнимъ абсолютной. Абсолютная влажность комнатнаго воздуха при взятыхъ условіяхъ была равна 3,4 грм., иными словами въ комнатѣ емкостью въ 100 к. м. содержалось 340 грм. водяного пара, 50 куб. метровъ атмосфернаго воздуха съ абсолютной влажностью 4,9 грм. принесли съ собою 245 грм., поступившій въ комнату наружный воздухъ вытѣснилъ изъ нея равный себѣ объемъ, унесшій 170 грм., слѣдовательно содержаніе водяного пара въ комнатѣ дошло до 415 грм., т. е. абсолютная влажность повысилась съ 3,4 до 4,1 грм., а относительная влажность съ 20% до 24%.

Если при тѣхъ же условіяхъ примемъ влажность комнатнаго воздуха въ 50%, что соответствуетъ 8,9 грм. абсолютной влажности, то послѣ поступления въ комнату 50 куб. метровъ атмосфернаго воздуха содержаніе водяного пара въ комнатѣ вмѣстѣ 890 грм. будетъ 690 грм., т. е. абсолютная влажность повысится до 6,9 грм., а относительная съ 50% до 39%. Воздухъ комнаты сдѣлался суше отъ смѣшенія съ болѣе сырмъ воздухомъ—результатъ нѣсколько несовпавшій при взятіи въ расчетъ одной только относительной влажности.

Заключенія о влажности воздуха, находящагося между различными слоями одежды, будутъ неправильны, если выражать его относительной влажностью или недостаткомъ насыщевія. Въ томъ и другомъ случаѣ окажется, что по мѣрѣ приближенія къ поверхности тѣла воздухъ становится суше, хотя бы слѣдовало ожидать обратнаго, такъ какъ сама поверхность тѣла отдаетъ постоянно водяной паръ, который пройдя чрезъ нѣсколько слоевъ одежды удаляется въ окружающій болѣе сухой воздухъ.

Ральцевичъ¹⁾, измѣряя влажность воздуха въ слояхъ одежды, напелъ, что относительная влажность была

Между кожей и фуфайкой	26%
" фуфайкой и сорочкой	28%
" сорочкой и жилетомъ	31%
" жилетомъ и сюртукомъ	34%
Непосредственно надъ сюртукомъ . .	43%
Въ комнатномъ воздухѣ	53%

Результатъ получается такой, какъ будто-бы сама поверхность кожи поглощала водяной паръ изъ воздуха.

Нѣсколько пробѣлочныхъ измѣреній влажности воздуха принятыми мной въ обществѣ подтвердили показанія Ральцевича, но только когда окружающій атмосферный или комнатный воздухъ имѣлъ среднюю или высокую степень влажности. Въ весьма сухомъ воздухѣ (22%), въ особенности когда онъ былъ притомъ и высокой температуры, результаты наблюденій были противоположны: относительная влажность воздуха по мѣрѣ приближенія къ поверхности тѣла постепенно увеличивалась. Въ жаркій июльскій день въ тѣни получено:

	Температура	Относ. влажность.
Между тѣломъ и сорочкой	35,7°	84%
" сорочкой и жилетомъ	35,4°	73%
" жилетомъ и трик. поджакъ . .	34,0°	45%
Атмосферный воздухъ	32,2°	22%

Сомнѣнія возникающія по поводу влажности воздуха, содержащагося въ различныхъ слояхъ одежды, однако легко разрѣшаются, если относительную влажность замѣнить абсолютной, вычисливъ ее по температурѣ тѣхъ же слоевъ одежды даваемой Ральцевичемъ въ другомъ мѣстѣ²⁾.

¹⁾ Ральцевичъ. Въ вопросу о вліянii загрязненія и сырости на ослѣпленіи свой ства одежды. 1895 стр. 6.

²⁾ Оп. с. стр. 5.

Влажность воздуха выразится так:

	Температура.	Абсолютная влажность.	Недост. насыщ.
Между кожей и фуфайкой . .	35°	10,8 ^{mm}	30,6 ^{mm}
„ фуфайкой и сорочкой.	34°	11,1	28,5
Между сорочкой и жилетомъ.	32°	10,9	24,5
„ жилетомъ и сюртукомъ.	29,5°	10,4	20,3
Непосредств. надъ сюртукомъ.	25°	10,1	13,5
Въ комнатномъ воздухѣ . . .	21°	8,1	10,4

Замѣна относительной влажности абсолютной, обозначающей дѣйствительное содержаніе водяныхъ паровъ, разъяснила сущность дѣла и подтвердила апіорное предположеніе, что въ ближайшихъ къ поверхности тѣла слояхъ одежды воздухъ содержитъ большее количество водяныхъ паровъ, чѣмъ въ болѣе отдаленныхъ отъ него слояхъ, тогда какъ ни относительная влажность, ни дефицитъ насыщенія этого не выражаютъ и даютъ даже поводъ къ противоположнымъ выводамъ.

Теплопроводимость воздуха подобно его электропроводимости также вѣроятно обуславливается абсолютной влажностью воздуха, а не относительной, какъ обыкновенно принимаютъ. Зависимость теплопроводимости отъ относительной влажности только кажущаяся. Если дѣло идетъ о воздухѣ одной температуры, но равной влажности, то воздухъ имѣющій большую относительную влажность имѣетъ и большую теплопроводимость, потому что и абсолютная его влажность болѣе, но нельзя заключать, что теплопроводимость воздуха, имѣющаго одинаковую относительную влажность, но разную температуру, будетъ одинакова: проводимость для тепла тамъ будетъ болѣе, гдѣ болѣе содержится водяного пара, т. е. гдѣ болѣе абсолютная влажность.

Если во всѣхъ этихъ случаяхъ *относительная* влажность не можетъ имѣть примѣненія, за то она приобретаетъ исключительное значеніе при сужденіи о количествѣ гигроскопической воды, содержащейся въ различныхъ тканяхъ, составляющихъ нашу одежду. Вода обладаетъ замѣчательнымъ свойствомъ поглощать воду и измѣняться въ объемъ только подъ вліяніемъ относительной влаж-

ности воздуха; ни абсолютная влажность, ни недостатокъ насыщенія не оказываютъ на него никакого вліянія. Величина удлиненья испытываемаго волосомъ, положимъ, при 50% влажности остается одна и та же, будь абсолютная влажность 1^{mm} или 20^{mm}. На этомъ свойствѣ волоса основано его примѣненіе въ качествѣ гигрометра—измѣрителя относительной влажности воздуха. Свойство волоса раздѣляютъ и всѣ ткани входящія въ составъ нашей одежды. Шерсть, по изслѣдованіямъ Linro's¹⁾, при 98% влажности воздуха прибываетъ на 24% своего вѣса, а ленъ на 13%, при 54% влажности первая увеличивается въ вѣсѣ на 9%, а второй на 4,8%.

Желая сдѣлательно знать количество *гигроскопической* воды (но не промежуточной) содержащейся въ одеждѣ, мы должны опредѣлить только относительную влажность воздуха.

Количество пыли носящейся въ воздухѣ между прочими причинами зависитъ также и отъ степени влажности воздуха. Чѣмъ суше воздухъ, тѣмъ частицы пыли дѣлаются легче, поступаютъ свободнѣе въ воздухъ, болѣе продолжительное время остаются въ немъ взвѣшанными и передвигаются вѣсистъ съ его токами. Весьма возможно, что болѣе или меньшее содержаніе воды въ частицахъ пыли, сдѣлательно легкость и удобоподвижность ихъ, зависить, какъ и въ другихъ гигроскопическихъ тѣлахъ, именно отъ относительной влажности воздуха. Если это такъ, то становится очень вѣроятнымъ, что количество пыли при прочихъ равныхъ условіяхъ растетъ вѣсистъ съ уменьшеніемъ относительной влажности воздуха. Пыль же носящаяся въ воздухѣ имѣетъ значеніе въ качествѣ носителя болѣзнетворныхъ зародышей, а также и по своему механическому и физическому дѣйствию на открытую кожу и слизистыя оболочки въ силу раздраженія производимаго ей и отнятія влаги. Последнее свойство пыли должно дать объясненіе тому странному факту, что чрезвычайно сухой воздухъ въ комнатѣ гораздо несприятѣе для нашего самочувствія, чѣмъ такой же воздухъ атмосферный. Въ комнатномъ сухомъ воздухѣ, гдѣ источ-

1) Reichenbach. Ueber den gegenwärtige Stand unserer Kenntniss von den physikalischen Eigenschaften der Kleidung. Hygiene. Randschau, 1894.

ников образования пыли всегда больше, чѣмъ въ свободномъ воздухѣ, къ высушивающему дѣйствию собственно воздуха присоеди-
няется прямое отягиве влаги многочисленными пылевыми частицами и механическое раздраженіе ими слизистыхъ оболочекъ.

Если абсолютная влажность воздуха, какъ мы видѣли выше, опредѣляетъ количество влаги теряемой человѣкомъ при дыханіи, то недостатокъ насыщенія обуславливаетъ испареніе съ поверхности тѣла. Зависимость здѣсь однако будетъ не полной и не можетъ быть выражена простой пропорціональностью, такъ какъ на испареніе со стороны кожи вліяютъ и другіе факторы и даже въ большей степени, чѣмъ недостатокъ насыщенія, какъ-то: движеніе воздуха, его температура, давленіе, и кромѣ того въ процессѣ испаренія воды съ поверхности тѣла сѣмпливаются два рода явленій — физическія и фзіологическія и послѣднія можетъ быть играть большую роль.

Поразительное доказательство въ пользу значительнаго участія фзіологическихъ процессовъ въ дѣлѣ испаренія воды съ поверхности тѣла доставилъ недавно *Wolpert*¹⁾. Основываясь на физическихъ законахъ испаренія слѣдовало бы ожидать, что потеря воды чрезъ испареніе поверхностью тѣла въ движущемся воздухѣ будетъ больше, чѣмъ въ неподвижномъ воздухѣ. Опытъ же *Wolpert*'а показали обратное. Человѣкъ, находясь въ струѣ движущагося воздуха, теряетъ воды меньше, чѣмъ въ неподвижномъ воздухѣ той же температуры. Очевидно, что чувство тепла или „фзіологическая“ температура, какъ выражается *Napp*, не тождественна съ показываемой термометромъ. Движущійся воздухъ нагнетъ человѣку больше холоднымъ, чѣмъ неподвижный, хотя бы температура того и другого была одинакова. Этокъ именно ощущеніемъ тепла опредѣляется при посредствѣ нервной и сосудистой системы количество крови въ кожѣ и способность послѣдней отдавать воду чрезъ испареніе.

Съ другой стороны въ чисто физическомъ отношеніи испареніе съ кожи регулируется недостаткомъ насыщенія собственно тѣхъ слоевъ воздуха, которые находятся непосредственно надъ испаряющей поверхностью тѣла, открытой или защищенной одеж-

дой, и который не одинаковъ съ недостаткомъ насыщенія воздуха, находящагося отъ тѣла на нѣкоторомъ разстояніи, въ силу разности температуръ. Если прибавить къ этому, что въ самомъ ученіи объ испареніи жидкостей, какъ о физическомъ явленіи, существуетъ еще много неяснаго и даже противорѣчиваго и что самые законы испаренія, какъ и многіе другіе физическіе законы, являются только приближительно вѣрными, то становится понятнымъ, почему мы еще пока не обладаемъ точными знаніемъ условій, уравнивающихъ испареніемъ воды съ поверхности человѣческаго тѣла. Участіе фзіологическихъ процессовъ является факторомъ, настолько затѣмняющимъ изученіе явленій испаренія, что *Rubner* призналъ отдачу водяного пара животнымъ организмамъ за чисто фзіологическое явленіе, къ которому вовсе не применимы физическіе законы испаренія съ мертваго неорганизованнаго субстрата, и отказался видѣть зависимость между величиной испаренія и недостаткомъ насыщенія. Отдача водяного пара по *Rubner*'у обуславливается изъ физическихъ свойствъ воздуха его температурой и относительной влажностью, недостатокъ же насыщенія не принимаетъ никакого участія. Выводы *Rubner*'а, основанные на наблюденіяхъ общей отдачи водяного пара дыханіемъ и поверхностью тѣла на животныхъ²⁾ и совмѣстно съ *Левашевымъ* на человѣкѣ³⁾, не могутъ быть однако признаны доказательными по отношенію къ потерѣ водяного пара одной поверхностью кожи и кромѣ того сами наблюденія съ большей легкостью объясняются, если принять и общую отдачу воды зависящей при прочих равныхъ фзіологическихъ условіяхъ отъ недостатка насыщенія окружающаго воздуха. Принимъ наблюденій надъ испареніемъ съ поверхности тѣла, къ сожалѣнію, имѣется весьма мало и если исключить наблюденія *Schierbeck*'а⁴⁾ надъ человѣкомъ, какъ произведеніемъ при высокой температурѣ и малыхъ колебаніяхъ влажности воздуха,

остаются въ распоряженіи животныхъ въ жидкостяхъ животныхъ по своимъ

¹⁾ *Rubner*. Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserabgabe. Arch. f. Hyg., 1880, Bd. XI, S. 197—242.

²⁾ *Rubner* und *Levashew*. Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitschwankungen unbewegter Luft auf den Menschen. Arch. f. Hyg., 1897, Bd. 29, S. 165.

³⁾ *Schierbeck*. Eine Methode zur Bestimmung der Ventilation durch eine Kleidung. Arch. f. Hyg., 1893, Bd. 16, S. 203—237.

⁴⁾ *Wolpert*. Ueber den Einfluss der Luftbewegung. Arch. f. Hyg., 1898, Bd. 33.

то намъ останутся одинъ только исслѣдованія Ф. Ф. Эрсмана¹⁾. Многочисленныя и точныя наблюденія его надъ обнаженной и покрытой одеждой рукой, съ несомнѣнностью показываютъ, что испареніе съ кожи подчиняется общимъ физическимъ законамъ и зависитъ отъ недостатка насыщѣнія, хотя величина испаренія возрастаетъ не прямо пропорціонально недостатку насыщѣнія, а пропорціонально квадрату его. Самъ Эрсмана впрочемъ такой зависимости не вывелъ—онъ не говоритъ ни слова о недостаткѣ насыщѣнія—и сдѣлалъ лишь то заключеніе, что испареніе съ кожи обуславливается температурой и относительной влажностью воздуха и что зависимость между влажностью воздуха и испареніемъ не можетъ быть выражена простой пропорціей, а скорѣе прогрессіей.

Rubner доказалъ громадное значеніе жизненныхъ процессовъ въ отдачѣ воды съ поверхности тѣла, но отрицаніе имъ участія физическихъ законовъ испаренія не можетъ быть принято. Если, пользуясь сравненіемъ Flügge, нельзя живую кожу уподобить влажной поверхности атмометра, испареніе съ которой зависитъ отъ недостатка насыщѣнія, отъ давленія и движенія воздуха, то ее можно сравнить съ поверхностью атмометра, снабженнаго приспособленіемъ для большаго или меньшаго притока воды къ испаряющей поверхности. Роль этого приспособленія и играютъ въ организмѣ физиологические процессы. Мало доставляется воды къ испаряющей поверхности, мало и испаряется, но обратное не всегда справедливо: доставляется воды можетъ много, но испарится только то количество ея, которое можетъ превратиться въ паръ, въ силу физическихъ свойствъ окружающей атмосферы. Итакъ, при сужденіи объ отдачѣ воды живою кожей, слѣдуетъ различать два процесса—физиологическій и физическій. Первый заключается въ снабженіи кожи водой, обуславливается дѣятельностью кожи, ея кровеносныхъ сосудовъ и потовыхъ железъ и зависитъ отъ многихъ условій, лежащихъ въ самомъ организмѣ и во внѣшней природѣ: покой и работа, усиленное и недостаточное пи-

таніе, низкая или высокая температура воздуха (вѣрнѣе: физиологическая температура въ смыслѣ Нанп'а). Второй процессъ—физическій и состоитъ въ отдачѣ воды окружающему воздуху; онъ вѣроятно происходитъ—насколько можно о томъ судить по имѣющимся до сихъ поръ даннымъ—какъ испареніе съ мертваго субстрата, и обуславливается движеніемъ воздуха, его давленіемъ и влажностью.

Зависимости испаренія отъ содержанія влаги въ воздухѣ опредѣляется тѣмъ соотношеніемъ, которое существуетъ между наибольшимъ давленіемъ пара для данной температуры и тѣмъ давленіемъ, которое въ дѣйствительности наблюдается и пропорціонально или разности этихъ величинъ, т. е. недостатку насыщѣнія, если примемъ законъ Dalton'a, $E = \frac{F-f}{H}$, или пропорціонально болѣе сложному отношенію между F и f , если будемъ считать стоящимъ ближе къ истинѣ законъ Stefan'a, $E = \log \text{nat} \frac{H-f}{H-F}$.

Недостатокъ насыщѣнія, выражая собой мѣру высушивающей силы воздуха, даетъ болѣе опредѣленныя указанія при сужденіи о климатѣ какой-либо мѣстности, чѣмъ относительная влажность. Петербургъ, Москва и Севастополь въ іюлѣ имѣютъ одинаковую относительную влажность 74%, тогда какъ недостатокъ насыщѣнія, равняющійся 3,8^{mm}, 4,7^{mm} и 6,4^{mm}, показывать, что сухость воздуха въ нихъ не одинакова. Виндава и Батумъ въ томъ же мѣсяцѣ имѣютъ относительную влажность 80% и 82% и недостатокъ насыщѣнія 2,6^{mm} и 3,9^{mm}. Если судить по относительной влажности, то климатъ Батума влажнѣе Виндавы, тогда какъ недостатокъ насыщѣнія показываетъ обратное.

Лечебная климатологія однако продолжаетъ классифицировать мѣстности по ихъ температурѣ и относительной влажности. Обозначеніе влажности недостаткомъ насыщѣнія даетъ болѣе ясныя представленія о сухости воздуха, когда дѣло идетъ не столько о распредѣленіи мѣстностей по ихъ метеорологическимъ элементамъ, сколько о прямыхъ указаніяхъ на метеорологическій факторъ непосредственно вліяющій на человѣческій организмъ.

¹⁾ Erlmann. Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut. Zeitsche f. Bio., 1875, Bd. 11 S. 1.

Вообще недостаток насыщения приближается к тому, где является способность судить о высушивающей силе воздуха, его способности поддерживать испарение и поглощать водяные пары; в некоторых же особых случаях следует отдать предпочтение абсолютной или относительной влажности. Так, как уже изложено было выше, знание абсолютной влажности необходимо при суждении о влиянии воздуха на потерю воды с поверхности дыхательных путей, при определении влажности воздуха находящегося в различных слоях одежды, при суждении о теплопроводности воздуха и о зависимости влажности комнатного воздуха от влѣтываго. Относительной влажности следует отдать предпочтение при оценке содержания воды в гигроскопических веществах.

Способы предложенные для определения влажности воздуха могут быть раздѣлены на две группы. Одни основаны на свойствах некоторых веществ химически соединяться с водой и имѣть свой вѣсъ, другіе имѣют в основаніи чисто физическія явленія. Последние заключаются: 1) в измѣненіи объема некоторых органических тѣлъ под вліяніемъ влажности, 2) в появленіи на гладкихъ поверхностяхъ видимаго осадка водяного пара в случаѣ охлажденія ихъ до известнаго предѣла, 3) в пониженіи температуры влажныхъ поверхностей под вліяніемъ большого или меньшаго содержания в воздухѣ осадка водяного пара, 4) в измѣненіи величины испаренія в зависимости отъ влажности воздуха, 5) в измѣненіи объема или давленія воздуха послѣ поглощенія содержащейся в немъ влаги веществами химически с ней соединяющимися, или наконецъ 6) в измѣненіи объема или давленія воздуха вследствие диффузіи водяного пара чрезъ пористыя тѣла. Къ первой группѣ относится только одинъ вѣсової способъ: поглощеніе водяного пара въ опредѣленномъ объемѣ воздуха хлористымъ кальціемъ, серной кислотой или фосфорнымъ ангидридомъ и взвѣшивание этихъ веществъ; прибавъ вѣсъ ихъ даетъ количество водяного пара содержащагося въ изслѣдуемомъ воздухѣ.

Къ весьма многочисленнымъ приборамъ, основаннымъ на физическихъ явленіяхъ, относятся: психрометръ, гигрометры—статистическій, объемный, волосной и диффузионный и испарители (атмометры или эвалориметры).

Существеннымъ условіемъ при определѣніи влажности воздуха является точное измѣреніе температуры; показанія термометра въ большинствѣ изъ перечисленныхъ способовъ имѣютъ рѣшающее значеніе. Посему изложено способъ определѣнія влажности необходимо предпослать описаніе постройки термометровъ.

Когда дѣло идетъ о полученіи какихъ-либо величинъ помощью измѣренія, то первымъ и необходимымъ условіемъ является, чтобы единица, которой эти измѣренія производятся, точно соответствовала установленной нормаль. Измѣреніе температуры основано на измѣненіи объема тѣла под вліяніемъ тепла. Если бы мы имѣли жидкость, расширеніе которой было прямо пропорціонально температурѣ, и если можно было бы имѣть цилиндрическую въ математическомъ смыслѣ термометрическую трубку, то, опредѣливъ постоянныя точки 0° и 100° и раздѣливъ пространство между ними на 100 частей, мы получили бы приборъ, точно измѣряющій измѣненія температуры. Величины полученныя такими термометрами въ разное время и разными наблюдателями могли бы быть сравнимы. Выполненіе этихъ условій является однако недостижимымъ. Источникомъ ошибокъ при измѣреніи температуры, кромя нестояннаго коэффициента расширенія ртути и невозможности имѣть цилиндрическую трубку, является еще расширеніе стекла составляющаго термометрическій сосудъ и неправоильность дѣльной скалы термометра. Въ точныхъ термометрахъ ошибки зависящія отъ нецилиндричности трубки устраняются частію калиброваніемъ, которое въ обыкновенныхъ термометрахъ, даже раздѣленныхъ на $\frac{1}{100}^{\circ}$, не дѣлается. Все это ведетъ къ тому, что имѣя термометръ и найдя помощью извѣстныхъ способовъ, что точки 0° и 100° нанесены вѣрно, мы еще не получаемъ представленія о соответствіи остальныхъ дѣлений термометра съ истинными и можемъ признать данный приборъ вѣрнымъ только по отношенію къ опредѣленнымъ нами точкамъ.

Чтобы пользоваться нашим инструментомъ, необходимо еще сравнить промежуточные дѣленія съ таковыми, на которыхъ эти дѣленія нанесены вѣрно. Такой термометръ называется *нормальнымъ*. Строго говоря и показанія нормального термометра не совпадаютъ съ истинными—такого инструмента, какъ ясно изъ вышеназложеннаго невозможно приготовить,—но уклоненія каждаго дѣленія отъ истинной температуры въ нормальномъ термометрѣ извѣстны чрезъ сравненіе его съ воздушнымъ термометромъ непосредственно или помощью другого нормального термометра. Зная уклоненія инструмента отъ истинныхъ величинъ (*погрѣшности*), получаемъ таблицу *поправокъ*, помощью которыхъ показанія термометра приводятся къ истиннымъ. Нормальнымъ слѣдовательно называется термометръ снабженный таблицей поправокъ и повѣрить какой либо инструментъ значить найти къ нему поправки. Такое представленіе о проверкѣ термометровъ не получило еще широкаго распространенія въ гигиенѣ, что и служитъ побудительной причиной остановиться на этомъ предметѣ нѣсколько болѣе, чѣмъ можетъ казаться необходимымъ для усненія сущности дѣла. Въ одной гигиенической работѣ, гдѣ всѣ выводы основываются на психрометрическихъ измѣреніяхъ, авторъ проверяетъ свои четыре термометра такъ: „Одинъ изъ нихъ проверяетъ общепотребительнымъ способомъ, погруженіемъ шарика его въ тающій снѣгъ, и оказался вѣрнымъ. Остальные термометры сходились съ провереннымъ“. Такой способъ проверки, если даже допустить, что въ тающій снѣгъ погружался не одинъ шарикъ термометра, а весь столбъ ртути до 0° точки, является очень несовершеннымъ и значительно подрываетъ довѣріе къ полученнымъ результатамъ. Одинъ изъ термометровъ, имѣвшихся въ нашемъ распоряженіи, въ тающемъ лѣду показывалъ—0,1°, т. е. поправка его для приведенія къ истинной температурѣ была +0,1°. Если удовольствоваться проверкой только точки 0°, то приходится принять эту же поправку и для всѣхъ остальныхъ дѣленій термометра, т. е. при показаніи термометромъ, положимъ, +20,0° принимать истинную температуру равной +20,1°. При проверкѣ же точки +20,0° термометра чрезъ сравненіе съ нормальнымъ, поправка на эту температуру оказалась—0,2°, т. е. показанію термометра въ 20,0°

соотвѣтствуетъ истинная температура не въ 20,1°, а въ 19,8°—разность въ 0,3° достаточно большая, чтобы ей можно было пренебрегать, работая съ психрометромъ.

Проверка термометровъ, которыми я пользовался, произведена въ физическомъ кабинетѣ *Вл. Ф. Лунина* и подъ его руководствомъ. Единицей для сравненія служилъ нормальный термометръ № 7607, принадлежавшій гигиеническому институту, съ дѣленіями отъ—10,0 до +100,0° C; каждый градусъ имѣлъ въ длину 4,15 мм. и раздѣленъ на десять частей. При термометрѣ имѣлась таблица поправокъ отъ *Physikalisch-technische Anstalt* въ *Scharlotenburg*ъ. Во время составленія этой таблицы, въ мартѣ 1896 г., термометръ въ тающемъ лѣду показывалъ—0,1°, годъ почти спустя въ февралѣ 1897 г.—0,02°, т. е. точка 0° повысилась на 0,08°, поправка слѣдовательно измѣнилась на—0,08°. Эта величина прирана алгебраически къ поправкамъ даннымъ для 1896 года и получена таблица поправокъ для 1897 года. Помощью графической интерполации выведены поправки для всѣхъ промежуточныхъ градусовъ. Полученная полная таблица и служила для вычисленія истинныхъ температуръ по показаніямъ этого термометра.

Въ испытуемыхъ термометрахъ проверялась сначала точка 0° чрезъ погруженіе въ тающій лѣдъ, а затѣмъ проверялись остальные дѣленія чрезъ сравненіе съ нормальнымъ. Приборъ, служащій для проверки точки 0°, состоитъ изъ стекляннаго цилиндрическаго сосуда съ отверстиемъ въ днѣ, помѣщеннаго въ другой цилиндрической посудѣ большаго діаметра, такъ что между стѣнками обоихъ остается слой воздуха. Внутренній сосудъ наполняется до краевъ мелкими скобленными льдомъ, полученнымъ изъ перегнанной воды. Лѣдъ смачиваютъ водой и плотно убаиваютъ деревяннымъ цилиндромъ, пока не выйдутъ всѣ пузырьки воздуха и устранится всѣ промежутки и каналы, по которымъ внѣшній воздухъ могъ бы придти въ соприкосновеніе съ шарикомъ термометра и повншать его температуру. Въ приготовленной такимъ образомъ массѣ тающаго льда, помощью стеклянной трубки выбивается вертикальный каналъ, въ которомъ и помѣщается испытуемый термометръ, погружаемый въ лѣдъ почти до 0°. Поло-

жение вершины ртутного столба отбачается помощью микроскопа, зрительная ось которого находится в горизонтальной плоскости. Если градус термометра раздѣлен на десять или пять частей, то отсчет возможен съ точностью до 0,01°; въ термометрахъ служащихъ для калориметрич., въ которыхъ каждый градусъ раздѣлен на 50 частей, отсчитывается 0,001°.

По общепринятому способу проверки точки 0° производится, и въ метеорологич. и въ гигиен., чрезъ погружение термометра въ сосудъ наполненный толченымъ льдомъ или свѣже выпавшимъ снѣгомъ, гдѣ термометръ оставляется нѣсколько часовъ, пока положение столба ртутіи сдѣлается постояннымъ. Время проверки сокращается, если въ сосудъ подливаютъ воды и тѣмъ ускоряютъ таяніе снѣга. Сравнительное опредѣленіе точки 0° по обыкновенному способу и усовершенствованному показало слѣдующее:

Поправки для 0°.

	Обыкновенный спос.	Усовершенств. спос.
Нормальный термометръ	+ 0,01°	+ 0,02°
Сухой термометръ отъ психрометра	+ 0,1°	+ 0,12°

Разница получаемыхъ результатовъ слишкомъ ничтожна, чтобы оставлять болѣе легкій способъ проверки 0°, когда желаемая точность термометра не выше 0,1°. Не слѣдуетъ только пренебрегать погруженіемъ въ тающій ледъ всей ртутіи, т. е. шарика и трубки термометра до 0°. При несоблюденіи этого условія температура столба ртутіи будетъ выше, чѣмъ температура сосуда термометра, и показанія термометра будутъ ошибочны въ сторону +.

Величину производимой отъ этого ошибки опытнымъ путемъ опредѣляютъ Э. Е. Лейст¹⁾, опредѣляя въ нѣсколькихъ термометрахъ точку 0° сначала обычнымъ способомъ, а потомъ такъ, что въ тающій снѣгъ погружены были только сосуди термометровъ, сами же термометры, защищенные отъ вліянія низкой температуры снѣга слоемъ войлока, положеннаго на его поверхность,

¹⁾ О вліяніи температуры столба ртутіи у нѣкоторыхъ манометрическихъ термометровъ. Отд. отъ изв. Зап. Н. А. И., 1891, кн. 1, стр. 120.

оставались на воздухѣ при температурѣ приблизительно въ 14°. Ошибка получавшаяся въ показаніяхъ термометровъ измѣнялась, смотря по дѣлѣ термометрической трубки, отъ 0,16° до 0,5°.

Много болѣе трудную задачу составляетъ сравненіе остальныхъ дѣленій термометра съ нормальными и выведеніе для нихъ поправки. Методику такого сравненія Ф. Ф. Эрисмана¹⁾ описываетъ такъ: «Проверка при помощи нормального термометра производится въ деревянномъ сосудѣ возможно большихъ размѣровъ, наполненномъ водою: нормальный и испытуемый термометры погружаются въ воду въ срединѣ сосуда рядомъ; потомъ приливаютъ горячую воду и, доведя такимъ образомъ температуру въ сосудѣ до того градуса, съ котораго хотятъ начать проверку, тщательно сдѣлываютъ воду для того, чтобы температура ея была вездѣ одинакова; отсчитавъ затѣмъ стояніе ртутіи въ обоихъ термометрахъ, даютъ водѣ остывать, отъ времени до времени помѣнявая ее и отсчитывая показанія обоихъ градусниковъ для цѣлаго ряда температуръ. На основаніи этихъ отсчетовъ составляютъ таблицу поправокъ для испытуемаго инструмента».

Способъ этотъ имѣетъ въ себѣ нѣсколько источниковъ ошибокъ и можетъ дать годные результаты только въ случаѣ полной тождественности сравниваемыхъ термометровъ по отношенію къ величинѣ резервуаровъ и дѣлѣ трубки.

Самый главный недостатокъ этого способа заключается въ быстрой охладженіи воды, вслѣдствіе открытой ея поверхности, а такъ какъ быстрая нагрѣванія ртутіи обратно пропорціональна массѣ, то два термометра съ разной величины резервуарами будутъ показывать температуру не одновременно и термометръ съ большимъ сосудомъ для ртутіи будетъ давать температуру выше, чѣмъ съ малымъ при пониженіи температуры и обратно при повышеніи ея. Кроме этого охладженіе воды въ открытомъ сосудѣ, если стѣнки его сдѣланы изъ плохо проводящаго тепло матеріала, происходитъ главнымъ образомъ съ поверхности, вслѣдствіе чего частицы воды, сдѣлавшіяся болѣе холодными и, слѣдовательно, болѣе плотными, опускаются на дно сосуда, замѣщаясь идущими имъ на

¹⁾ Курьезъ Гигиены. 1837, т. I, стр. 120.

встрѣчу снизу вверх болѣе теплыми и болѣе легкими частицами. Вода поэтому въ различныхъ горизонтальныхъ слояхъ не можетъ имѣть одинаковой температуры. Шарика сравнимаемыхъ термометровъ должны быть сдѣлательно помѣщены по возможности ближе другъ къ другу въ одной горизонтальной плоскости. При вертикальномъ положеніи термометровъ это не представляетъ неудобствъ, если термометры имѣютъ почти одинаковую длину; при разн. длинѣ термометровъ не вся масса ртути болѣе длиннаго термометра подвергается дѣйствию данной температуры, часть столба ртути остается при другой температурѣ, что отражается на показаніи термометра. Для исправленія показанія приходится вводить поправку на вистоніе столба ртути, остающагося непогруженнымъ въ воду. Если, положимъ, термометръ показываетъ въ водѣ 40° и погруженъ въ воду только до 0° , такъ что столбъ ртути на протяжении 40° находится подъ вліяніемъ комнатной температуры, положимъ, 20° , то поправка эта равна $+0,1^{\circ}$. Введеніе этой поправки затрудняетъ вычисленія, да и самая поправка по разнымъ формуламъ оказывается различной.

Эти недостатки устранены въ особыхъ приборахъ, такъ называемыхъ *компараторахъ*¹⁾. Термометры могутъ быть сравнимы въ вертикальномъ или горизонтальномъ положеніи. Въ томъ и другомъ случаѣ термометры помѣщаются цѣлкомъ въ воду, такъ что и резервуары и трубки ихъ находятся въ слой воды одинаковой температуры. Горизонтальные компараторы даютъ лучшіе результаты. Приборъ состоитъ изъ мѣдной ванны, длиною около 1 метра, шириной отъ 0,25 до 0,30 метра и глубиной 0,15 до 0,20 метра. Ванна помѣщается въ другую большаго размѣра, имѣющую двойной стѣнки. Обѣ ванны наполняются водой. Термометры располагаются на подставкахъ во внутренней ваннѣ въ горизонтальномъ положеніи. Толстое зеркальное стекло служить крышкой для внутренней ванны и препятствуетъ охлажденію воды чрезъ испареніе. Этимъ стекломъ закрываютъ ванну такъ, чтобы между нимъ и поверхностью воды не оставалось пузырьковъ воздуха. Для сжиманія воды и придавая ей равномер-

ной температуры въ обѣихъ ваннахъ имѣются особыя приспособленія, состояща изъ широкой трубки, идущей по дну ванны чрезъ всю ея длину; одинъ конецъ оканчивается свободно, другой же переходитъ въ вертикальную трубу съ отверстіемъ на верхнемъ концѣ, содержащую выитъ, которому помощью маховичка и безконечнаго ремня придается вращательное движеніе. Вода въ нижнихъ слояхъ ванны такимъ образомъ постоянно проталкивается въ верхніе слои, чѣмъ достигается равномерная температура ванны. Для отсчетовъ термометровъ служитъ слабый микроскопъ, помѣщаемый на стеклянную крышку прибора. Въ отсчетамъ приступаютъ, когда убѣждаются, что въ ваннѣ достигнута равномерная температура и показанія термометровъ не измѣняются въ теченіе нѣкотораго времени.

Положимъ, что въ компараторѣ помѣщены три термометра: нормальный и два пробирныхъ. Отмѣтивъ и записавъ показанія всѣхъ трехъ термометровъ, для устраненія ошибокъ, происходящихъ отъ нецѣрной отѣнки показаній термометровъ и отъ неравномѣрности температуры воды въ ваннѣ, тотъ же отсчетъ по всѣмъ термометрамъ повторяютъ отъ пяти до десяти разъ. Если въ теченіе такихъ повторныхъ отсчетовъ термометры показываютъ измѣненія температуры ванны менѣе, чѣмъ на $0,1^{\circ}$, то отсчеты признаются вѣрными и тогда переходятъ къ проверкѣ другихъ дѣлений термометровъ. Здѣсь поступаютъ смотря по роду термометровъ и желаемой точности и пробѣрки: въ калориметрическихъ термометрахъ дѣления пробѣруются чрезъ каждыя два градуса; гдѣ довольствуются точностью въ $0,1^{\circ}$, термометры сравниваются чрезъ пять, десять градусовъ. При сравненіи термометровъ можно идти отъ высшихъ температуръ къ низшимъ или обратно. Достигнувъ желаемой температуры чрезъ подливаніе въ ванну горячей или холодной воды и сѣбѣа, производятъ отсчеты для новой точки скалы термометровъ. Изъ полученныхъ рядовъ отсчетовъ вычисляютъ среднія величины, которыя и принимаются поправками для изсѣдованныхъ дѣлений термометра. Проверивъ такимъ образомъ нѣсколько точекъ термометрической скалы и точку 0° , опредѣляютъ помощью графической интерполляціи поправки для каждаго градуса и составляютъ полную таблицу поправокъ для данного термометра.

¹⁾ Guillaume. Traité pratique de la thermométrie de précision. 1889.

(Andrews ¹⁾, Muller-Erzbach ²⁾, Shaw ³⁾), что хлористый кальций даже свежее прокаленный не удерживает всей влаги из пропущенного через него воздуха. В настоящее время для химического способа прихватывают серную кислоту, или фосфорный ангидрид.

Shaw (1888), пользуясь U-образными трубками, наполненными немой сь серной кислотой, нашел, что только при скорости 8—10 литра в час весь водяной пар из воздуха поглощается первой трубкой, при большей же скорости тока воздуха часть влаги проходит чрез первую трубку непоглощенной и тогда определять влажность воздуха приходится по увеличению вьса вьскольных трубочек. Такой приемъ однако не увеличивает точности способа, такъ какъ оказалось, что вьсы поглотительныхъ трубокъ возникаетъ отъ случайныхъ причинъ—измѣненія въ температурѣ и давленія воздуха, осѣданіе водяного пара на наружной поверхности трубочекъ. Эти случайныя ошибки, оставшіяся незамѣченными ни Regnault, ни другими изслѣдователями, работавшими съ химическимъ способомъ, доходятъ до 0,002 грм. на каждую трубку и заставляютъ стремиться къ возможному уменьшенію числа поглотительныхъ трубокъ. Shaw отмѣтилъ также, что каучуковыя трубки, приводящія воздухъ, могутъ быть источникомъ ошибокъ, такъ какъ сильно конденсируютъ водяной паръ, независимо отъ условій со стороны температуры.

Haldane & Pembrey (1890)⁴⁾ внесли существенныя улучшенія въ вьсовой способъ, уменьшивъ возможность случайныхъ ошибокъ и увеличивъ поглотительную способность трубокъ. Аппаратъ ихъ состоитъ изъ пары пробирокъ (1×4 дюйма), соединенныхъ между собой стеклянной трубкой и наполненныхъ немой сь серной кислотой, и изъ двухъ асираторовъ, смѣстою каждый въ 3 литра. Каждая пробирка закрывается пробкой, пропитанной и залитой парaffиномъ; чрезъ пробку въ каждой пробиркѣ проходитъ двѣ стек-

¹⁾ Philos. Mag. vol. 4, 1852, p. 430.

²⁾ Berichte Deutsch. chem. Gesell., B. 14, p. 1063.

³⁾ Shaw, Report on hygrometric methods. Philosophical Transactions, vol. 179, A, 1889, p. 81.

⁴⁾ Haldane & Pembrey, An improved Method of Determining Moisture and Carbonic Acid in Air, Philos. Mag. v. 29 (5), 1890, p. 306.

ГЛАВА II. Физическіе методы.

Вьсовой способъ.—Гигрометры: объемный, сгустительный и диффузионный.

Вьсовой способъ. Вьсовый или химическій способъ опредѣленія влажности воздуха предложенъ Bunneromъ въ 1830 году и до настоящаго времени считается наиболее простымъ и точнымъ. Онъ основанъ на пропусканіи опредѣленнаго объема воздуха чрезъ трубки содержащія вещества, которыя имѣютъ свойство поглощать водяныя пары. Увеличеніе въ вьсѣхъ трубкахъ послѣ пропусканія чрезъ нихъ воздуха и даетъ вьсѣ водяного пара, содержавшагося въ воздухѣ. Вьсовый способъ опредѣленія влажности въ лабораторной обстановкѣ весьма простъ, хотя вьсколько мѣнотенъ, но вѣхъ лабораторій примѣненіе его сопряжено съ большими затрудненіями. Вотъ почему въ санитарной практикѣ онъ почти не употребляется. Сколько мнѣ извѣстно, только одинъ Савицкій ¹⁾ пользовался имъ для опредѣленія влажности комнатнаго воздуха и воздуха непосредственно окружающаго больного. Полное описаніе вьсового способа здѣсь было-бы излишне, такъ какъ ему отводится достаточно мѣста во вьсѣхъ руководствахъ по химіи, физикѣ и гигиенѣ. Если на чемъ и можно остановиться, такъ на вьноторныхъ подробностяхъ пользованія способомъ для полученія вѣрныхъ результатовъ, какъ они выписаны изъ новѣйшихъ работъ, предпринятыхъ для проверки или улучшенія этого способа.

Въ качествѣ поглотителей прихитались сначала хлористый кальцій или кристалъ серная кислота, но потомъ было найдено

¹⁾ Опыты анализа воздуха, непосредственно окружающаго тѣло больного. Врачъ, 1883, стр. 401, 420.

лянные изогнутыя трубки: одна, достигающая почти до дна пробирки, и другая, оканчивающаяся немного ниже нижней поверхности пробки. Пемза, служащая для наполнения пробирок, послѣ измѣлченія просѣивается сквозь сито, пѣшное около 7 нитей въ 1 дюймъ, и пыль изъ нея удаляется помощью болѣе частаго сита; затѣмъ пемза накаливается до красна и еще горячею бросается въ крѣпкую два раза переганную сѣрную кислоту; избытокъ кислоты сливается. Одна пара такихъ пробирокъ, вѣсящая около 80 граммъ, поглощаетъ весь водяной паръ, заключающійся въ воздухѣ, даже при скорости тока послѣдняго до 7 литровъ въ 1 минуту. Такимъ образомъ представляется возможнымъ для анализа довольствоваться одной парой поглотительныхъ трубокъ, чѣмъ уже уменьшаются случайныя ошибки, и кромѣ того авторы пользуются при взвѣшиваніи противовѣсомъ, состоящимъ изъ такой же пары закупоренныхъ трубокъ и такого же приблизительно вѣса, помѣщая его на другую чашку вѣсовъ. Тѣ и другія трубки—абсорбціонныя и уравнивающія—хранятся всегда вмѣстѣ. Этимъ предотвращаются случайныя измѣненія въ вѣсѣ трубокъ, происходящія отъ перемѣнъ температуры и давленія воздуха и отъ осадненія водяного пара.

Случайныя ошибки при взвѣшиваніи простираются при старомъ способѣ по изслѣдованіямъ *Shaw* до 0,002 грм., въ способѣ же *Haldane & Pembrey* только до 0,0003 грм. Изъ многочисленныхъ опытовъ, предпринятыхъ для проверки своего изученнаго способа, авторы вывели заключеніе, что изслѣдованіе воздуха по ихъ способу въ теченіи одной минуты равносильно по точности двухчасовому анализу по прежнему способу. Благодаря этимъ видоизмѣненіямъ и малому объему аспираторовъ, сокращается безъ ущерба для точности время анализа, такъ что и химическій способъ перестаетъ быть исключительно лабораторнымъ.

Точное опредѣленіе влажности воздуха внѣ лабораторіи дѣлается такимъ образомъ не затруднительнѣе, чѣмъ напр. опредѣленіе углекислоты по способу *Pettenkoffer'a* съ бутылками.

Haldane & Pembrey, работавшіе въ физиологической лабораторіи въ Cambridge, назначаютъ свой способъ для изслѣдованій газо-

объема, почему прибавляютъ еще пару пробирокъ, одну пробирку съ натровой известью, другую съ сѣрной кислотой. Скорость тока воздуха для поглощенія всей содержащейся въ немъ углекислоты не должна превышать одного литра въ минуту. При изслѣдованіи атмосфернаго воздуха достаточно пропустить 20 литровъ, для испорченного комнатнаго 3—6 литровъ.

Edelmann (1896 ¹⁾) при опредѣленіи влажности воздуха отдаетъ рѣшительное предпочтеніе фосфорному ангидриду ²⁾ въ силу его болѣе сильной поглотительной способности и болѣе поверхности соприкосновенія, представляемой имъ, какъ мельчайшимъ порошкомъ, проходящему воздуху сравнительно съ пемзою смоченной сѣрной кислотой. Кромѣ того, употребленіе фосфорнаго ангидрида представляетъ удобство въ томъ отношеніи, что всегда по наружному его виду можно впередъ видѣть, способенъ-ли онъ вполнѣ поглощать влагу. Пока онъ сохраняетъ чисто бѣлый цвѣтъ и догдо пересыхаетъ въ трубкѣ, можно быть увѣреннымъ въ его годности. *Edelmann* пользовался U-образными стеклянными трубками съ припаянными кранами; поверхность фосфорнаго ангидрида въ концахъ трубокъ помѣщалась стеклянная вата; двухъ такихъ трубокъ оказалось вполнѣ достаточнымъ для поглощенія всего водяного пара въ воздухѣ при скорости его движенія 1,6 литровъ въ минуту, а при болѣе медленномъ токъ воздуха даже одной.

Edelmann подтверждаетъ заявленіе *Shaw, Haldane & Pembrey*, что каучуковыя трубки сильно удерживаютъ влагу, почему должны быть возможно короче. Первые опыты *Edelmann'a* съ химическимъ способомъ были неудачны, пока онъ не пропиталъ каучуковыя трубки послѣ многократнаго высушенія парафиновымъ масломъ. Равнымъ образомъ *Edelmann* считаетъ весьма удачной мысль *Haldane & Pembrey* при взвѣшиваніи пользоваться противовѣсомъ, такъ какъ это значительно уменьшаетъ ошибки. *Edelmann* оцѣниваетъ ошибки въ опредѣ-

¹⁾ Psychrometrische Studien. Meteor. Zeitsch., 1896.

²⁾ См. также Marley. Amer. Jour. of Science, v. 30, 1894, p. 140 и v. 34, 1897, p. 199. Количество поглощенного водяного пара равняется для H_2SO_4 $\frac{1}{4}$ миллигра. на 100 литровъ воздуха, а для $Ph O_3$ $\frac{1}{4}$ миллигра. на 10000 литровъ.

левіи вологи по хімічному способу в 0,0003 гр. для абсолютної вологи і в 0,05% для відносительної і приходять із заключенію, що в'єсовий спосіб не може бути превзойдєн в точности никакимъ другимъ гігрометрическимъ методомъ.

Упрекъ, дѣлаемый в'єсовому способу, главнымъ образомъ со стороны метеорологовъ, и состоящий въ томъ, что оны доставляютъ только среднія величини вологи за опредѣленный промежутокъ времени, а не для даннаго момента, почему при провѣркѣ метеорологическихъ приборомъ даєть поводъ къ ошибкамъ, такъ какъ влажность атмосфернаго воздуха подержана большимъ колебаніямъ, этотъ упрекъ не можетъ имѣть мѣста по отношенію къ компактному воздуху, который отличается большимъ постоянствомъ. Крімъ того и время изслѣдованія можетъ быть сокращено, если поступать по указаніямъ *Haldane & Pembrey* или пользоваться предложеніемъ *Edelmann'a*. Послѣдній наполняетъ газометръ парафиновымъ масломъ и, при желаніи изслѣдовать воздухъ въ опредѣленный моментъ, набираєть пробу воздуха въ газометръ быстро, а затѣмъ уже изъ газометра пропускаєть воздухъ для изслѣдованія чрезъ поглотительныя трубки съ жєлаємою медленностію.

Употребленіємъ въ аспираторѣ парафиноваго масла вмѣстѣ води достигается еще и другая цѣль, именно сокращеніе вычисленій для приведенія объема воздуха, отсчитаннаго аспираторомъ, къ истинному объему воздуха, прошедшаго чрезъ поглотительныя трубки. Воздухъ, отдавъ свою влажность сѣрной кислотѣ, поступаетъ въ газометръ сухимъ, но здѣсь оны насыщается водянымъ паромъ, если газометръ наполненъ водою, и измѣняется въ объемѣ. Въ аспираторѣ слѣдовательно находится смѣсь сухого воздуха съ водянымъ паромъ и объемъ изслѣдованнаго сухого воздуха равняется объему аспиратора за вычетомъ объема водяного пара. Воздухъ, поступивъ въ аспираторъ, претерпѣваетъ еще измѣненіе въ объемѣ отъ перемены температуры, такъ какъ при насыщеніи сухого воздуха паромъ тратится тепло и температура аспиратора всегда бываєтъ ниже окружающей среды.

У химическаго способа послѣ новѣйшихъ его улучшеній остается, такимъ образомъ, единственный недостатокъ — нѣкоторая

сложность вычисленій. Опредѣлить количество водяного пара, содержащагося въ воздухѣ, прошедшемъ чрезъ поглотительныя трубки, можно очень точно, но затрудненія состоятъ въ точномъ опредѣленіи объема изслѣдованнаго воздуха.

Поэсно это прихитромъ.

При среднемъ давленіи 740,6^{мм} и средней температурѣ $t = 19,3^\circ$ пропущенъ чрезъ поглотительныя трубки воздухъ, объемъ котораго записанъ въ аспираторѣ 36 литровъ, при температурѣ $t_1 = 18^\circ$. Взвѣшиваніє трубокъ показало, что въ изслѣдованномъ объемѣ воздуха водяного пара заключалось 0,2053 грамма.

Если допустить, что 36 литровъ воздуха, измѣреннаго аспираторомъ, равняется дѣйствительному количеству воздуха, прошедшаго чрезъ поглотительныя трубки, то въ 1 куб. метрѣ изслѣдованнаго воздуха содержалось бы водяного пара въ граммахъ:

$$p = \frac{1000 \times 0,2053}{36} = 5,703 \text{ гр.}$$

отсюда давленіе водяного пара равнялось бы:

$$f = \frac{(1 + 0,00367 \cdot 19,3^\circ)}{1,06} p = 5,761^{\text{мм}}$$

Но воздухъ въ газометрѣ имѣлъ $t_1 = 18^\circ$ и былъ насыщенъ водянымъ паромъ, т. е. находился подъ давленіемъ $H - F_1$, тогда какъ изслѣдованный воздухъ содержалъ въ себѣ водяного пара, какъ сейчасъ опредѣлено, приблизительно 5,8^{мм}, т. е. находился подъ давленіемъ $H - f$; слѣдовательно изслѣдованный воздухъ и воздухъ въ аспираторѣ находился подъ разнымъ давленіемъ и были разной температуры. Если обозначить чрезъ V_1 объемъ воздуха, измѣреннаго въ аспираторѣ, то V — истинный объемъ воздуха, прошедшаго чрезъ поглотительныя трубки будетъ:

$$V = V_1 \frac{(H - F_1)}{(H - f)} \frac{(1 + at)}{(1 + at_1)} = 35,69 \text{ литровъ.}$$

Въ этомъ именно объемѣ воздуха и содержалось водяного пара 0,2053 гр., слѣдовательно въ 1 куб. метрѣ $p = 5,753 \text{ гр.}$, а $f = 5,811^{\text{мм}}$.

Отсчитанный объем воздуха должен быть еще исправлен на изменение емкости самого аспиратора под влиянием теплового расширения его стенок, если емкость аспиратора была определена не при той температуре, при которой производилось исследование; тогда формула для приведения объема воздуха, отсчитанного из аспиратора, к истинному объему исследованного воздуха, примет такой вид:

$$V = V_0 (1 + kt_1) \frac{(H - F_1) (1 + at)}{(H - f) (1 + at_1)}$$

где k — коэффициент кубического расширения вещества, из которого сделан аспиратор, и равняется для стекла 0,0000258, а для цинка 0,000088. Последнего рода поправкой можно пренебречь в большинстве случаев, так как она весьма мала. Если емкость аспиратора была определена при 0° и оказалась 36 литров, то при 18° емкость его будет 36,02 литра, если он сделан из стекла, и 36,06 литра, если из цинка.

Вычисления облегчаются, если идти следующим путем. Количество водяного пара, поглощенного трубками, обозначим через q , объем исследованного воздуха, извлеченный аспиратором в литрах, пусть будет — V_1 , тогда в 1 куб. метр будет заключаться водяного пара в граммах — p

$$\frac{V_1}{q} = \frac{1000}{p} \quad \text{или} \quad p = \frac{1000 \cdot q}{V_1}$$

Вставив величину p в формулу $f = 0,943 (1 + at) p$, имеем:

$$f = \frac{943 (1 + at) q}{V_1} \quad (1)$$

где f — давление водяного пара в миллиметрах, а t — средняя температура исследуемого воздуха. Величина f получается приближенная, так как предполагается, что V_1 объем воздуха аспиратора равняется V — объему исследованного воздуха. Вставив в формулу (1) вместо V_1 его исправленную величину

$$V_1 \frac{(H - F_1) (1 + at)}{(H - f) (1 + at_1)}$$

получим:

$$f = \frac{943 \cdot q \cdot (H - f) (1 + at_1)}{V_1 (H - F_1)} \quad (2)$$

Это выражение дает уже точную величину f , если заменим f входящее во вторую половину равенства его численным значением, взятым из формулы (1). H — среднее барометрическое давление, t_1 — температура воздуха в аспираторе, F_1 — наибольшее давление водяного пара при этой температуре.

Если для большей точности принимать в расчет и изменение объема самого аспиратора от теплового расширения его стенок, то, предполагая, что аспиратор был градуирован при 0°, выражение (2) примет вид:

$$f = \frac{943 \cdot g \cdot (H - f) (1 + at_1)}{V_1 (1 + kt_1) (H - F_1)} \quad (3)$$

Когда газометры вместо воды наполнены парафиновым маслом, то воздух, пройдя через поглотительные трубки, входит в него сухой и таким же остается, кроме того и температура газометра остается одинаковой с температурой окружающего его воздуха, как это показал Edelmann; при этих условиях

$$f = \frac{943 \cdot g \cdot (H - f) (1 + at)}{V (1 + kt) H} \quad (4)$$

Высвой способ, благодаря видовым изменениям, указанным выше, может применяться и для прямых гигиенических целей — исследование воздуха жилых помещений, — но главным его назначением остается служить в гигиенических лабораториях и санитарных станциях контрольным методом для выведения постоянной величины у психрометров и проверки других гигрометров, помощью которых определение влажности совершается с меньшей затратой времени и труда.

Объемный гигрометр основан на поглощении из воздуха влаги веществами, химически с ней соединяющимися, как и вѣсовый способ определения влажности, но отличается от него по методам измерения. Въ вѣсовом способѣ измеряется вѣсъ водяного пара, заключающагося въ изслѣдуемомъ объемѣ воздуха, въ объемныхъ же гигрометрахъ измеряется объемъ воздуха до поглощения изъ него водяного пара и послѣ поглощения. Величина этого изменения, если давление сохранять постояннымъ, и определяетъ количество водяного пара, содержащагося въ изслѣдуемомъ воздухѣ.

Вѣсто измерения переменъ въ объемѣ при постоянномъ давленіи можно наоборотъ измерять переменъ въ давленіи, послѣдовавшую за поглощеніемъ водяного пара, сохраняя изслѣдуемый воздухъ при постоянномъ объемѣ. Если сосудъ снабженный манометромъ наполнить влажнымъ воздухомъ и поглотить сѣрной кислотой содержащиеся въ немъ водяные пары, то манометръ покажетъ нѣкоторое пониженіе давленія въ сосудѣ. Величина этого пониженія, выраженная высотой ртутнаго столба въ миллиметрахъ, даетъ прямо величину давленія водяного пара бывшаго въ воздухѣ, т. е. абсолютную влажность, почему такіе гигрометры носятъ еще названіе „абсолютныхъ“.

Водяные пары, содержащиеся въ воздухѣ, можно также удалить, хотя и не вполне, охлажденіемъ воздуха до появленія росы. Если данный объемъ влажного воздуха охлаждать, положимъ, до температуры тающаго льда, то къ сжатію его, зависящему отъ охлажденія, присоединится еще уменьшеніе въ объемѣ отъ перехода части пара въ капельножидкое состояніе. Слѣдовательно воздухъ влажнѣй отъ охлажденія уменьшится въ объемѣ болѣе, чѣмъ сухой. Этимъ дается возможность определять и количество водяного пара, содержащагося въ воздухѣ.

Принципъ всѣхъ этихъ гигрометровъ весьма простъ, но практическое его осуществленіе представляетъ большія трудности, какъ это будетъ видно ниже, и приборы остаются почти исключительно лабораторными и притомъ въ большинствѣ случаевъ изслѣдованными только самими авторами, ихъ предложившими.

Въ виду крайней ограниченности примѣненія такихъ приборовъ описаніе ихъ можетъ быть дано краткое.

Simon Subie ¹⁾ (1876), если не ошибаемся, первый изложилъ основанія объемныхъ гигрометровъ и описалъ два прибора этого рода. Первый приборъ состоитъ изъ колбы въ 1 литръ, снабженной манометромъ. Колбу наполняютъ изслѣдуемымъ воздухомъ и потомъ охлаждаютъ до 0°, пока показанія манометра не сдѣлаются постоянными. Другой приборъ основанъ на высушиваніи замкнутого объема воздуха и состоитъ изъ двухъ одинаковыхъ сосудовъ, соединяющихся между собой внизу каучуковой трубкой и сверху высушивающей трубкой съ хлористымъ кальціемъ. Одинъ изъ сосудовъ наполняютъ сначала ртутью, а затѣмъ, открывъ кранъ, сообщаящій его съ изслѣдуемымъ воздухомъ, переливаютъ ртуть черезъ соединительную каучуковую трубку въ второй сосудъ, помѣстивъ его ниже перваго, причемъ вытекшая ртуть замѣстится равнымъ объемомъ воздуха. Послѣ этого сосуди переключаютъ, поставивъ второй сосудъ выше перваго, и переливаютъ ртуть обратно въ первый сосудъ, откуда воздухъ переходитъ во второй сосудъ, пройдя черезъ высушивающія трубки и отдавъ имъ свою влажность. Манометръ, укрѣпленный въ горлышкѣ второго сосуда, покажетъ уменьшеніе давленія, равное давленію водяного пара, бывшаго въ пробѣ воздуха.

Болѣе извѣстенъ гигрометръ *Schwachhöfer*'а (1879)²⁾, служившій *Зворыкину* однимъ изъ контрольных приборовъ при выводеніи постоянной величины въ психрометрической формулѣ. Воздухъ заключается въ градуированную бюретку и для высушиванія переносится нѣсколько разъ черезъ сосудъ, содержащій сѣрную кислоту. Приборъ весьма сложенъ и требуетъ большой привычки къ нему, о чемъ ясное представленіе даетъ *Pentner* ³⁾. Первые 50 опытовъ примѣненія такого гигрометра были совершенно неудачны, только послѣ 3-хъ недѣльного труда онъ освоился съ приборомъ и сталъ получать повидимому годные результаты, однако въ концѣ концовъ оказалось, что въ 50 опытахъ абсолютная влажность воздуха была определена на 2,5^{mm} ниже истинной.

¹⁾ Simon Subie. Manometer-Hygrometer. Wiener Berichte, 1876, 7^{er}, 531—552.

²⁾ Shaw. I. c. p. 141.

Гораздо проще гигрометр *Edelmann's* (1879) ¹⁾, состоящий из цилиндрического стеклянного сосуда, снабженного манометром и соединенного помощью двух крановъ съ маленькимъ сосудомъ, содержащимъ крѣпкую сѣрную кислоту. Послѣ основательнаго высушивания прибора наполняютъ его исследуемымъ воздухомъ и, открывъ оба крана, перемешиваютъ въ него изъ маленькаго сосуда сѣрную кислоту; воздухъ, вытѣсненный сѣрной кислотой, вступаетъ по другому крану въ сосудъ, занятый прежде сѣрной кислотой, и первоначальный объемъ исследуемаго воздуха слѣдовательно не измѣняется. Спустя нѣкоторое время отсчитываютъ на манометрѣ разницу стоянія ртути въ обоихъ его коѣнникахъ. Величина эта, выраженная въ миллиметрахъ, дастъ безъ всякихъ вычисленій давление водяного пара. Такъ какъ измѣненія въ объемѣ исследуемаго воздуха подъ вліяніемъ температуры много превышаютъ измѣненія отъ поглощенія водяного пара, то существеннымъ условіемъ при мѣненія прибора является постоянно одинаковая температура во все время опредѣленія. Съ этой цѣлью приборъ заключается въ жестяной цилиндръ, защищающій его отъ колебаній температуры. Трудность сохранения постоянно одной и той же температуры представляетъ слабую сторону прибора. Уже вслѣдствіе поглощенія водяныхъ паровъ сѣрной кислотой температура должна повышаться и отсчесть по манометру слѣдовательно можетъ быть произведенъ, когда приборъ вернется къ начальной температурѣ.

Van Hasselt (1879) ²⁾ описалъ подобный же приборъ, но пользовался фосфорнымъ ангидридомъ, заключеннымъ въ тонкій стеклянный шарикъ, который развивалъ встраивавшемъ для поглощенія водяного пара. Разницу давленій показываетъ масляный манометръ, состоящій изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ соединенныхъ внизу каучуковой. Это послѣднее приспособленіе даетъ возможность измѣнять высоту того или другаго коѣнна манометра и позволяетъ прѣтъ отсчетомъ приводить объемъ исследуемаго воздуха къ первоначальному.

¹⁾ Müller. Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 1879. Bd. 2. abth. 2., S. 631.

²⁾ Van Hasselt. Ein Absorptionshygrometer. Beiblätter, 3. 1879. p. 697.

Гигрометр *Rüdorff's* (1880) ³⁾ состоитъ изъ трехгорлой Вульфовой склянки, въ срединѣ горлышкѣ которой укрѣплена бюретка, наполненная крѣпкой сѣрной кислотой. Сѣрную кислоту выпускаютъ по каплямъ, вслѣдствіе чего манометръ покажетъ уменьшеніе давленія, послѣдовавшее отъ поглощенія водяного пара, затѣмъ вновь приливаютъ сѣрную кислоту, пока давленіе не сдѣлается начальнымъ. Объемъ водяного пара равенъ объему вторично принятой сѣрной кислоты и, зная объемъ этой послѣдней и сосуда, можно вычислить количество и давленіе водяного пара, содержавагося въ исследуемомъ воздухѣ. Манометръ наполняется сѣрной кислотой уд. вѣса 1,300, которая по ошибочному вѣдѣнію автора не гигроскопична ⁴⁾, т. е. будто бы не поглощаетъ и не отдаетъ водяныхъ паровъ.

Neesen (1880) ⁵⁾ видоизмѣнилъ приборъ *Rüdorff's*, взявъ вмѣсто одного сосуда два, соединенныхъ между собой помощью дифференціального маслянаго манометра, вслѣдствіе чего температурныя измѣненія въ вѣншей средѣ, дѣйствуя одновременно на оба сосуда, не обнаруживаютъ вліянія на стояніе манометра. Водяной паръ поглощается, какъ и въ гигрометрѣ *Rüdorff's*, сѣрной кислотой налитой въ двѣ бюретки, укрѣпленные въ горлышкахъ того и другаго сосуда. На опредѣленіе влажности воздуха тратится отъ 10 до 15 минутъ.

Если въ замкнутомъ пространствѣ, содержащемъ воздухъ, вмѣсто поглощенія водяного пара помощью сѣрной кислоты или фосфорнаго ангидрида, будетъ доводить количество пара до насыщения, прибавляя воду, то общее газовое давленіе повысится и величина этого повышенія дастъ возможность опредѣлить начальное давленіе водяного пара, бывшаго въ исследуемомъ воздухѣ. На

¹⁾ Rüdorff. Zur Bestimmung des atmo-phärischen Wasserdampfes. Beiblätter, 4. 1880. p. 349.

²⁾ Раствору сѣрной кислоты только тогда нѣтъ это свойство, когда давленіе водяного пара, дающее имя, равно существующему давленію водяного пара въ окружающемъ воздухѣ; это для H_2SO_4 уд. в. 1800 можетъ быть только при 40% прибавляемою влажности воздуха.

³⁾ Neesen. Abänderung des Absorptionshygrometers nach Rüdorff. Wiedemann's Annalen, B. XI, 1880. p. 526—529.

этом основан объемный гигрометр *Matern's* (1880) ¹⁾, рекомендуемый автором для определения постоянной величины в психрометрической формулѣ.

Agamennone и *Bonetti* ²⁾ (1892) описали дифференциальный гигрометр, основанный на измѣненіи объема влажнаго воздуха послѣ охлажденія и представляющій усовершенствованіе перваго прибора *Subic's*.

Если понижать температуру опредѣленнаго объема влажнаго воздуха до осажденія части пара и поддерживать постоянный объемъ, то давленіе уменьшится и по величинѣ уменьшенія можно опредѣлить и абсолютную влажность. Но такъ какъ измѣненіе въ давленіи вслѣдствіе охлажденія зависитъ отъ пониженія эластической силы самаго воздуха въ гораздо большей мѣрѣ, чѣмъ отъ уменьшенія давленія водянаго пара, то при отсчетѣ по такому гигрометру каждый разъ приходится вводить поправку, величина которой во много разъ превосходитъ измѣряемую величину. Эти затрудненія можно устранить, если пользоваться двумя сосудами, соединенными между собой дифференциальнымъ манометромъ, причемъ одинъ изъ сосудовъ содержитъ разъ навсегда высушенный воздухъ, а другой наполняется изслѣдуемымъ воздухомъ. Въ такомъ аппаратѣ сжатіе самого воздуха отъ охлажденія уже не проявляется и, если оба сосуда охладить до температуры тающего льда, то ртуть въ манометрѣ повысится со стороны влажнаго сосуда, показывая уменьшеніе давленія, зависящее исключительно отъ осѣданія части водянаго пара. Однако и при такомъ расположеніи прибора большей точности опредѣленія влажности воздуха нельзя ожидать, такъ какъ приходится основывать вычисленія на разницѣ въ нѣсколько миллиметровъ ртути, поэтому *Agamennone* и *Bonetti* предложили вмѣсто измѣренія переизмѣнъ въ давленіи при постоянномъ объемѣ измѣрять наоборотъ измѣненіе объема при постоян-

¹⁾ Matern. Ueber ein neues einfaches Condensations-Hygrometer. *Wiedemann's Annalen*, 1880, Bd. X, S. 149—154.

²⁾ Agamennone e Bonetti. Sopra un nuovo tipo d'igrometro. *Atti Acad. dei Lincei*. (5) 1, 1892, p. 216—222.

— Ulteriori esperienze sopra un nuovo tipo d'igrometro. *Ibid* (5) 3, 1894, p. 23—30.

номъ давленіи. Тогда точность опредѣленія будетъ обуславливаться величиной сосудовъ и измѣненія въ объемѣ могутъ выражаться нѣсколькими кубическими сантиметрами. Съ этой цѣлью оба нижніе конца дифференциальнаго манометра они соединяютъ съ замкнутымъ сосудомъ, содержащимъ ртуть и снабженнымъ винтомъ, какъ въ барометрахъ съ чашкой. Охлаждаютъ воздухъ въ обоихъ сосудахъ до 0°, опускаютъ помощью винта ртуть въ манометрѣ, пока давленіе не сдѣлается первоначальнымъ, бывшимъ до охлажденія сосудовъ. Зная объемъ сосудовъ и манометровъ, можно вычислить вѣсъ или давленіе водянаго пара. Вычисления однако довольно сложны и авторы въ первыхъ своихъ опытахъ не достигли до желаемой ими точности.

Нѣкоторые изъ объемныхъ гигрометровъ были предложены и для гигиеническихъ цѣлей, именно для опредѣленія влажности стѣн ¹⁾. Объемнымъ же гигрометромъ пользовались *Klas Sonden* и *R. Tigerstedt* ²⁾ при изслѣдованіяхъ газообѣна у человека.

Не имѣя личной опытности съ этими приборами, привожу въ заключеніе мнѣніе *Shaw* ³⁾.

Shaw полагаетъ, что простота объемныхъ гигрометровъ чисто воображаемая, такъ какъ разницы давленій, измѣряемыхъ манометромъ всегда малы и держатся приблизительно $10^{\text{мм}}$. Принявъ эту величину и желая сдѣлать опредѣленіе влажности съ точностью до 1%, придется отсчитывать на манометрѣ $0,1^{\text{мм}}$, что составляетъ меньше чѣмъ $\frac{1}{6000}$ обыкновеннаго барометрическаго давленія; следовательно во все время опредѣленія необходимо сохранять постояннымъ объемъ или давленіе до той же степени точности, а такъ какъ переизмѣна температуры на 1°C измѣняетъ объемъ или давленіе на $\frac{1}{273}$ первоначальной величины, то температура аппарата не должна колебаться болѣе, чѣмъ на 0,02°C, что представляетъ весьма трудную задачу.

¹⁾ Klas Sonden. Ein neues Hygrometer. *Proc. v. Fortschritte der Physik*. 1865, t. 49, Abt. 3, S. 466.

²⁾ Klas Sonden und R. Tigerstedt. Untersuchungen über die Respiration und den Gasaustausch des Menschen. *Skandinav. Arch. f. Physiologie*. 1895, Bd. VI, S. 1—222.

³⁾ Shaw. I. c. p. 144.

Сгустительный гигрометр. Если в теплый воздух внести предмет с гладкой блестящей поверхностью, охлажденный ниже той температуры, при которой водяные пары содержащиеся в воздухе, могут оставаться в газообразном состоянии, то на поверхности внесенного предмета оседают водяные пары в виде росы. *Le Roy* (1751) первый предложил охлаждать в влажном воздухе сосуд, наполненный водой, бросая в нее кусочки льду, пока на поверхности сосуда не начнет показываться роса. Слой воздуха прилегающего к охлажденной поверхности насыщается водяными парами и при дальнейшем охлаждении часть паров оседает. Та температура, при которой воздух насыщается паром, носит название *точки росы*. Когда парь начинает оседать на охлажденной поверхности, то температура ее падает несколько ниже точки росы. При постепенном нагревании поверхности роса исчезает, так как воздух перестает быть насыщенным и сгущившаяся вода вновь переходит в газообразное состояние. Изменяя температуры поверхности в момент появления и исчезания росы и взяв их арифметическое среднее, получаем точку росы. Наибольшее давление водяного пара, соответствующее этой температуре, представляет собою давление пара в момент наблюдения, т. е. абсолютную влажность воздуха.

Приборы, служащие для определения влажности воздуха путем получения точки росы, носят название сгустительных или конденсационных гигрометров.

Оставляя в стороне гигрометры *Daniell'a* (1819) и *Regnault* (1845), так как эти приборы известны по элементарным учебникам физики, прямо переходим к их новейшим усовершенствованным. Гигрометры, появившиеся после *Regnault*, не описываются в руководствах по гигиене, даже вышедших в свет в самое последнее время (*Langlois, Gärtner*, оба изданы в 1896 г.; *Huerpe* 1899, *Praussnitz* 1899.). Упоминаются обыкновенно гигрометры *Daniell'a* и *Regnault*, хотя первый, как прибор мало совершенный, может в настоящее время иметь только исторический интерес, а второй с большим успехом замещается другими инструментами, дающими лучшие результаты.

Alluard ¹⁾ (1878) предложил удачное видоизменение гигрометра *Regnault*. Как известно, в последнем роса оседает на цилиндрической поверхности сосуда из полированного серебра, поему появление и исчезание осадка водяных паров бывает трудно с точностью замечать. *Alluard* заменил цилиндрический сосуд призматическим с плоскими поверхностями и для усиления контраста прибавил рамку из того же металла, как и призма, но не прикасающуюся к охлаждаемому сосуду и всегда сохраняющую свой блеск.

Прибор этот состоит из прямой призмы вышиной в 0,08 метра с квадратным основанием, имеющим по 0,018 метра в каждой стороне. Призма укреплена вертикально на подставке; одна из поверхностей ее хорошо выполирована и посеребрена или вызолочена и окаймлена такой же металлической рамкой. В кришке призмы имеются четыре отверстия: через одно наливаются эфир, через другое проходит термометр, третье пропускает трубку, доходящую до дна призмы; через эту трубку помощью каучуковой груши прогоняется струя воздуха, производящая испарение эфира и вследствие этого охлаждение всего сосуда; через четвертое отверстие удаляются пары эфира. Если прибор расположить так, чтобы в нем не отражались окружающие предметы, а полированная поверхность с ее рамкой представлялась черного бархатного цвета, то появление первых следов росы на ней в виде бледного бледоватого налета удается отметить весьма легко. Как только роса появилась, отмечают температуру эфира и прекращают пропускание воздуха через эфир. Когда от нагревания роса исчезает, термометр отсчитывают вновь. Разность температур появления и исчезания росы после небольшого налива удается свести на 0,2°, даже 0,1°.

Чтобы не влиять своим присутствием на температуру и влажность воздуха, окружающего прибор, наблюдатель производит отсчеты издали помощью зрительной трубы. Для получения температуры воздуха служит второй термометр, который рекомендуется вращать как пращу.

¹⁾ Alluard. Nouvel hygromètre à condensation. J. de Phys. 1878, p. 328.

Гигрометр Alluard'a даетъ въ комнатѣ превосходные результаты (Лачинковъ¹⁾), но въ атмосферномъ воздухѣ при вѣтрѣ опредѣленіе помощью его точки росы дѣлается уже съ меньшей точностью. Приборъ можно охладить ниже точки росы и тѣмъ не менѣе росы на немъ не появляется. Причина этого заключается по мнѣнію Crova въ томъ, что воздухъ при сильномъ вѣтрѣ, касаясь прибора, не успѣваетъ принять его температуры, Заермичевъ же полагаетъ, что при сильномъ движеніи воздуха происходитъ болѣе сильное нагреваніе поверхности прибора, почему онъ имѣетъ температуру высшую, чѣмъ эфиръ и погруженный въ него термометръ.

Чтобы сдѣлать появленіе росы независимымъ отъ скорости движенія воздуха, Crova²⁾ (1883) предложилъ гигрометръ съ внутреннимъ сгущеніемъ. Въ немъ роса осаждается на внутренней поверхности полированной и покрытой пикелемъ трубки, закрытой съ одного конца матовымъ стекломъ, а съ другой слабой душой. Трубка заключена въ призматическій сосудъ, въ который наливается эфиръ. Какъ внутренняя трубка, такъ и вѣншій сосудъ имѣютъ по парѣ тонкихъ трубочекъ, пользуясь которыми просасываютъ аспираторомъ или лаучуковой грушей чрезъ внутреннюю трубку воздухъ подлежащій изслѣдованію, а чрезъ вѣншій сосудъ пропускаятъ воздухъ для охлажденія эфира. Смотри въ душу прибора, наблюдатель видитъ матовый кружокъ съ широкимъ блестящимъ кольцомъ вокругъ него вслѣдствіе отраженія свѣта отъ внутренней полированной поверхности трубки. Когда трубка достаточно охладится отъ испаренія эфира, то на блестящемъ колѣ дѣлается видимой роса сначала въ видѣ дымчатыхъ пятенъ, а при дальнѣйшемъ охлажденіи въ видѣ самобразнаго вѣзета, покрывающаго всю внутреннюю поверхность трубки, за исключеніемъ обоихъ ея концовъ. Термометръ, погруженный въ эфиръ, показываетъ температуру его, равно какъ и внутренней трубки.

Преимущество гигрометра Crova надъ таковымъ же Alluard'a давать вѣрные показанія и при сильномъ вѣтрѣ для гигиены не

имѣетъ, конечно, значенія, но достоинство перваго прибора заключается въ томъ, что помощью его можно изслѣдовать воздухъ, не переминая самого гигрометра, такъ какъ онъ опредѣляетъ влажность того воздуха, который просасывается чрезъ внутреннюю трубку. Переминая и увеличивая длину всасывающихъ трубокъ, можно брать пробу изъ различныхъ слоевъ комнатнаго или наружнаго воздуха. Однако работа съ приборомъ Crova требуетъ большаго навыка, чѣмъ съ гигрометромъ Alluard'a.

Во всѣхъ этихъ гигрометрахъ предполагается, что термометръ погруженный въ эфиръ, показываетъ температуру поверхности, на которой происходитъ образованіе росы. Въ этомъ однако можно усомниться. Пластина въ гигрометрахъ, на которой осаждается водяной паръ, подвергается съ одной стороны вліянію холоднаго эфира, а съ другой болѣе теплаго воздуха, почему температура ея должна быть выше температуры эфира, температуру котораго собственно показываетъ термометръ. Поэтому Dufour¹⁾ (1889) предложилъ измѣрять температуру самой пластинки. Приборъ его похожъ на гигрометръ Alluard'a, но имѣетъ ту особенность, что сторона призма, на которой отбѣляется роса, представляетъ собой толстую пластинку изъ красной мѣди съ просверленными въ толщѣ ея цилиндрическими каналами. Въ послѣднемъ помѣщается термометръ, а остающееся пространство канала плотно набивается мѣдными опилками. Помѣщая для сравненія второй термометръ въ эфиръ наполняющій сосудъ, Dufour убѣдился, что температура мѣдной пластинки превышаетъ температуру эфира на 0,5° до 1,6°. Если помѣстить призму въ цилиндрическій стеклянный сосудъ, снабженный крышкой, чрезъ которую проходятъ трубки, доставляющія воздухъ для изслѣдованія, то получается видоизмѣненіе прибора, подобное гигрометру Crova. Gilbaut²⁾ (1892) съ той же цѣлю, какъ и Dufour, для охлажденія росы примѣняетъ стеклянную платинированную пластинку и опредѣляетъ температуру платины измѣненіемъ ея электропроводности. Точность измѣренія температуры простирается до $\frac{1}{95}^{\circ}\text{C}$.

¹⁾ Dufour. Nouvel hygromètre à condensation. Journ. de Physique. 1889. (2) VIII, p. 74.

²⁾ Gilbaut. Nouvel hygromètre à condensation. Comptes rendus de l'Ac. des Sciences. t. CXXIV, 1892, p. 67.

¹⁾ Лачинковъ. Метеорологія и Климатологія. 1889. стр. 243.

²⁾ Crova. Description d'un hygromètre à condensation intérieure. J. de Phys. (2) 2, 1883. p. 166—169.

Существует кроме того еще несколько видоизмененных сгустительных гигрометров.

Изъ всехъ этихъ приборовъ получили распространение въ метеорологіи только гигрометры Alluard и Crova. Въ руководствахъ по гигиенѣ, какъ сказано выше, изъ сгустительныхъ гигрометровъ отводится мѣсто только гигрометрамъ Daniell'я и Regnault, но признается, что они для гигиенической практики не имѣютъ значения. Однако *Капустинъ* на III съѣздѣ врачей въ память Пирогова высказался за Crova и предлагалъ этимъ гигрометромъ и прачечнымъ психрометромъ замѣнить для цѣлей гигиены всѣ другіе приборы, служащіе для измѣренія влажности воздуха.

Гигрометрами Alluard'а и Crova я пользовался въ качествѣ контрольных приборовъ при опредѣленіи постоянной величины, входящей въ психрометрическую формулу, причемъ выяснились ихъ достоинства и недостатки. Поэтому не будетъ излишнимъ остановиться на этихъ приборахъ нѣсколько подробнѣе, чтобы оцѣнить ихъ значение для гигиенической практики.

Опредѣленіе точки росы помощью гигрометра Crova удается далеко не съ перваго раза и пользованіе приборомъ сопряжено съ большими трудностями, чѣмъ это можно ожидать по его описанію. Прежде всего трудно отмѣтить первые слѣды росы, появляющейся на внутренней поверхности трубки. Непривычный наблюдатель замѣчаетъ росу только тогда, когда она покрываетъ кольцеобразно уже всю трубку въ видѣ самообразнаго налета, что бываетъ при пониженіи температуры ртутн ниже точки росы; въ результатѣ влажность воздуха получается меньше действительной. Ошибка въ обратную сторону бываетъ тогда, когда эфиръ во вѣншемъ сосудѣ остается меньше половины и не весь резервуаръ термометра погружается въ эфиръ. Въ этомъ случаѣ, въ силу того, что соприкасается съ эфиромъ только нижняя стѣнка трубки прибора, то и роса появляется только на ней, а верхняя стѣнка той же трубки остается блестящей; появленіе и исчезаніе росы въ видѣ дымчатыхъ пятенъ легко отмѣтить, но термометръ показывать температуру большую, чѣмъ имѣетъ эфиръ, и влажность воздуха опредѣляется слѣдовательно выше действительной. При малой степени влажности воздуха имѣетъ значеніе для точки росы

и скорость движенія воздуха во внутренней трубкѣ. Не разъ приходилось наблюдать, что роса не появлялась въ трубкѣ при медленномъ движеніи воздуха, хотя температура росы, казалось, была и достигнута; лишь только ускорялось движеніе воздуха, какъ показывалась роса, несмотря на то, что термометръ погруженный въ эфиръ оставался на прежнемъ показаніи или даже повышался до $0,2^{\circ}$.

Надо думать, что малое количество воздуха, заключающееся во внутренней трубкѣ, при малой степени влажности хотя и осаждастъ водяные пары, когда температура достигнетъ точки росы, но получающійся осадокъ настолько ничтоженъ, что не улавливается глазомъ; когда же усиливается токъ воздуха, то каждая новая порція его, осаждавъ свои пары на охлажденную поверхность, усиливаетъ интенсивность росы и дѣлаетъ наконецъ ее замѣтной. Отсюда слѣдуетъ, что токъ воздуха надо по возможности ускорить, усиливая дѣйствіе всасывающей каучуковой груши; опасаться, что при быстромъ токъ воздуха онъ не успеетъ охладиться до точки росы, нѣтъ оснований въ виду малаго діаметра приводящихъ трубокъ сравнительно съ поперечникомъ самой внутренней трубки. Не остается безъ вліянія на вѣрность опредѣленія точки росы и интенсивность дневного свѣта, при которомъ производится изслѣдованіе. Яркій солнечный день уменьшаетъ рѣзкость росы, увеличивая рефлексы внутренней поверхности трубки, и посему точность отмѣтки показанія и исчисленія росы дѣлается меншею сравнительно съ таковою же въ пасмурный день.

Всѣ эти недостатки гигрометра Crova побуждаютъ только постѣ продолжительное упражненія съ приборомъ, и мнѣ лично понадобилось три недѣли, пока получилась увѣренность, что отмѣчаемая точка росы соответствуетъ истиннымъ. Несомнѣнно вліяла на неудачи и малая степень влажности воздуха, въ которомъ происходили первые опыты при измѣненіи этого гигрометра, вслѣдствіе чего точка росы всегда была ниже 0° . При большихъ степеняхъ влажности полученіе точки росы удается гораздо легче. Самъ Crova¹⁾, сравнивая показанія своего прибора съ показаніями

1) Crova. Sur l'hygrométrie. J. de Phys. 1883, p. 450—461.

гигрометра Alluard получить въ атмосферномъ воздухѣ при вѣтрѣ точку росы вышшую, чѣмъ давалъ гигрометръ Alluard, что должно было служить доказательствомъ достинствъ его прибора, но и въ комнатахъ на ряду съ одинаковыми величинами, даваемыми обоими приборами, получались также и разности въ температурѣ, при которой появлялась роса, доходившія до 1,6°.

Sollberg¹⁾), сравнивая гигрометры Regnault и Crova съ вѣсовымъ способомъ опредѣленія влажности воздуха при температурахъ ниже 0°, отдавъ предпочтеніе гигрометру Regnault. Мои личныя сравненія гигрометра Crova съ химическимъ способомъ показали полное согласіе обоихъ методовъ.

Вѣсовый способъ. Гигрометръ Crova. Разница.

Абсолютная влажность.

5,81 ^{mm}	5,76 ^{mm}	+0,05 ^{mm} .
4,97	5,02	— 0,05.

Относительная влажность.

34,9%	34,6%	+0,3%.
31,0	31,3	— 0,3.

Для напoлненія вѣшнaго сосуда своего гигрометра Crova употребляетъ сѣрный уголь. Рядъ опытовъ моихъ съ нимъ не показали однако никакихъ преимуществъ его надъ эфиромъ. Такъ какъ примѣненіе сѣрнаго углерода въ комнатахъ сопряжено съ большими неудобствами въ силу его ядовитости и непріятнаго запаха, то охлаждающей жидкостью всегда служилъ эфиръ.

Обращеніе съ гигрометромъ Alluard'a гораздо проще; съ нимъ съ перваго же раза получаются годные результаты и въ этомъ лежитъ его несомнѣнное преимущество надъ приборомъ Crova. Достоинство послѣдняго гигрометра давать вѣрную точку росы при сильномъ вѣтрѣ имѣетъ значеніе для метеорологівъ, но въ гнѣнѣ при изслѣдованіи комнатнаго воздуха такихъ условій не встрѣчается

¹⁾ Sollberg. Versuche über die Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft. Fortschr. der Phys., T. 46, S. 345.

и примѣненіе гигрометра Crova, кажется не оправдываетъ затраченного на него времени и труда. Кромѣ рѣдкихъ случаевъ—одновременное изслѣдованіе комнатнаго воздуха различныхъ слоевъ и наружнаго—гигрометру Alluard'a должно быть отдано рѣшительное предпочтеніе.

Тѣмъ не менѣе я далеко отъ мысли предлагать для санитарной практики и гигрометръ Alluard'a, такъ какъ для ней существуютъ болѣе удобные приборы. Значеніе гигрометра Alluard'a, равно и Crova,—служить контрольнымъ приборомъ для проверки другихъ приборовъ, примѣняемыхъ для измѣренія влажности воздуха.

Диффузионный Гигрометръ. Если наполнить два сосуда двумя различными газами не дѣйствующими химически другъ на друга и соединить сосуды трубкой, то газы начинаютъ мало-по-малу смѣшиваться, пока не образуется совершенно однородная ихъ смѣсь. Явленіе это называется *диффузіей* газовъ. Газы смѣшиваются также между собой, если они раздѣлены пористой перегородкой. При этомъ они проникаютъ другъ въ друга не съ одинаковой скоростью. Газы имѣющие большую плотность проникаютъ черезъ перегородку съ меньшей скоростью, чѣмъ обладающие меньшей плотностью. Такимъ образомъ, если два газа, помѣщенные въ замкнутое пространство, раздѣлены пористой пластинкой, то вслѣдствіе неравной скорости диффузіи давленіе по одну сторону перегородки становится больше, а по другую меньше первоначальнаго. Тамъ, гдѣ находится болѣе плотный газъ, происходитъ нарастаніе давленія, гдѣ помѣщались газъ менѣе плотный—паденіе давленія. Чѣмъ больше взаимно диффундирующие газы различаются по своей плотности, тѣмъ большая въ единицу времени получается разность въ давленіи по обѣимъ сторонамъ пористой пластинки.

Graham установилъ, что скорость диффузіи газовъ черезъ пористую перегородку пропорціональна давленію, подъ которымъ газы находятся, и обратно пропорціональна корню квадратному изъ ихъ плотности.

Paluj ¹⁾ убедился, что этому закону подчиняется и водяной парь.

L. Dufour ²⁾, работавший ранее, пришел однако к противоположному выводу. Изучая диффузию сухого и влажного воздуха, онъ нашелъ, что сухой воздухъ диффундируетъ скорѣе влажнаго, совершенно обратное тому, что можно было ожидать по закону *Graham*, такъ какъ водяной парь легче воздуха. *Dufour* бралъ пористый сосудъ, употребленный для гальваническихъ элементовъ, помѣщалъ въ немъ стаканчикъ съ водой, закрывалъ каучуковой пробкой съ манометромъ и переносилъ въ сухой воздухъ. Внутри сосуда находился влажный воздухъ, внѣ его сухой. Если законъ *Graham* справедливъ и по отношенію къ парамъ жидкостей, то влажный воздухъ какъ газъ меньшей плотности долженъ выходить черезъ пористыя стѣнки сосуда съ большей скоростью, чѣмъ идущій ему навстрѣчу токъ сухого болѣе плотнаго воздуха и въ сосудѣ давленіе должно понизиться, такъ какъ въ него поступаетъ извнѣ воздуха менѣе, чѣмъ выходитъ наружу. Опытъ показываетъ однако совершенно обратное: давленіе въ сосудѣ наполненномъ влажнымъ воздухомъ повышается, когда его помѣщаютъ въ сухой воздухъ. Если внутри пористаго сосуда замѣнить воду сѣрной кислотой, вслѣдствіе чего воздухъ въ немъ будетъ лишенъ водяныхъ паровъ, и обратно первому опыту перенести его въ влажный воздухъ, то манометръ покажетъ уменьшеніе давленія. Слѣдовательно въ обоихъ случаяхъ сухой воздухъ, хотя и болѣе плотный, но диффундируетъ скорѣе влажнаго.

Kundt ³⁾ и *Puluj* въ опытахъ *Dufour*'а не видятъ противорѣчія закону *Graham* и объясняютъ изъ тѣмъ, что въ опытѣ съ влажнымъ воздухомъ помѣщеннымъ въ сухую атмосферу водяной парь, какъ газъ удѣльно болѣе легкій, выходитъ изъ сосуда съ большей

скоростью, чѣмъ встрѣчный токъ сухого воздуха, но продиффундировавшій парь сейчасъ же замѣняется новымъ чрезъ испареніе воды находящейся въ сосудѣ и убилъ водянаго пара въ сосудѣ не происходитъ, сухой же воздухъ въ сосудѣ поступаетъ и увеличивается въ немъ давленіе. Въ опытѣ съ сухимъ воздухомъ прошедшій извнѣ водяной парь поглощается сѣрной кислотой и хотя токъ его болѣе обильнѣе, чѣмъ выходящаго изъ сосуда сухого воздуха, но вслѣдствіе поглощенія водянаго пара сѣрной кислотой давленіе въ сосудѣ уменьшается.

Шидловскій ¹⁾ указалъ, что объясненіямъ этихъ не подчиняются другіе опыты *Dufour*, оставшіеся повидимому неизвѣстными *Puluj*. *Dufour* бралъ пористый сосудъ закрытый пробкой съ манометромъ, держалъ его нѣсколько времени въ сухомъ воздухѣ и переносилъ въ влажный воздухъ. Манометръ показывалъ быстрое уменьшеніе давленія до 10—12^{мм}, которое съ теченіемъ времени уравнивалось, когда воздухъ внутри сосуда дѣлался однороднымъ съ внѣшнимъ влажнымъ воздухомъ. Если тотъ же сосудъ, содержащій теперь влажный воздухъ, перенести въ сухой воздухъ, то давленіе въ сосудѣ повышается, продержится нѣкоторое время на одной высотѣ и затѣмъ постепенно уравнивается вновь до 0. *Шидловскій* полагаетъ, что уменьшеніе диффузіи водянаго пара отъ закона *Graham* и въ этихъ опытахъ только кажущееся и зависитъ отъ поглощенія пара стѣнками пористаго сосуда. Если пористый сосудъ съ сухимъ воздухомъ погрузимъ въ влажную атмосферу, то начинаешь диффузію, воздухъ выходитъ, а парь входитъ въ сосудъ, но внутри его попадаетъ мало, такъ какъ онъ стучается въ стѣнкахъ сосуда и получается уменьшеніе давленія въ сосудѣ совершенно независимо отъ относительной скорости диффузіи пара и воздуха. Подобное же объясненіе примѣняется къ противоположному опыту *Dufour*, когда сосудъ съ влажнымъ воздухомъ помѣщается въ сухую атмосферу. Воздухъ, проникающій внутри производитъ выдѣленіе водянаго пара изъ внутренней поверхности порозной стѣнки и, кромѣ того выходящее водяногo пара наружу ослаблено, такъ какъ наружная поверхность пористаго сосуда по-

¹⁾ Puluj, Ueber Diffusion der Dämpfe durch Thonzellen. Wien. Berichte, 2 abt; 1877, p. 401—418 и p. 629—664.

²⁾ L. Dufour, Recherches sur la diffusion qui se produit entre l'air sec et l'air humide à travers un paroi de terre poreuse. Bull. Soc. Vaud. des sciences natur. XIII, № 72, 1874, p. 105—217.

— Sur la diffusion hygrométrique. Ibid № 74, 1874, p. 608—651.

³⁾ Kundt, Zur Erklärung der Versuche Dufour's und Merget's über die Diffusion der Dämpfe. Wiedem. Ann., 2, 1877, p. 17—24.

¹⁾ Шидловскій, Ф. Опытъ примѣненія явленія диффузіи газовъ черезъ пористыя тѣла къ опредѣленію влаги и влажности изъ окружающей среды. СИБ. 1886.

крыта оболочкой выделяющегося пара, который был раньше в парах в сгущенном состоянии; отсюда увеличение давления в пористом сосуде.

Каково бы ни было объяснение явлений, наблюдаемых при диффузии водяного пара через пористую перегородку, но Dufour отметил, что нарастание или уменьшение давления в пористом сосуде — смотря потому содержит ли он постоянно влажный воздух или сухой — 1) обуславливается напряжением водяного пара в окружающей атмосфере, идя почти пропорционально ему, 2) не зависит или весьма мало зависит от температуры, потому Dufour выразил предположение о возможности, пользуясь диффузией между двумя массами воздуха различной влажности, измерять влажность свободного воздуха. Собственными свои понятии в этом отношении впрочем сам Dufour считал неудачными и не настаивал на своем предположении.

Puluj (1877) устроил диффузионный гигрометр, основанный на измерении скорости диффузии, но этот инструмент давал не достаточно точные данные. Мысль Dufour'a удалось привести в исполнение *Шидловскому* (1886). Прибор предложенный им основан на измерении степени давления развиваемого входящим или выходящим при диффузии газом.

Диффузионный гигрометр Шидловского состоит из стеклянного цилиндрического сосуда, вместимостью около 150 куб. сант., закрытого сверху притертой стеклянной пластинкой. В средине последней имеется круглое отверстие с диаметром в 4 сант., закрытое пористой пластинкой из белой обожженной глины, прилепленной к стеклу лаком. В верхней части сосуда непосредственно под краем ее находится два отверстия: в одно вставляется манометр со скалкой раздвоенной на миллиметры, в другое, — стеклянная трубка с краном, служащая для уравнивания давления в сосудах, когда при быстрых переменах температуры изменяется объем воздуха в нем находящегося. Манометр наполняется легким нефтяным маслом, а сосуд почти до верха крипкой сѣрной кислотой или кислой смоченой водой. В первом случае воздух в сосуде под пористой пластинкой будет лишен водяных паров, во втором насыщен водяным паром.

Если прибор наполнить сѣрной кислотой и внести в влажную атмосферу, то частичное давление водяного пара по обеим сторонам пористой пластинки будет неодинаково, вследствие чего начнется диффузия воздуха и водяного пара через пористую пластинку и давление в сосуде как видно из предыдущего изложения опитов Dufour'a, уменьшится, что и покажет манометр.

Величина этого уменьшения давления зависит от количества водяных паров, содержащихся в окружающем воздухе, и при одной и той же температурѣ будет наибольшая, когда воздух совершенно насыщен водяным паром. Последнее условие легко осуществить, если пористую пластинку гигрометра прикрыть стеклянным колоколом, стѣны которого обложены пропускной бумагой пропитанной водой. Над пористой пластинкой будет теперь воздух, насыщенный водяным паром, и давление этого пара можно определять по таблицам Regnault, если известна температура воздуха. Для измерения он служит термометр пропущенный через горлышко колокола почти до пористой пластинки. Если бы пористая пластинка была идеальна по отношению к диффузии, т. е. пропускала бы одни только газовые молекулы, а не газы во всей их массе, то манометр, наполненный ртутью, и показал бы это давление в миллиметрах, если же был наполнен другой жидкостью, то величина показываемая манометром равнялась бы давлению водяного пара умноженному на отношение между удельными вѣсами ртути и жидкости служащей для наполнения манометра.

Положим, что температура воздуха над пористой пластинкой равна $20,2^{\circ}$; соответствующее этой температурѣ (по таблицѣ Regnault) давление водяного пара насыщающего пространство будет $17,58^{\text{мм}}$. На эту величину упругость воздуха под пластинкой меньше, чѣм над ней, и эту величину должен бы давать манометр, если был наполнен ртутью, и $17,58 \times 13,56 = 239^{\text{мм}}$ при наполнении его водой. На дѣл этого однако не получается и показания манометра оказываются меньше ожидаемых на основании расчета. Положим, что в нашем приборѣ манометр показывает $51^{\text{мм}}$. Раздѣлив это число на $17,58$, получим постоянную величину для данной пластинки $a = 2,82$, указывающую

на соотношение между показаниями манометра и упругостью водяного пара. Эта постоянная величина обыкновенно обозначается на пластинке. Зная величину a можно применять прибор для определения влажности воздуха. Давление в гигрометре идет пропорционально напряжению водяного пара в воздухе, посему разделив высоту манометра h на a получаем f — упругость в миллиметрах водяного пара находящегося в воздухе, т. е. абсолютная влажность

$$f = \frac{h}{a}$$

$$\text{и относительная влажность} = \frac{h \cdot 100}{a \cdot F} = \frac{f \cdot 100}{F}$$

При другом виде изменения гигрометра, когда он наполнен перегнанной водой, давление в сосуде будет выше, чем в окружающем воздухе. Только в том случае, если воздух в гигрометре насыщен водяным паром, давление в сосуде сравняется с атмосферным и манометр стоит на 0. Во всех промежуточных степенях влажности окружающего воздуха высота манометра будет пропорциональна разности между наибольшим давлением водяного пара при данной температуре и существующим давлением в действительности $F - f$, т. е. пропорциональна недостатку насыщения. Разделив высоту манометра h на величину a , известную из прежнего определения, имеем

$$F - f = \frac{h}{a}, \text{ отсюда } f = F - \frac{h}{a}$$

Так как энергия диффузии зависит от разности давления водяного пара по ту и другую сторону пористой пластинки и может быть мало заметной, если разность эта мала, то Шидловский предложил пользоваться серной кислотой, когда исследуемый воздух содержит много водяного пара, и прибегать к гигрометру с водой, когда воздух сух. Произведя ряд определений величины a для разных пластинок, Шидловский отметил, что величина эта не остается постоянной, а немного растет с повышением температуры; тем не менее он счел возмож-

ным пользоваться средней величиной, полученной из нескольких определений, и предложил применять свой прибор там, где нет необходимости „знаться за особую точностью“ результатов. Однако впоследствии (1889 г.), вновь вернувшись к своему прибору и не внеся в него каких-либо усовершенствований, если не считать наполнения манометра нефтяным маслом, вместо первоначально предложенной воды, Шидловский представил свой гигрометр III Съезду врачей в память Пирогова уже в качестве *точной*, самостоятельного прибора, могущего служить для проверки других, применяемых для определения влажности, приборов. Кроме того он указал на особую чувствительность своего прибора, так как для получения показаний манометра требуется только несколько минут, и отметил его постоянство, потому что диффузионная способность пористой пластинки не изменяется от времени и от загрязнения.

К сожалению Шидловский ограничился приведением ряда величин a для разных пластинок при разных температурах, но при одной и той же степени влажности воздуха, именно насыщенного водяным паром, и не представил параллельных наблюдений между своим прибором и каким-либо другим контрольным для доказательства применимости своего гигрометра при всех промежуточных степенях влажности. Несколько сравнений с психрометром August'a, сдвинутых им, конечно не могут считаться доказательными, так как сам психрометр в комнатном воздухе без вентилатора не дает надежных результатов. Не подвергался прибор Шидловского проверке и со стороны других исследователей, хотя приписываемые ему достоинства и простота конструкции должны были сдвигать его желательным приобретением в деле исследования влажности воздуха.

В числе других приборов исследован был мой и гигрометр Шидловского. Контрольными приборами в первом ряду, сравнений служили гигрометр Стова и итальянский психрометр с вентилатором, постоянная величина которого была известна, а в остальных рядах сравнений только один психрометр.

В первом ряду наблюдений гигрометр Шидловского с

жѣткой на пластинкѣ 2,82 (его постоянная величина a) былъ наполненъ водой. Изъ 50 сравненій, не приведенныхъ здѣсь въ подробности, при температурѣ воздуха отъ 14,5° до 23,4° и при влажности отъ 30% до 55%, постоянная величина a оказалась равной въ среднемъ 3,19 съ колебаніями отъ 2,78 до 3,46.

Полученная много величина значительно отличалась отъ обозначенной на пластинкѣ и подрывала довѣріе къ прибору. Въ самомъ дѣлѣ, если при $t = 22,6^\circ$ манометръ показываетъ 31,5^{мм}, то при $a = 3,19$ относительная влажность равняется 51%, а при $a = 2,82$ только 46%. Приборъ дающій ошибку въ относительной влажности въ 5% никоимъ образомъ не могъ быть отнесенъ къ точнымъ. Съ другой стороны не представлялось невѣроятнымъ предположеніе, что диффузионный коэффициентъ пористой пластинки измѣнился съ времени и загрязненія, такъ какъ приборъ былъ приобретень за нѣсколько лѣтъ до моихъ наблюденій съ нимъ. Наконецъ и первоначальное опредѣленіе a при приготовленіи прибора могло быть сдѣлано невѣрно. Для разрѣшенія этихъ сомнѣній сосудъ гигрометра былъ наполненъ сѣрной кислотой и произведено опредѣленіе величины a , какъ изложено выше при описаніи прибора.

ТАБЛИЦА 1.

t	f	%	h	a
16,1	13,62	100	-38,8	2,85
17,0	14,51	—	40,7	2,80
17,0	14,51	—	40,2	2,77
18,6	15,95	—	45,5	2,85
18,6	15,95	—	44,2	2,77
18,6	15,95	—	45,5	2,85
Среднее . . .				2,82

Изъ этого ряда наблюденій величина a оказалась равной 2,82, т. е. совершенно была одинакова съ бывшей при изготовленіи прибора, чѣмъ вполнѣ подтвердилось утверженіе Шидловскаго о неизмѣняемости диффузионной силы пластинки отъ времени и о постоянствѣ его гигрометра. Гигрометръ Шидловскаго съ сѣрной кислотой былъ затѣмъ оставленъ въ комнатномъ воздухѣ и изъ 6 сравненій съ психрометромъ получена для а та же самая величина, какъ это видно изъ слѣдующей таблички.

ТАБЛИЦА 2.

t	f	%	h	a
15,4	7,87	60	-22,2	2,82
15,6	8,26	63	23,5	2,85
16,0	8,66	64	24,5	2,83
17,0	9,13	63	26,0	2,85
18,6	10,51	66	29,5	2,81
18,6	10,51	66	28,8	2,74
Среднее . . .				2,82

Наблюденія слѣдовательно устраняютъ сомнѣнія въ вѣрности диффузионнаго коэффициента и говорятъ въ пользу гигрометра, но они не разъясняютъ, однако, почему въ 1 ряду сравненій величина a была иная и разнилась 3,19. Самъ Шидловскій, сравнивая психрометръ съ своимъ приборомъ, наполненнымъ сѣрной кислотой, получить согласныя показанія обоихъ приборовъ въ воздухѣ приблизительно той же степени влажности (55%—64%), какъ и въ нашемъ послѣднемъ ряду. Сравненій своего прибора, наполненнаго водой, съ контрольными приборами Шидловскій не приводитъ, а заявляетъ только, что въ этомъ случаѣ результаты были меньше согласныя.

Таким образом приходится остановиться на одном из двух предположений: или диффузионный коэффициент не есть величина постоянная, хотя диффузионная способность пористой пластинки и не изменяется от времени, или что в первом ряду наблюдений, давших $a=3,19$, были какие-либо постоянные ошибки, оставшиеся неизвестными, но оказавшие свое влияние на полученный результат. Для устранения последнего предположения показания гигрометра Шидловского, наполненного водой, были сравнены с показаниями другого контрольного прибора, именно психрометра — праши.

ТАБЛИЦА 3.

t	F-f	%	h	a
20,8	9,37	49	+29,0	3,09
22,0	13,08	33	39,0	2,98
26,0	18,86	25	58,5	3,10
27,0	19,83	25	64,0	3,23
27,9	20,92	25	69,0	3,25
28,8	19,84	33	67,0	3,38
28,0	17,33	38	61,0	3,52
27,7	15,91	42	50,0	3,14
22,4	8,31	59	24,5	2,95
18,3	6,81	56	23,5	3,45

Среднее . . . 3,21

Полученная величина $a=3,21$, оказалась почти тождественна с выведенной из 50 наблюдений ($a=3,19$), тем и устраняются сомнения в надежности самих наблюдений.

Обращаясь к выяснению причин изменчивости величины a , можно остановиться на зависимости 1) от температуры и 2) от

напряжения водяного пара в исследуемом воздухе. Изменяемость диффузионной способности пористой пластинки в зависимости от изменения температуры отбросить и сам Шидловский по счесть возможным этой изменчивостью пренебречь, вкратце потому, что не видел какого-либо определенного соотношения между a и температурой. Из физики однако известно¹⁾, что диффузионный коэффициент газов идет приблизительно пропорционально квадрату абсолютной температуры²⁾. Закон этот оправдывается и по отношению к диффузионной способности пористых пластинок и притом на цифрах, данных самими Шидловским³⁾. Действительно величина a для пластинки № 3 при температур в 2,5° была =3,26, а при температур 17,5° найдена равной 3,65, должна же быть 3,62 по отношению $3,26 : x = 275,5^2 : 290,5^2$. В пластинке № 1 при 6° темп. $a=2,08$, при 22° a должна быть равна согласно вычислению 2,33, по непосредственному же определению оказалась равной 2,28.

Приняв закон пропорциональности величины a квадрату абсолютной температуры доказанным и приняв его в нашем последнем ряду сравнений гигрометра Шидловского с психрометром, произведенному при средней температур в 25°, легко определить изменение величины a , зависящее от температуры. Величина a при 18° была 2,82, при 25° должна быть 2,98, оказалась же 3,21.

Прямой вывод отсюда, что диффузионная способность пористой пластинки изменяется не только от температуры, но и от перемещений в напряжении водяного пара в атмосфере и что допущение, сделанное Шидловским о пропорциональности между высотой давления в его приборе и напряжением водяного пара, не совершенно справедливо. Dufour считал эту пропорциональность только приблизительной. Приведенным выше наблюдения подтверждают его положение; но еще яснее это видно из следующего ряда наблюдений, проведенных над гигрометром Шидловского в

¹⁾ Хвольсон. Курс физики. 1897. Т. I, стр. 420.

²⁾ Абсолютная температура $T = t + 273$.

³⁾ Шидловский. Опыт применения и пр., стр. 29.

комнатномъ воздухѣ при температурѣ почти одинаковой съ той, при которой производилось опредѣленіе величины α .

ТАБЛИЦА 4.

t	F-f	%	h	a
18,8	5,19	68	+18,3	3,52
18,8	5,19	68	17,8	3,43
17,8	6,12	60	19,9	3,25
17,9	6,27	59	21,5	3,43
16,9	5,95	59	19,0	3,13
17,0	5,62	61	19,0	3,38
Среднее . . .				3,36

Здѣсь вліяніе температуры исключено и если получилось $\alpha = 3,36$ вмѣсто ожидаемаго $\alpha = 2,82$, то очевидно въ силу неодинаковаго отношенія $\frac{f}{F}$, т. е. относительной влажности въ обоихъ случаяхъ. По одну сторону пористой пластинки въ томъ и другомъ случаѣ находился воздухъ, насыщенный водянымъ паромъ, по другую сторону пластинки въ первомъ случаѣ (табл. 1) былъ воздухъ совершенно сухой, въ послѣднемъ же ряду (табл. 4) воздухъ имѣлъ относительную влажность 63%.

Выше приведены были два ряда наблюденій надъ диффузионнымъ гигрометромъ, наполненнымъ сѣрной кислотой. Въ одномъ ряду (табл. 1) проверялась величина α въ воздухѣ, насыщенномъ водянымъ паромъ, въ другомъ (табл. 2) гигрометръ находился въ комнатномъ воздухѣ съ влажностью около 64%.

Показанія инструмента были вѣрны. Для разъясненія вопроса, одинаково-ли точны будутъ показанія гигрометра въ воздухѣ менѣе влажномъ, произведены еще два ряда наблюденій, помѣщаемыхъ вмѣстѣ въ слѣдующей таблицѣ.

ТАБЛИЦА 5.

t	f	%	h	a	t	f	%	h	a
17,0	7,07	49	-19,3	2,73	18,8	4,24	26	-10,8	2,52
16,4	6,78	49	18,5	2,73	19,4	4,92	29	11,2	2,28
16,8	7,81	55	21,4	2,74	19,0	3,73	23	9,0	2,41
17,5	7,78	52	21,7	2,79	18,6	3,91	24	9,3	2,38
16,8	6,82	48	18,2	2,67	17,4	3,36	23	7,5	2,23
16,6	5,97	42	16,3	2,73	17,9	4,42	29	10,0	2,26
Среднее . 2,72					Среднее . 2,35				

Величина α въ воздухѣ съ 49% влажности оказалась равной 2,72, а въ воздухѣ 26% — 2,35, тогда какъ при 63% и 100% была 2,82. Слѣдовательно и въ гигрометрѣ съ сѣрной кислотой показанія манометра только приблизительно пропорціональны давленію водяного пара въ изслѣдуемомъ воздухѣ.

Кромѣ температуры и относительной влажности на показанія гигрометра Шидловскаго оказываетъ вліяніе и движеніе воздуха, обстоятельство, отмѣченное и объясненное уже Dufour'омъ. При наихъ сравненіиъ гигрометра съ итальянскимъ психрометромъ оба прибора помѣщались рядомъ и движеніе воздуха, производимое вентиляторомъ, всегда увеличивало на 1—2^{мм} разность давленія, показываемаго манометромъ. При обычныхъ условіяхъ движенія комнатнаго воздуха это вліяніе выразится только въ доляхъ миллиметра, въ свободномъ же воздухѣ вліяніе движенія воздуха дѣлается уже весьма замѣтнымъ. Изъ 20 не приведенныхъ здѣсь въ подробности сравненій гигрометра Шидловскаго съ психрометромъ — прайей сдѣланныхъ лѣтомъ въ атмосферномъ воздухѣ средній величина α была 3,78, тогда какъ въ комнатномъ воздухѣ приблизительно при той же температурѣ и влажности α равнялась только 3,21.

Въ свободномъ воздухѣ слѣдовательно диффузионный гигрометръ даетъ худшіе результаты, чѣмъ въ комнатномъ. Заявленіе Шидловскаго о чувствительности его прибора подтвердилось, хотя и не вполне. Дѣйствительно требовалось не болѣе 10 минутъ для достиженія манометромъ постоянного показанія, но это однако относилось только къ тѣмъ случаямъ, когда гигрометръ и равнѣ былъ приблизительно въ тѣхъ же условіяхъ влажности. Если же приборъ находился долго въ насыщенномъ влагой воздухѣ и переносился затѣмъ въ воздухъ средней влажности, то для полученія постоянного показанія на манометрѣ нужно было уже 30—40 минутъ.

Шидловскій, предлагая свой приборъ, исходилъ изъ предположеній о неизмѣняемости величины α и о пропорциональности между напряженіемъ водяного пара въ окружающей атмосферѣ и показаніемъ манометра. Мы видѣли, что эти предположенія не оправдались на дѣлѣ, чѣмъ и рѣшается въ отрицательномъ смыслѣ вопросъ о пригодности прибора въ качествѣ *точно* измѣрителя влажности. Въ нашихъ опытахъ гигрометръ, наполненный сѣрной кислотой, давалъ вѣрные показанія только при высокой степени влажности наслѣдуемаго воздуха (100%—65%); весьма вѣроятно, что также вѣрны были бы показанія гигрометра съ водой для воздуха крайней сухости, но такихъ наблюденій, къ сожалѣнію, не было произведено, наблюденія же при влажности, начиная съ 25% и выше, не говорятъ въ пользу точности прибора.

Въ настоящее время гигрометръ Шидловскаго можетъ служить лишь для приблизительнаго опредѣленія влажности. Примѣненіе поправки на температуру позволить извлекать изъ него лучшіе результаты, но существеннаго улучшенія прибора можно ожидать только послѣ дальнѣйшаго изученія его въ теоретическомъ отношеніи и въ частности послѣ опредѣленія законности, связывающей измѣненіе давленія въ гигрометрѣ съ влажностью окружающей среды. Изъ нашихъ наблюденій видно, что давленіе въ гигрометрѣ падаетъ нѣсколько быстрее, чѣмъ давленіе водяного пара, но они недостаточны для установленія математической зависимости между этими величинами.

ГЛАВА III.

Волосной гигрометръ.

Многія вещества растительнаго и животнаго происхожденія обладаютъ свойствомъ поглощать влагу изъ воздуха и при этомъ измѣняться въ своемъ объемѣ. Такъ струна укорачивается во влажномъ воздухѣ и удлиняется въ сухомъ, волосъ испытываетъ въ этихъ условіяхъ противоположныя измѣненія. Свойствомъ этимъ воспользовались для приготовления приборовъ, непосредственно показывающихъ степени влажности воздуха. Изъ такихъ приборовъ удержался до настоящаго времени съ небольшими конструктивными измѣненіями волосной гигрометръ, предложенный еще въ концѣ прошлаго столѣтія *Swissure*¹⁾ *Swissure* ¹⁾ (1783) бралъ безжиренный женскій волосъ, укрѣплялъ его однимъ концомъ въ металлической рамкѣ, а другимъ концомъ обводилъ вокругъ блока, снабженнаго стрѣлкой. Небольшой грузъ, прикрѣпленный къ свободному концу волоса, удерживалъ его въ натянутомъ состояніи, стрѣлка же двигалась по дугѣ раздѣленной на градусы. Приборъ помѣщали сначала въ совершенно сухой воздухъ и въ той точкѣ дуги, на которой останавливалась стрѣлка, отмѣчали 0, затѣмъ приборъ перемѣщали въ воздухъ насыщенный водянымъ паромъ и положеніе стрѣлки обозначалось цифрой 100; промежутокъ между 0 и 100 дѣлился на сто равныхъ частей. Однако приборъ съ такой слабою мотъ служить только гигроскопомъ, а не измѣрителемъ влажности воздуха. Онъ показывалъ *градусъ* влажности, величину совершенно условную, а не количество, абсолютное или

¹⁾ Saussure. Essais sur l'hygrométrie. Neuchâtel. 1783.

относительное, водяного пара, содержащегося в воздухе. Это заметил уже сам *Saussure* и старался найти относительную влажность воздуха, соответствующую каждому градусу гигрометра. Этим вопросом занимались ¹⁾ потом *Dulong*, *Gay-Lussac* и *Melloni*. Оказалось, что градусы влажности *Saussure*'а и относительная влажность совпадают только при крайних точках скалы, в промежуточных же делениях обе эти величины значительно разнятся друг от друга. Из таблицы *Gay-Lussac*'а видно, например, что градусам *Saussure* 20°, 50° и 70° соответствуют относительная влажность в 9%, 28% и 47%. Тщательными исследованиями *Regnault* (1845) были выписаны многие условия, влияющие на показания волосного гигрометра. *Regnault*, придерживаясь предписаний *Saussure*'а, брал пучок волос (тонких, мягких и ровных), зашивал в полотняный мешочек и кипятил в течение 30 минут в растворе 10 гр. кристаллического углекислого натрия на 1 литр воды; два раза промывал в чистой воде, кипятил по несколько минут, вынимал волосы, прополаскивал в холодной воде и высушивал на воздухе. Впрочем, сам *Regnault* считал более удобным для обезжиривания помещать волосы в эфир на 24 часа, так как волос при последнем способе обработки сохраняет всю свою прочность и приобретает почти ту же чувствительность, как и обработанный кипящим раствором соды. Приготовленный волос укрывался на металлической рамке; длина волоса была 24 сантиметра, диаметр, на который навивался волос, 5^{мм}, груз равнялся 0,2 гр. ²⁾ С целью изучения гигрометров и сравнения их между собой *Regnault* помещал их в воздух известной степени влажности, для чего предлагал два способа.

Первый способ основан на свойствах водных растворов серной кислоты отдавать в воздух водяные пары с давлением определенной величины и различной для каждой концентрации раствора, но все-таки меньшей, чем чистая вода. Давление водяного пара растворов *Regnault* определял помощью того же

аппарата, которым пользовался и для паров воды. Раствор 1 частицы H_2SO_4 и 7 частиц воды, напр., дает при 17° водяные пары с давлением в 7,036^{мм}. Если такой раствор поместить в закрытый сосуд, то воздух над раствором наполнится водяным паром, имеющим при 17° давление 7,036^{мм}. Так как воздух при таких же условиях над водой будет содержать в себя водяные пары с давлением в 14,421^{мм}, то воздух над раствором $H_2SO_4 + 7H_2O$ будет иметь 7,036, 100:14,421 = 48,8% относительной влажности. Приготовив ряд таких растворов с различным содержанием воды, *Regnault* имел возможность подвергать гигрометры действию воздуха определенной степени влажности и как сравнивать гигрометры между собою, так и определять отношение произвольной шкалы *Saussure* к действительной степени влажности воздуха. Для последней цели, впрочем, *Regnault* этими растворами не пользовался, а считал более удобным следующий другой способ.

Большой стеклянный колокол емкостью в 15 литров помещался на чугунной подставке и соединялся с ртутным манометром, с воздушным насосом и с небольшим стеклянным шаром, на дне которого была налита вода. В колокол помещались изучаемые гигрометры. Воздух в колоколе несколько раз разрывался и высушивался, пока давление не уменьшалось до 3,23^{мм}. То деление скалы, на котором останавливалась стрелка гигрометра через 2 часа после закрытия крана воздушного насоса, считалось за точку 0. Более точное определение точки крайней сухости *Regnault* считал бесполезным и даже невозможным, так как при наблюдениях над влажностью никогда не приходится к ней приближаться, а волос, кроме того, при своем нормальном состоянии абсолютной сухости воздуха и не испаряется. Находясь в сухом воздухе, он обнаруживает ненормальное укорочение, продолжающееся и долго после того, как воздух был совершенно высушен. *Regnault* наблюдал гигрометры, который над серной кислотой продолжал укорачиваться и по истечении 3 месяцев, правда очень мало, так как на отклонение в одно деление требовалось больше двух недель. После отбития точки 0 открывался на короткое время кран

¹⁾ *Regnault*, Etudes sur l'hygrométrie. An. de Chimie et de Physique. XV, 1845 и XXXVII, 1863.

²⁾ *Saussure* отметил, что при грузе в 0,6 грам. волос с течением времени вытягивается и прибор делается неярким.

стеклянного шара, вследствие чего некоторое количество водяного пара, находившегося в шарѣ, поступало въ колоколъ съ гигрометрами и увеличивало въ немъ давленіе, которое и показывалось манометромъ. Такъ какъ прѣдѣлъ давленія приходился на счетъ водяного пара, то, зная температуру, можно было вычислить и относительную влажность воздуха, заключающагося въ колоколѣ. При повторныхъ открываніяхъ крана воздухъ приобреталъ все большую и большую степень влажности. Показанія гигрометровъ такимъ образомъ отбѣлались, начиная отъ малыхъ степеней влажности и доходя до насыщения водянымъ паромъ. Что касается до вліянія разрѣженного воздуха на показанія гигрометровъ, то *Regnault* убѣдился, что гигрометры показываютъ точно одинъ и тотъ же градусъ влажности, находится ли они подъ обыкновеннымъ давленіемъ или въ пустотѣ, если только относительная влажность остается одинаковою; но въ пустотѣ ходъ гигрометра гораздо быстрее и черезъ нѣсколько минутъ онъ уже достигаетъ своего постояннаго положенія.

Saussure утверждалъ, что гигрометры, построенные по его способу, не даютъ отклоненій одинъ отъ другого большихъ, чѣмъ ± 3 или ± 4 градуса. *Regnault* подтвердилъ это, но только по отношенію къ волосамъ одного и того же происхожденія и обезжиреннымъ въ одинъ и тотъ же прѣмъ; волосъ же разнаго происхожденія и приготовленные разными способами, оказалось, даютъ очень большія разницы въ показаніяхъ, хотя и согласуются въ основныхъ точкахъ. Изъясъ это въ виду, *Regnault* пришелъ къ заключенію, что невозможно построить таблицу для получения относительной влажности изъ градусовъ шкалы Соссюра, приложимой ко всѣмъ гигрометрамъ, и что для каждого гигрометра должна быть составлена особая таблица. Вернувшись чрезъ 8 лѣтъ (1853) къ волосаному гигрометру, *Regnault* всталъ еще болѣе на отрицательную сторону, хотя и не представилъ новыхъ фактическихъ данныхъ. Онъ утверждаетъ, что волосные гигрометры совершенно не могутъ быть сравнимы, т. е. не имѣютъ существеннаго качества всякаго измѣрительнаго прибора, что они весьма измѣнчивы, вовсе не обладаютъ чувствительностью, которая имъ приписывается, и заканчиваетъ пожеланіемъ, чтобы наблюдатели

отказались окончательно отъ прибора, на вѣрность котораго они никогда не могутъ рассчитывать. (Il est à désirer que les observateurs rénoncent définitivement à un appareil sur le bon état du quel ils ne peuvent jamais compter).

Вопреки *Regnault*, волосной гигрометръ однако не былъ забытъ и съ различными конструктивными измѣненіями продолжалъ и до настоящаго времени пользоваться широкимъ распространеніемъ и въ метеорологіи, и въ гигиенѣ.

Существующіе волосные гигрометры по конструкціи могутъ быть сведены къ нѣсколькимъ типамъ.

Пользующійся наибольшимъ распространеніемъ и употребляющійся на русскихъ и нѣмецкихъ метеорологическихъ станціяхъ, гигрометръ *Hermann & Pfister* построенъ по *Saussure'y*, но грузъ, приводящій волосъ въ натяженіе, значительно превосходитъ установленный *Saussure'омъ* прѣдѣлъ. Гигрометръ снабженъ двойной шкалой: равноѣрной по *Saussure'y* и показывающей прямо относительную влажность. Гигрометръ *Koppé* отличается меньшей длиной волоса и меньшей тщательностью работы, шкала даетъ относительную влажность черезъ каждыя 5%. Существенную его особенность составляетъ приспособленіе, дающее возможность быстро производить поправку точнѣ 100%. Четырехугольный жестяной ящикъ, въ которомъ укрѣпленъ приборъ, имѣетъ двѣ подвижныя стѣнки: переднюю стеклянную и заднюю металлическую, и между ними рамку съ натянутой на нее киесей. Если смочить киесю водой и закрыть обѣ стѣнки, гигрометръ будетъ находиться въ замкнутомъ пространствѣ, которое скоро насыщается водянымъ паромъ. Черезъ переднюю стеклянную стѣнку можно видѣть показанія стрѣлки.

Въ этихъ гигрометрахъ, относящихся къ 1 типу, часть волоса, прилегающая къ блоку, исключается отъсчету вследствие тренія изъ рабочей длины волоса, такъ что при различныхъ величинахъ влажности функционировать не одинаковая первоначальная длина волоса; кромѣ того при наивысшій на блокъ происходитъ искривленіе волоса, которое несовершенно исчезаетъ, когда онъ укоротится. Эти недостатки устранены въ гигрометрахъ *Sal-*

laron'a¹⁾ и *Lambrecht'a*, въ которыхъ нижній конецъ волоса укрѣпленъ къ короткому плечу рычага второго рода, тогда какъ длинное плечо рычага служитъ само силою тяжести, приводящей волосъ въ натяженіе. Стрѣлка укрѣплена на оси рычага подъ угломъ къ нему въ 135°. Предполагалось, что равномерная скала такимъ образомъ устройства гиометра будетъ показывать прямо относительную влажность; такой скалой и были снабжены первые приборы *Lambrecht'a*. Ему самому однако пришлось убѣдиться въошбѣдствіи въ общности такого предположенія и съ 1892 г. *Lambrecht*²⁾ даетъ своимъ гиометрамъ уже неравнобѣрную скалу, причемъ самыя большіе промежутки между дѣленіями находятся у 0%; отсюда дѣленія постепенно уменьшаются до 80% и опять немного увеличиваются отъ 80% до 100%; средина скалы соответствуетъ 35% относительной влажности. Этотъ приборъ названъ *Lambrecht'омъ* полиметромъ, такъ какъ, кроми относительной влажности, показываетъ еще температуру воздуха, точку росы и абсолютную влажность воздуха. Въ гиометрахъ этого второго типа волосъ не одиночный, а замѣненъ пучкомъ пучкомъ волосъ.

Совершенно устраняется и треніе волоса о блокъ стрѣлки, равно и треніе оси стрѣлки о подставку, въ гиометрѣ на метеорологической обсерваторіи въ *Montsouris*, близъ Парижа. Свободно висѣщій волосъ натягивается посредствомъ кусочка прикрѣпленной къ его нижнему концу мѣдной проволоки длиной въ 15 мм. Удлиненія и сокращенія волоса наблюдаются въ микроскопъ, снабженный микрометромъ. Этотъ приборъ относится къ 3 типу.

Въ гиометрахъ 4 типа волосъ или пучекъ волосъ укрѣплены неподвижно на обоихъ своихъ концахъ, средина же волоса приводится въ натяженіе, какъ тетива у лука, крючкомъ рычага соединеннаго со стрѣлкой. Сюда относятся гиометры *Richard* и *Klienckerfuss*.

Въ самопишущемъ гиометрѣ *Richard* пучекъ волосъ приводится въ натяженіе тяжестью самого рычага, а движенія его

¹⁾ *Annuaire de Montsouris*, 1888, p. 257.

²⁾ *Lambrecht's Polymeter, Gebrauchsanweisung und Wetterregeln*. 27 афт. 1892.

при измѣненіи давленія волоса передаются указателю помощью двухъ скользящихъ поверхностей, кривизны которыхъ вычислены такъ, чтобы экскурсіи указателя были пропорціональны относительной влажности. Вертикальный цилиндръ съ прилегающей къ поверхности его разграфленной бумагой, по которой перо указателя чертитъ кривую, совершаетъ помощью часового механизма одинъ оборотъ вокругъ оси въ теченіе семи дней. *Klienckerfuss* примѣняетъ остроумный способъ передачи движеній волоса указателю, воспользовавшись такъ называемымъ двунитнымъ способомъ подвѣшиванія. Вертикальный стержень, свободно двигающийся вокругъ своей оси и сверху внизъ, на верхнемъ концѣ снабженъ стрѣлкой, двигающейся по горизонтальной скалѣ, а въ срединѣ поперечной пластинкой, отъ обоихъ концовъ которой идутъ вверхъ, слегка расходясь между собою, двѣ нити, укрѣпляющіяся къ штативу прибора. Вся система такимъ образомъ подвѣшена на двухъ нитяхъ и, если предоставлена самой себѣ, то поперечная пластинка и нити находятся въ одной вертикальной плоскости. Черезъ отверстіе на одномъ концѣ той же поперечной пластинки свободно пропущенъ волосъ, верхній и нижній концы котораго укрѣплены неподвижно. Волосу дается такая длина, чтобы нити прибора оставались въ нѣсколько скрученномъ положеніи. Такимъ образомъ всякое измѣненіе въ длинѣ волоса, происходящее отъ влажности воздуха, передается стрѣлкѣ прибора. Гиометры *Klienckerfuss* а изготовляется *Lambrecht'омъ* и называеиъ подъ именемъ *Lambrecht's Tisch-Polymeter*.

Прочіе существующіе гиометры могутъ быть отнесены къ подраздѣленіямъ этихъ четырехъ основныхъ типовъ. Такъ гиометръ *Рейбота*¹⁾, описанный только самимъ авторомъ и не нашедшій примѣненія, относится къ 1 типу, но тяжесть, приводящая волосъ въ натяженіе, замѣнена силой пружины. Въ гиометрѣ *Monnier*, продающемся въ Москвѣ подъ именемъ гиометра *Naudet*, одиночный волосъ натягивается пружиной и для уменьшенія объема прибора проходитъ подъ острымъ угломъ чрезъ два вспомогательныхъ блока. Этотъ гиометръ имѣетъ форму цилиндра

¹⁾ *Рейбота*. Волосовой гиометръ съ пружиной. Жур. Рѣс. Хим. Об., 1880, Т. XII.

дрической коробки, напоминающей анероида. Верхняя, несколько большая, часть окружности круга, составляющего его переднюю стѣнку, имѣетъ равномерную 100% скаду относительной влажности, нижняя же половина круга занята термометромъ. Гигрометръ съ клеймомъ *RF* (*Richard freres?*) наружнымъ видомъ похожъ на предыдущій, также снабженъ пружиной, но скала неравномерная и по способу укрѣпленія пучка волосъ относится къ 4 типу.

Кромѣ волоса для гигрометровъ применяются и другія гигроскопическія вещества. Первый гигрографъ *Richard* имѣлъ въ своемъ основаніи тонкую пластинку изъ рога, выстроганную перпендикулярно къ его волокнамъ, но недостатокъ его заключался въ томъ, что на показанія прибора вліяла температура.

Nodon ¹⁾ (1886) воспользовался способностью желатинны измѣняться въ объемѣ подъ вліяніемъ влажности воздуха и построилъ гигрометръ изъ спирали, сдѣланной изъ бristolского картона, внутреннюю сторону которой покрывалъ асфальтовымъ лакомъ, а вѣшную слоемъ желатинны съ прибавкой салициловой кислоты, чтобы предотвратить ея разложеніе. Легкая стрѣлка, прирѣпленная къ внутреннему концу спирали, показывала относительную влажность. *Nodon* убѣдился, что измѣненіе въ объемѣ желатинны идетъ прямо пропорціонально влажности воздуха и что температура отъ -10° до 35° C. не имѣетъ вліянія на показанія прибора. На этихъ же основаніяхъ былъ построенъ и самопишущій приборъ, но оба прибора *Nodon* не получили извѣстности и даже не упоминаются въ каталогахъ французскихъ фирмъ.

Гораздо большимъ распространеніемъ пользуется гигрометръ *Mithof*, построенный по образцу *Nodon*, но со спиралью металлической, вѣшная поверхность которой покрыта какимъ-то гигроскопическимъ веществомъ (*thierische membran*). Внутренній конецъ спирали неподвиженъ, къ вѣшному же концу укрѣплена стрѣлка, двигающаяся по равномерной скалѣ, раздѣленной чрезъ каждые 5% , и показывающая относительную влажность.

Насколько богата литература психрометра, настолько мало находимъ послѣ *Regnault* изслѣдованій, касающихся волоснаго ги-

грометра. Метеорологи хотя и не покинули этотъ приборъ, но за вѣтъ *Regnault* появившему все же не остался безъ послѣдствій и на волосной гигрометръ перестали смотрѣть какъ на точный приборъ, заслуживающій дальѣйшихъ опытовъ и изслѣдованій.

Kreil ¹⁾ (1852) пользовался волоснымъ гигрометромъ и, найдя разницу между нимъ и психрометромъ $\pm 4\%$, склоненъ былъ приписать часть ошибокъ на долю психрометра.

R. Wolf ²⁾ (1870) сравнивалъ два гигрометра *Hermann* & *Pfister* съ показаніями психрометра; результаты были въ пользу перваго прибора.

Korpe ³⁾ (1878) смотритъ на свой приборъ какъ на достаточно сравнимый. *Saussure* принималъ, что волосъ подъ вліяніемъ измѣненій въ температурѣ испытываетъ измѣненія въ 19 миллионныхъ частей своей длины на 1° R, но *Korpe*, сравнивая свой гигрометръ въ совершенно насыщенномъ воздухѣ, но при разныхъ температурахъ, не нашелъ, чтобы температура въ предѣлахъ 20° C обнаруживала какое-либо вліяніе на длину волоса. Наблюденія эти впрочемъ не находятся въ противорѣчій съ заключеніями *Saussure*'а ⁴⁾, какъ это можетъ казаться. Послѣдній наблюдалъ температурныя измѣненія волоса въ сухомъ воздухѣ и нашелъ, что волосъ при повышеніи температуры на 1° R удлинился на 19 миллионныхъ своей длины, что соответствовало въ его гигрометрѣ измѣненію въ влажности въ 1% , въ воздухѣ же насыщенномъ влагой и самъ *Saussure* не могъ замѣтить температурныхъ измѣненій волоса и свою неудачу объясняетъ тѣмъ, что при повышеніи температуры воздухъ переставалъ быть насыщеннымъ паромъ, а при пониженіи температуры водяной паръ осѣдалъ въ видѣ росы на приборъ и затруднялъ движеніе стрѣлки.

Срезневскій ⁵⁾ (1895) изучалъ волосной гигрометръ съ теоретической стороны и доказалъ, что сокращеніе волоса идетъ почти пропорціонально десятичному логарифму относительной влажности. Этому условно удовлетворяетъ таблица *Gay-Lussac*'а, данная имъ для перевода градусовъ *Saussure*'а въ проценты относительной влажности.

¹⁾ Shaw. I. c.

²⁾ Saussure I. c. p. 37.

³⁾ Срезневскій. Théorie de l'hygromètre à cheveu. Уч. Зап. Имп. Кіевск. Унив. 1895, № 3, стр. 38—44.

⁴⁾ Nodon. Hygromètre à gelatine. J. de Phys., 1886, p. 462.

Хотя волосной гигрометр и находится в постоянном употреблении в метеорологии, но наблюдатели смотрят на него как на второстепенный прибор и показания его считают заслуживающими доверия только в том случае, если он находится под контролем психрометра. Самостоятельная роль его начинается при температурах ниже 0° , так как психрометр доставляет в этом случае уже ненадежные данные и вовсе перестает давать указания на влажность атмосферы при температурах -25° . Пользуясь в этих случаях гигрометром, к показаниям его придают поправку выведенную из сравнений с психрометром при температурах выше 0° в месяц, предшествующий единичному применению волосного гигрометра. Исправления таким образом показания гигрометра дают среднюю месячную величину влажности уже достаточной надежности. Было бы ошибочно однако предполагать, что такого же доверия заслуживают и разовые показания гигрометра или что средняя поправка, выведенная из 90 наблюдений в течение месяца, может быть приложена к волосному гигрометру в течение целого года. Мнение *Regnault* о непостоянстве волосного гигрометра подтверждается ежедневным опытом. Это можно видеть напр. из поправок гигрометра *Hermann & Pfister's* № 353, выведенных мною лично из сравнений с психрометром на одной из метеорологических станций.

	Апрел.	Май.	Июн.	Июль.	Август.	Сентябр.	Октябр.
1884	+6	+5	+8	+8	+7	+6	—
1885	—	+6	+8	+4	+5	+4	+3
1886	+5	+6	+7	+5	+6	+4	+4
1891	—	+9	+10	+11	+8	—	+7

Цифры эти представляют среднюю месячную поправку гигрометра, разовые же поправки изменчивы еще больше. Впрочем, та, которая доля изменчивости поправок должна быть отнесена на счет психрометра, так как он не снабжен был приспособлением для доставления ему постоянно одинаковой скорости ветра.

Если, не смотря на эти недостатки, волосной гигрометр употребляется в метеорологии, то во 1-х) потому, что ошибки гигрометра всего более проявляются при малых и средних степенях влажности, в зимнее же время приходится иметь дело с воздухом большой влажности и, во 2-х), метеорологи выводят свои заключения из массовых наблюдений, в которых по закону больших чисел исчезают ошибки единичных наблюдений.

Среди гигиенистов нет согласия относительно применения волосного гигрометра: одни считают его не точным прибором, другие пользуются им при исследованиях в качестве самостоятельного инструмента. Такое разногласие легко объясняется. Если в метеорологии мало опытных исследований, касающихся этого прибора, то в гигиене он вовсе отсутствует. Необходимость таких исследований однако должна быть поставлена вне сомнений, так как область применения и требования предъявляемые гигиеной к волосному гигрометру иные. Метеорология имеет дело с атмосферным воздухом с его большой амплитудой влажности, заключения свои основывает на средних величинах, выведенных из длинного ряда наблюдений, почему случайные ошибки отдельных наблюдений взаимно уравниваются, гигиена изучает комнатный воздух с влажностью мало изменчивой и черпает свои выводы из единичных наблюдений, в которых ошибки инструмента проявляются во всей своей силе. Следовательно гигиена должна предъявлять к прибору, измеряющему влажность, большие требования, чем метеорология. Однако по отношению к волосному гигрометру гигиена до сих пор ограничивает свои требования только правильностью точки наибольшей влажности. Проверка гигрометров по отношению к другим степеням влажности кроме наибольшей производится редкими наблюдателями. Нет надобности добавлять, что применение для гигиенических исследований прибора, в котором проверена только одна точка скалы, нарушает доверие и к самым результатам исследования.

Кроме научного значения волосной гигрометр возбуждает интерес и по своему широкому распространению в обиходной жизни. Он очень прост в применении; дает прямо цифру

влажности, не требуя никаких манипуляций и вычислений; это почти единственный прибор, к которому обращается публика, когда желает узнать влажность жилых помещений. На этих основаниях казалось мне полезным пополнить наши пробелы в знакомстве с волосными гигрометрами, в частности же решить вопрос о пригодности его для исследования воздуха жилищ.

Первый ряд наблюдений проведен в комнатах. Посреди комнаты объемом в 300 куб. метров (музей гигиенического института московского университета), поставлен был на стол итальянский психрометр, а около него разблещены изучаемые гигрометры. Чтобы уменьшить влияние случайных ошибок, в течение 3 месяцев сделано около сотни сравнений с психрометром; наблюдения разбивались на группы, из которых выводились средние величины для показаний приборов.

Сравнивались следующие гигрометры: самый худший волосной гигрометр *Richard freres* № 8783, два гигрометра *Hermann & Pfister* с клеймом Г. Ф. Оз. №№ 56 и 69, два гигрометра *Monnier* и один гигрометр *Mithoff* № 15581.

Т А Б Л И Ц А 6.

Относительная влажность.	Гигрометр Richard.		Hermann & Pfister № 56.		№ 69.		Monnier № 1.		Monnier № 2.	
	Показания.	Правка.	Показания.	Правка.	Показания.	Правка.	Показания.	Правка.	Показания.	Правка.
9%	12	-3	10	-1	13	-4	15	-6	5	+14
11,6%	14,5	-3	11,8	-0,2	11,3	-2,7	—	—	—	—
13,9%	17,8	-2,3	14,6	+0,7	16,8	-1,5	16,9	-0,7	2,0	+13,3
20,1%	21,7	-1,6	17,1	+2,7	19,7	+0,4	22,8	-2,7	10,8	+9,3
24,9%	28,0	-3,1	22,9	+2,0	25,0	-0,1	27,7	-2,8	17,5	+7,4
28,1%	34,1	-6,0	28,5	-0,4	30,4	-2,3	33,9	-3,8	27,7	+0,4
31,4%	35,9	-4,5	29,6	+1,8	31,9	-0,5	35,5	-4,1	29,2	+2,2
36,1%	41,8	-5,2	34,8	+1,3	37,0	-0,9	40,5	-4,4	35,9	+0,2
49,2%	56,0	-6,8	51,5	-2,3	52,5	-3,3	53,3	-4,1	51,8	-5,6
100%	110	-10,0	105	-5,0	103	-3,0	85,0	+15,0	94,0	+6,0

Результаты наблюдений с пятью гигрометрами, представленными в таблице 6, дают основания к поучительным выводам. Прежде всего оказывается, что вѣрность точки 100% не служить еще гарантией вѣрности показаний гигрометра и для других степеней влажности воздуха. Въ самом дѣлѣ, если бы стрѣлку гигрометра *Monnier* № 1 перевести вправо на 15%, такъ, чтобы точка 100% соответствовала насыщению воздуха влагой, то показанія гигрометра претерпѣли бы существенныя измѣненія и поправки при 36,1% влажности вѣсто — 4,4% сдѣлались бы — 19,4%, т. е. приборъ сталъ бы давать совершенно негодныя данныя.

Точно также измѣнились бы къ худшему и показанія гигрометра № 56: если бы стрѣлка его показывала 100% при насыщении, то при 20,1% влажности воздуха она стояла бы не на 17,4%, а приблизительно на 15% — принимая въ расчетъ разную величину дѣленій при 100% и 20% — и поправка вѣсто + 2,7% сдѣлалась бы + 5%. Кромѣ того неправоизвѣстность въ измѣненія поправокъ, видная изъ таблицы 6, доказываетъ, что ни однимъ изъ этихъ гигрометровъ нельзя пользоваться для опредѣленія влажности воздуха, не проверивъ предварительно его показанія для вѣсколькихъ точекъ скалы.

Показанія всѣхъ рассмотрѣнныхъ гигрометровъ были вѣрны только въ тѣхъ случаяхъ промежуточныхъ точекъ скалы. Приводимые ниже въ таблицѣ 7 результаты сравненій съ психрометромъ гигрометра *Mithoff* № 15581 представляютъ рѣзкій примѣръ ошибокъ показаній гигрометра по всему протяженію скалы при вѣрности обѣихъ основныхъ точекъ. Показанія этого гигрометра и поправки для нихъ выведены изъ 58 сравненій.

ТАБЛИЦА 7.

ГИГРОМЕТРЪ МИТФЪ № 15581.		
Относ. влажность.	Показания.	Поправка.
0%	— 3	+ 3
10%	28	—18
14%	36	—22
18%	40	—22
25%	50	—27
27%	61	—34
30%	66	—33
34%	71	—37
100%	97	+ 3

Мы увидимъ впоследствии, что изъ этого прибора, повидимому совершенно негоднаго, такъ какъ онъ даетъ ошибки, доходящія почти до 40%, можно однако, пользуясь некоторыми предосторожностями, получать сравнительно точныя данныя.

Предшущія сравненія гигрометровъ произведены въ комнатномъ воздухѣ зимой при малыхъ степеняхъ влажности приблизительно на протяжении половины гигрометрической шкалы, почему были дополнены вторымъ рядомъ наблюденій уже въ атмосферномъ воздухѣ. Наблюденія были ведены въ дачной мѣстности подл Москвой въ июль и августъ. Гигрометры помѣщались въ саду на сѣверной сторонѣ дома, въѣзочнымъ приборомъ служилъ працевой психрометръ, для котораго постоянная величина A , входящая въ формулу, была опредѣлена предварительно. Сравнивались кромѣ тѣхъ же двухъ гигрометровъ *Monnier* № 1 и № 2 еще гигрометръ *Mithof* № 17465, стѣнной гигрометръ *Lambrecht*'а и гигрометръ *Wurster*'а,

служащій для измѣренія влажности воздуха въ различныхъ слояхъ одежды. Конструкція его въ сущности та же, что и психометра *Lambrecht*'а, но для выигрыша мѣста пучекъ волосъ раздѣленъ на два параллельныхъ отѣла и прибору приданъ очень малый объемъ.

Помѣщенныя въ таблицѣ 8 показанія гигрометровъ представляютъ среднія величины, выведенныя изъ 111 сравненій гигрометровъ съ психрометромъ-працевой.

ТАБЛИЦА 8.

Относительная влажность по психрометру.	Mithof № 17465.		Wurster		Lambrecht стѣнной.		Monnier № 1.		Monnier № 2.	
	Показанія	Поправка	Показанія	Поправка	Показанія	Поправка	Показанія	Поправка	Показанія	Поправка
19,7%	31,0	—11,3	8,3	+11,4	15,0	+ 4,7	22,3	— 2,6	19,0	+ 0,7
29,3%	35,4	— 6,1	22,3	+ 7,0	22,0	+ 7,3	31,2	— 1,9	30,8	— 1,5
36,8%	43,3	— 7,0	30,3	+ 6,5	29,7	+ 7,1	40,1	— 3,3	42,0	— 5,2
47,1%	51,9	— 4,8	40,8	+ 6,3	36,5	+10,6	47,2	— 0,1	49,9	— 2,8
51,1%	61,0	— 9,9	48,8	+ 2,3	43,2	+ 7,9	53,0	— 1,9	56,9	— 6,8
56,8%	59,2	— 2,4	51,3	+ 3,5	45,5	+11,3	56,4	+ 0,4	60,2	— 3,4
62,1%	71,1	— 9,0	60,3	+ 1,8	54,9	+ 7,2	62,2	— 0,1	66,0	— 3,9
67,8%	72,4	— 4,6	65,6	+ 2,2	61,9	+ 5,9	68,0	— 0,2	73,1	— 5,3
72,8%	77,4	— 4,6	71,3	+ 1,5	67,6	+ 0,2	71,9	+ 0,9	77,8	— 5,0
77,0%	78,8	— 1,2	72,8	+ 4,8	70,0	+ 7,6	73,3	+ 4,3	79,0	— 1,4
84,9%	83,1	— 0,2	82,1	+ 2,3	80,9	+ 4,0	78,8	+ 6,1	84,9	0,0
91,8%	89,0	+ 2,8	85,6	+ 6,2	88,6	+ 3,2	83,3	+ 8,5	88,3	+ 3,5
100,0%	95,0	+ 5,0	88,0	+ 2,0	96,0	+ 4,0	88,0	+15,0	94,0	+ 6,0

Гигрометръ *Mithof*'а № 17465 далъ лучшіе результаты, чѣмъ такой же гигрометръ № 15581, изслѣдованный ранее (табл. 7) въ комнатномъ воздухѣ; въ первомъ ошибкѣ достигала до +11%, тогда какъ въ послѣднемъ до +37%. Разница могла за-

висьти и отъ особенностей того и другого прибора, и отъ неблагоприятнаго вліянія сухого воздуха, отмѣченнаго Saussure'омъ, по отношенію къ волоснымъ гигрометрамъ и состоящаго въ уменьшеніи чувствительности прибора. Измѣнчивость поправки гигрометра Wurster'a не позволяетъ его считать приборомъ, заслуживающимъ довѣрія. Данни испытанія не говорятъ и въ пользу полиметра Lambrecht'a, хотя онъ и выдержалъ пробу, указанную въ брошюрѣ прилагаемой къ прибору ¹⁾. Въ наставленіи рекомендуется для проверки смачивать водой волосной пучекъ гигрометра помощью кисточки или пера и, если стрѣлка послѣ повторнаго смачиванія остановится на 95%, то приборъ долженъ быть признанъ вѣрнымъ. Послѣ смачиванія стрѣлка показывала 95%, а въ замкнутомъ пространствѣ, насыщенномъ водянымъ паромъ, 96% и тѣмъ не менѣе гигрометръ давалъ ошибки до 11% при среднихъ степеняхъ влажности. Показанія гигрометра Monnier № 1, при влажности воздуха отъ 47% до 72%, оказались почти вѣрными. При меньшихъ степеняхъ влажности поправки дѣлались отрицательными и приблизительно такими же, какъ и при первомъ сравненіи съ психрометромъ въ комнатномъ воздухѣ (табл. 6), при высшихъ степеняхъ влажности поправки становились положительными и постепенно возрастали. Гигрометръ Monnier № 2 измѣнявъ нѣсколько болѣе. При показаніи стрѣлки 55% поправка была та же, что и при первомъ испытаніи, но при 30,8% поправка — 1,5%, а ранѣе при 29,2% была + 2,3%.

Во всѣхъ этихъ наблюденіяхъ гигрометры находились въ воздухѣ, влажность котораго по произволу не могла быть измѣнена, вслѣдствіе чего для испытанія приборовъ требовалось много времени. При зимнихъ наблюденіяхъ въ комнатномъ воздухѣ понадобилось три мѣсяца и при этомъ могла быть проверена только половина гигрометрической шкалы. Лѣтомъ въ атмосферномъ воздухѣ пришлось затянуть сравненія на полтора мѣсяца, пока набралось достаточное число данныхъ. Такой способъ проверки гигрометровъ, конечно, нельзя считать удобоисполнимымъ. Поэтому, въ третью рядъ наблюденій, я воспользовался предложеніемъ

¹⁾ Lambrecht's Polymeter. Gebrauchsanweisung und Wetterregeln. 27 Auflage. 1892.

Regnault имѣть воздухъ произвольной степени влажности помощью растворовъ сѣрной кислоты различной крѣпости.

Приготовлены были семь растворовъ сѣрной кислоты въ водѣ, въ которыхъ на 1 часть H_2SO_4 приходилось воды отъ 3 до 17 частей.

Въ таблицѣ 9 приводятся эти растворы, съ указаніемъ процентнаго по вѣсу содержанія гидрата сѣрной кислоты, удѣльнаго вѣса, вычисленнаго по Ure, Lunge-Isler и Kolbe, и получаемой помощью нихъ относительной влажности воздуха при температурѣ $16^\circ - 20^\circ C$ ¹⁾.

ТАБЛИЦА 9.

	Растворы H_2SO_4						
	$H_2SO_4 + 3H_2O$	$H_2SO_4 + 4H_2O$	$H_2SO_4 + 5H_2O$	$H_2SO_4 + 7H_2O$	$H_2SO_4 + 9H_2O$	$H_2SO_4 + 11H_2O$	$H_2SO_4 + 17H_2O$
Удѣльный вѣсъ	% Содержание H_2SO_4						
{	Ure 15,9°C	1,5333	1,4635	1,4086	1,3323	1,2795	1,2417
	Lunge-Isler	1,5526	1,4780	1,4108	1,3401	1,2871	1,2471
	Kolbe	1,5472	1,4760	1,4181	1,3389	1,2875	1,2493
Относит. влажность		13 $\frac{1}{2}$ %	21 $\frac{1}{2}$ %	33 $\frac{1}{2}$ %	49 $\frac{1}{2}$ %	63 $\frac{1}{2}$ %	84 $\frac{1}{2}$ %

Удѣльный вѣсъ, опредѣленный психрометромъ, служилъ мѣриломъ для первоначальной установкѣ растворовъ, точное же содержаніе H_2SO_4 опредѣлялось помощью титрованія ѣдкимъ натромъ, установленнымъ по щавелевой кислотѣ, а также и вѣсовымъ аппаратомъ (осажденіе хлористымъ баріемъ и звѣшиваніе образовавшагося сѣрнобаритнаго барита). Опредѣленіе H_2SO_4 представляло довольно продолжительную операцію, такъ какъ, вслѣдствіе высокаго удѣльнаго вѣса испытуемыхъ растворовъ, нельзя было пользоваться измѣреніемъ объема испыдуемой жидкости, а приходи-

¹⁾ Пользы таблицъ давленія водяного пара, даваемыхъ различными растворами сѣрной кислоты и при разной температурѣ, см. Regnault (Annales de Chimie (3) XV, 1845, p. 179) и Landolt und Berstein (Physikalisch-chemische Tabellen. 1894, p. 65). 6*

лось каждый раз отбрасывать пробу. Навеска, содержащая от 0,5 до 0,8 грм. H_2SO_4 , помещалась в колбу и разводилась водой до 250 к. с. Полученная смесь и служила для химического исследования.

Водные растворы H_2SO_4 были доведены до удельного веса по *Ure*, но химическое исследование показало ошибочность таблиц *Ure*, и процентное содержание H_2SO_4 оказалось всегда меньше требуемого, хотя и на незначительную величину. Так определено 51,96%, 43,17%, 32,51% и 23,89% вместо требуемых 52,13%, 43,75%, 33,10% и 24,26%. *Lunge-Isler* и *Kolbe* дают для этих растворов стёрной кислоты удельный вес несколько больший сравнительно с даваемыми *Ure*. Къ сожалению, я познакомился с их таблицами уже послѣ того, как растворы H_2SO_4 были приготовлены по *Ure* и процентный состав их химическим анализом былъ определенъ. Поэтому и سعی возможнымъ удовлетвориться своими растворами, такъ какъ въ данномъ случаѣ дѣло шло не столько объ опредѣленіи точныхъ поправокъ къ приборамъ, непостоянство которыхъ убѣдительно доказывали предыдущія наблюденія, сколько о проверкѣ метода, предложеннаго *Regnault*, которымъ ни самъ онъ и никто изъ занимавшихся исследованиемъ волосяныхъ гигрометровъ не пользовался. Кроме того, зная процентное содержаніе H_2SO_4 , можно было по таблицамъ *Regnault*, помощью интерполированія, приблизительно опредѣлить и давленіе водяныхъ паровъ, приготовленныхъ мною растворовъ, и соответствующую относительную влажность.

Исследуемые гигрометры подвѣшивались въ стеклянный колоколь, притертый краемъ стоящей на матовой стекляннй пластинкѣ. Внутри колокола на пластинку, служащую его основаниемъ, помещалась стеклянная чашка съ отбѣсными краями, съ диаметромъ немного меньшимъ, чѣмъ діаметръ колокола; чашка наполнялась приблизительно на высоту сантиметра водой, или растворомъ стёрной кислоты. Колоколь имѣлъ горлышко, вверху закрываемое каучуковой пробкой, чрезъ которую была пропущена толстая проволока, загнутая крючкомъ. Чрезъ пробку колокола проходила кромѣ того стеклянная трубка, соединявшаяся съ водянымъ насосомъ и манометромъ. Имѣлось въ виду, для сокращенія

времени исследования, производить испытаніе гигрометровъ въ разряженномъ воздухѣ, такъ какъ въ пустотѣ, по наблюденіямъ *Regnault*, о чемъ уже было говорено, ходъ гигрометровъ весьма быстръ и въ нѣсколько минутъ они достигаютъ своей постоянной точки. Разряженіе воздуха однако удалось довести только до 240^{mm} и при этомъ лопнула стекляннй подставка колокола, имѣвшая въ толщину 5^{mm} , посему пришлось довольствоваться разряженіемъ въ $\frac{1}{2}$ атмосферы. Опытъ показывалъ, что при этомъ гигрометры скорѣе доходятъ до постояннаго положенія, чѣмъ при обыкновенномъ давленіи, но все-таки для этого требовалось болѣе двухъ часовъ. Показанія гигрометра, отмѣченныя полтора часа послѣ начала разряженія, увеличивались чрезъ 20 часовъ еще только на 1%. Поэтому, для полученія сравнимыхъ результатовъ, всѣ гигрометры оставались подъ колоколами отъ 20 до 24 часовъ. Вообще, ходъ гигрометра въ замкнутомъ пространствѣ гораздо медленнѣе, чѣмъ въ свободномъ воздухѣ. По *Saussure'у* ¹⁾, гигрометръ, перенесенный изъ очень влажнаго воздуха въ очень сухой, сдѣлается очень быстро, въ 2 или 3 минуты, большую часть, именно около $\frac{1}{4}$ своего пути, и въ 10 или 12 минутъ послѣднюю $\frac{1}{4}$ часть, такъ что въ атмосферномъ воздухѣ, даже во время большой сухости, не требуется никогда болѣе 12 или 15 минутъ для достиженія постоянной точки. Въ комнатномъ воздухѣ, по моимъ наблюденіямъ, для этого нужно уже не менѣе часа, если гигрометръ переносится изъ очень влажнаго воздуха въ очень сухой.

Итакъ, гигрометры находились подъ колоколами въ воздухѣ опредѣленной заранѣе влажности, вслѣдствіе чего легко было опредѣлить вѣрность ихъ показаній. Опредѣленія начинались съ кривыхъ растворовъ H_2SO_4 дающихъ малое давленіе водяныхъ паровъ и малую степень относительной влажности. Затѣмъ гигрометры постепенно переводились въ воздухъ болѣе высокой влажности, для чего въ колоколь наливалась болѣе слабый растворъ H_2SO_4 , и пакоонецъ помещался въ воздухъ наибольшей степени влажности, представляемой парами чистой воды; въ дальнѣйшихъ опытахъ гигрометры подвергались дѣйствию тѣхъ же растворовъ, но уже въ

¹⁾ Saussure, Essais sur l'hygrométrie. 1783, p. 63.

обратномъ порядкѣ. Предполагалось такимъ образомъ выяснить, обнаруживаетъ-ли какое вліяніе на показанія гигрометровъ предшествовавшее пребываніе ихъ въ влажной или сухой атмосферѣ. Полученные нами результаты испытаній гигрометровъ сдѣлали такое вліяніе яснымъ до очевидности.

Уже *Saussure* замѣтилъ, что общій недостатокъ волосныхъ гигрометровъ заключается въ томъ, что, находясь долго въ очень сухомъ воздухѣ, они терять немного въ своей чувствительности. „Если ¹⁾ два гигрометра, послѣ продолжительнаго пребыванія въ сухомъ воздухѣ, положимъ, 40° (Соссюра) перенести въ воздухъ еще болѣе сухой, одинъ въ 30°, а другой въ 50°, и затѣмъ перенести обратно оба въ прежній воздухъ, то ни тотъ, ни другой гигрометръ не возвратится къ 40°; гигрометръ изъ менѣе сухого воздуха остановится на 42° или 43°, гигрометръ же изъ болѣе сухого воздуха дойдетъ только до 37° или 38°. Такимъ образомъ разница между ними будетъ около 5°, т. е. $\frac{1}{10}$ всей шкалы; но эта разница исчезнетъ, если помѣстить гигрометръ въ воздухъ крайней влажности, а затѣмъ въ сухой“. На основаніи этихъ наблюденій *Saussure* считалъ полезнымъ время отъ времени помѣщать гигрометры въ среду, насыщенную водянымъ паромъ, чтобы дать возможность водянымъ частицамъ проникнуть во всѣ поры волоса. *Lambrecht* въ наставленіи, прилагаемомъ къ его гигрометру, замѣчаетъ, что волосъ, находясь долгое время въ чрезвычайно сухомъ воздухѣ, испытываетъ удлинненіе, которое исчезаетъ только послѣ того, какъ волосъ перенесутъ въ очень влажный воздухъ или смочутъ водой. Поэтому онъ советуетъ каждую четверть недѣли смачивать волосъ гигрометра водой, если приборъ применяется для опредѣленія влажности въ очень сухихъ помѣщеніяхъ.

По странной случайности, наблюденія *Saussure*'а не приводятся ни въ одномъ руководствѣ по гигіенѣ, можетъ быть потому, что для метеорологіи, откуда гигіена заимствовала волосной гигрометръ, не могло имѣть значенія неблагоприятное вліяніе на гигрометры постоянно сухого воздуха, такъ какъ метеорологія имѣетъ

дѣло съ атмосфернымъ воздухомъ, обладающимъ всегда большими колебаніями влажности, и кромѣ того пользуется волосными гигрометрами только въ качествѣ вспомогательнаго прибора. Приводимы ниже (табл. 10) наблюденія надъ гигрометрами показываютъ весьма ясно неблагоприятное вліяніе на нихъ сухого воздуха. Для воздуха одной и той же степени влажности всѣ гигрометры даютъ совершенно иные показанія, въ зависимости отъ того, переносятся-ли они въ этотъ воздухъ изъ сухого воздуха или насыщенной влагой. Гигрометръ № 56 въ воздухѣ съ влажностью въ 72% показывалъ 79%, когда былъ перенесенъ сюда изъ сухого воздуха, и 72% послѣ того, какъ находился въ атмосферѣ, насыщенной водянымъ паромъ. Еще болѣе резко выразилось это вліяніе сухости воздуха на гигрометръ *Mithof*'а № 15581. Приборъ, дававшій ошибки до 30%, а при первомъ сравненіи съ психрометромъ (табл. 7) даже до 37% и повидимому совершенно негодный, сдѣлался вѣрнымъ, когда побывалъ въ средѣ насыщенной водянымъ паромъ.

ТАБЛИЦА 10.

	Относит. влажность	Hermann & Pfister				Lambrecht станд.	Mithof № 17465	Mithof № 15581		
		№ 56	№ 69	№ 70	№ 15					
$H_2SO_4 + 3 H_2O$	15%	19	18	18	19	7	9	18	25	8
$H_2SO_4 + 4 H_2O$	24%	27	29	28	30	15	19	33	47	20
$H_2SO_4 + 5 H_2O$	34%	37	37	38	38	28	28	40	63	35
$H_2SO_4 + 7 H_2O$	50%	55	51	56	52	49	45	55	81	52
$H_2SO_4 + 9 H_2O$	68%	68	64	69	65	65	63	65	93	62
$H_2SO_4 + 11 H_2O$	72%	79	72	79	74	77	67	71	94	73
$H_2SO_4 + 17 H_2O$	84%	92	90	92	90	88	82	82	95	84
H_2O	100%	105	103			96	92		99	

1) Приготовленные растворы строгой чистоты не могли точно соответствовать ихъ формуламъ, почему относительная влажность вычислена по действительному процентному содержанію H_2SO_4 , найденному химическимъ анализомъ.

Въ таблицѣ 10 въ первомъ столбцѣ для каждаго гигрометра помѣщены показанія его при возрастающей влажности воздуха, во второмъ—при убывающей. Проверка гигрометра *Mithof* № 17465, сдѣлана только при убывающей влажности. Когда гигрометръ былъ помѣщенъ надъ крѣпкой сѣрной кислотой на три дня для опредѣленія точки 0, то отъ чрезмѣрнаго пересыханія лопнулъ гигроскопическій слой на его спиралѣ и приборъ сдѣлался негоднымъ для дальнѣйшаго примѣненія.

Таблица 10 даетъ еще основанія и къ другому выводу. Оживляющее, если можно такъ выразиться, вліяніе влажнаго воздуха на волосной гигрометръ оказывается очень непродолжительнымъ. Оно сохраняется не долѣе 4 дней, такъ какъ уже на пятый день волосные гигрометры даютъ тѣ же показанія, какія были послѣ пребыванія ихъ въ сухомъ воздухѣ. Этотъ выводъ былъ подтвержденъ и прямымъ опытомъ. Гигрометръ № 56, находившійся долго въ сухомъ воздухѣ, былъ помѣщенъ надъ H_2SO_4 + $+ 5 \text{ H}_2\text{O}$ и показавъ 37, какъ и въ опытѣ, приведенномъ въ таблицѣ 10, но надъ этильмъ же растворомъ показаніе его было 35 послѣ того, какъ гигрометръ подвергся вліянію влажнаго воздуха. Опыты, повторенные съ другими степенями влажности и съ другими гигрометрами, давали тѣ же результаты. Особенно легко было это замѣтить на кривой, даваемой самонипущимъ гигрометромъ *Richard*. Послѣ смачиванія волоса поправка гигрометра нѣмнѣялась на 3—5 дней и возвращалась затѣмъ къ прежней величинѣ. Въ февралѣ 1897 года, когда гигрометръ постоянно находился въ сухомъ воздухѣ, поправка для показанія его въ 20% была—2%, въ ноябрѣ того же года волосъ гигрометра разъ въ недѣлю смачивался водой и поправка для того же показанія была +10%. Изъ дальнѣйшихъ опытовъ выяснилось, что волосъ теряетъ свою чувствительность не только отъ пребыванія въ чрезмѣрно сухомъ воздухѣ, какъ указали *Saussure* и *Lambrecht*, но и въ сравнительно влажномъ воздухѣ, если только гигрометръ долго не подвергается вліянію атмосферы вполнѣ насыщенною водянымъ паромъ. Тотъ же гигрографъ *Richard* находился въ теченіе двухъ недѣль въ комнатѣ при влажности отъ 55% до 72%;

когда волосъ былъ смоченъ водой, то послѣдовало нѣмнѣніе поправки на 8%. Такие же результаты дало и наблюденіе проведенное при тѣхъ же условіяхъ и надъ гигрометромъ *Mithof*. Приведу еще одно наблюденіе. Въ комнатѣ отмѣчены показанія четырехъ гигрометровъ: самонипущій *Richard*—51%, стѣнной *Lambrecht*—56%, *Hermann & Pfister* № 56—49% и № 69—53%. Пучекъ волосъ у первыхъ двухъ гигрометровъ былъ смоченъ водой и черезъ 3 дня послѣ этого вновь произведены отсчеты. Первые два прибора показывали 43% и 51%, вторые—контрольные 50% и 54% т. е. разница въ показаніяхъ гигрометра *Richard*'а и контрольных нѣмнѣялась на 9%, а для гигрометра *Lambrecht*—а на 6%.

Итакъ, гигрометры для сохраненія ихъ чувствительности и вѣрности должно помѣщать въ среду насыщенную влагой не черезъ 4 недѣли, какъ совѣтуетъ *Lambrecht*, а каждыя 5 дней или, по крайней мѣрѣ, разъ въ недѣлю, если они примѣняются для опредѣленія влажности комнатнаго воздуха. Это относится не только къ чрезмѣрно сухому воздуху, но и къ сравнительно влажному.

Теперь становится понятнымъ значеніе приспособленія Корре для проверки точки 100% его гигрометра. Подвергая волосъ вліянію воздуха насыщеннаго влагой и затѣмъ перенося въ насыщенный воздухъ, мы тѣмъ возвращаемъ волосъ его чувствительности и ставимъ приборъ въ тѣ же условія, въ которыхъ при приготовленіи гигрометра наносились дѣленія на шкалѣ. Самая же проверка точки 100% имѣетъ сравнительно меньшее значеніе. Если наблюдатель работаетъ съ однимъ приборомъ, то нѣтъ основанія постоянно проверять точку насыщенія. Эта точка отличается большимъ постоянствомъ. Какъ мы видѣли ранѣе, колебанія въ показаніяхъ гигрометровъ не относятся къ точкѣ 100%. Гигрографъ *Richard*, дававшій для 20% поправку то —2%, то +10%, въ насыщенномъ водянымъ паромъ воздухѣ показывалъ неизмѣнно 110%. Наконецъ, едва-ли въ приборѣ Корре, имѣющемъ двѣ подвижныя стѣнки, и получается полное насыщеніе воздуха водянымъ паромъ. Изъ физики извѣстно, какъ оно трудно достигается даже въ герметически закрытомъ пространствѣ и что конденсация пара на внутренней поверхности стекляннаго сосуда въ видѣ росы не служитъ еще доказательствомъ, что воздухъ въ немъ вполнѣ

насыщен. Гигрометры №№ 56 и 69 показывали в воздух насыщенный влагой под стеклянным колоколом 105 и 103; при тех же условиях, но в большом стеклянном ящике ($0,7 \times 0,31 \times 0,5$ метра) с налитой на дно водой и с плотно прикрывающейся цинковой крышкой, стрелки гигрометров даже после двух-суточного пребывания доходили только до 98 и 96, хотя водяной пар и осаждался на внутренней поверхности стенок ящика. К сожалению и не мог проверить шкалу гигрометра Корре, так как прибор, имеющийся в гигиеническом институте, оказался немного испорченным. Судя по его конструкции, он должен быть поставлен ниже гигрометра Hertmann & Pfister, принятого на метеорологических станциях. Повидимому, такого же мнения был и сам автор, так как снабдил шкалу своего прибора делениями не через каждые 1° , а через 5° ¹⁾.

Таблица 11 представляет результаты проверки над растворами серной кислоты еще шести гигрометров. Гигрометры Wurster'a и R. F. исследовались только при убывающей влажности.

ТАБЛИЦА 11.

	Влаж- ность.	MONNIER.						Lambrecht erosaugh.	Wurster.	F. R.	
		№ 1.		№ 2.		№ 3.					
H ₂ SO ₄ + 3H ₂ O	15%	13	11	9	7	11	8	13	—	0	34
H ₂ SO ₄ + 4H ₂ O	24%	29	24	30	24	23	26	23	—	18	—
H ₂ SO ₄ + 5H ₂ O	34%	41	36	46	41	40	37	38	—	30	50
H ₂ SO ₄ + 7H ₂ O	50%	59	53	67	60	66	68	60	61	50	62
H ₂ SO ₄ + 9H ₂ O	63%	69	63	79	72	81	80	77	74	64	66
H ₂ SO ₄ + 11H ₂ O	72%	76	70	87	80	89	80	85	84	71	74
H ₂ SO ₄ + 17H ₂ O	84%	81	74	92	89	96	93	91	86	81	78
H ₂ O	100%	—	—	—	—	—	—	—	—	95	87

¹⁾ Подтверждением сказанной мною оценки гигрометра Корре может служить мнение J. Arnaud (Nouveaux Elements d'hygiene, 1895, p. 272): „Les hygrometres à cheveu ne sont, à vrai dire, que des hygroscopes et l'inventeur de l'un de ces instruments le plus en vogue, Korre, est le premier à le declarer“. Статья Корре об его гигрометре, помещенная в Meteor. Zeitschrift 1873, и не могла достать.

Таблица эта, не давая новых данных, подтверждает положение, высказанное на основании изучения первых пяти гигрометров. В ней видно, между прочим, значение, так сказать, индивидуальности каждого прибора.

Гигрометр Monnier № 1 имеет почти вѣрную шкалу до 70%, а при 100%, дает ошибку в 15%, Monnier № 3 при вѣрной точке насыщения сильно уклоняется от истинной относительной влажности почти по всему протяжении гигрометрической шкалы и только при низких степенях влажности, начиная с 34%, дает достаточно вѣрные показания.

Вообще можно сказать, что гигрометры, основанные на изменении объема гигроскопических тел под влиянием влажности, требуют большой осторожности при их употреблении. Каждый применяемый прибор должен быть предварительно изучен по отношению к правильности делений шкалы. Многие гигрометры приготавливаются чисто фабричным путем и ход стрелки не соответствует протяжению шкалы, вследствие чего деления ее являются произвольными, другие гигрометры изменяются от времени. Но и вѣрность волосного гигрометра не гарантирует еще наблюдателя от ошибок при его применении. Необходимо еще соблюдение условий, при которых показания их остаются постоянными. Только знание недостатков, присущих всем гигрометрам этого рода и способов их устранения, дает возможность избегать ошибок при пользовании ими и извлекать из них приблизительно точные результаты. Так как для суждения о достоинстве прибора необходимы хотя и несложные, но все же лабораторные приспособления, не могущие быть у каждого под рукой, то является желательным, чтобы публика, приобретающая гигрометры, не довольствовалась испытанием, произведенным продавцом, а обращалась бы с этой целью в компетентные учреждения. Сказанным определяется и значение волосного гигрометра для тех случаев, когда требуется точное знание величины влажности воздуха. В этих случаях они не должны вовсе применяться или, по примеру метеорологов, их вид только вспомогательного прибора, дающего возможность отметить удобно и скоро колебания влажности, но не точную величину ее. Остановившаяся на этом

потому, что точность волосных гигрометров обыкновенно сильно преувеличивается и ими пользуются даже там, где все выводы основываются на точном измерении влажности воздуха, как напр. при исследовании величины отдачи водяного пара кожей и легкими человека ¹⁾.

Возвращаясь к методу проверки гигрометров помощью растворов серной кислоты определенной концентрации, нельзя не указать его значительных преимуществ. Этот способ, в несколько дней получается определенное представление об исправности прибора и выводится его поправки, на что при обычных способах проверки чрез сравнение с контрольными приборами тратится более месяца. Время проверки может быть еще сокращено, если вместо семи предложенных растворов довольствоваться тремя, дающими влажность 71%, 49% и 22%. Даже и при таком сокращенном исследовании получается достаточное число точек опоры для суждения о достоинстве прибора и верности его шкалы. В пределах влажности, даваемой этими растворами и заключаются границы колебаний влажности комнатного воздуха, установленная гигиеной для человеческого организма. Пользуясь гигрометром, проверенным помощью этих растворов можно satisfactorily с уверенностью заключать, удовлетворяется ли исследуемый воздух гигиеническим требованиям. (40%—70%).

Nodon ²⁾ помещает волосные гигрометры для проверки вместе с гигрометром Alluard в большой закрытый сосуд с стеклянными стенками, в котором поставлены чашки с растворами серной кислоты неопределенной концентрации. Когда показания волосных гигрометров сдвигаются постоянными, определяется помощью гигрометра Alluard точка росы, а satisfactorily и относительная влажность воздуха, в котором находятся приборы. Заменяя растворы серной кислоты иными, большей или меньшей концентрации, получаем новую степень влажности воздуха и проверяем таким образом другие точки шкалы гигрометра.

¹⁾ См. напр. Rubner, Notitz., op., c., Schierbeck. Eine Methode., op., c., Notall. Einfluss von Schwankungen... Arch. f. Hyg., 1895, Bd. 23, s. 188.

²⁾ Nodon, Op. c.

Crova ¹⁾ для градуирования волосных гигрометров помещает их под стеклянный колокол, имеющий три отверстия. С двумя из них, снабженных кранами, соединены сосуды с ершиковой серной кислотой и водой, третье отверстие соединяется с гигрометром Crova. Если чрез этот гигрометр просасывать воздух из колокола, открывая то кран, собирающий его с серной кислотой, то кран, ведущий в сосуд с водой, или оба крана одновременно, то в колокол получаются различные степени влажности воздуха, которые и определяются гигрометром Crova.

Способ Regnault имеет над этими обоими способами решительное преимущество. Если приготовление растворов и несколько хлопотливо, за то они долго сохраняются, когда хорошо закупорены стеклянными припаянными пробками. Так раствор, приготовленный в январе 1897 года, содержал серной кислоты 43,17%, а в марте 1898 года 43,14%.

Общие заключения, к которым приходим на основании изучения разнообразных волосных гигрометров, могут быть выражены так.

- 1) Волосные гигрометры, не смотря на все современные улучшения, не могут считаться совершенными приборами.
- 2) Для сохранения полной чувствительности и постоянства и для получения сравнимых результатов гигрометры чрез каждые 5 дней должны быть помещаемы в воздух, насыщенный водяным паром.
- 3) Волосные гигрометры теряют часть своей чувствительности, находясь не только в очень сухом воздухе, как это отметил Saussure, но и при средних степенях влажности в 60%—70%.
- 4) Особенно сильно нажимаются и дают ошибки до 30%, 40% при таких условиях гигрометры Mithof.
- 5) Верность точки 100% не служит гарантией верности показаний гигрометра для остальных делений шкалы и обратно—гигрометры могут давать верные показания на большей части

¹⁾ Crova. Graduation des hygromètres à absorption J. de Phys. (2) III, 1884, p. 380.

своей шкалы, показывая большие ошибки при 100%, посему гигрометры должны быть проверяемы не по отношению только точки насыщения, но и для промежуточных делений.

6) Для этой цели весьма пригодны растворы серной кислоты определенной концентрации, указанные Regnault.

7) Наилучшими должны считаться гигрометры Neumann & Pfister, получаемые из главной физической обсерватории. Пользуясь ими с соблюдением всех предосторожностей и с таблицей поправок для всех делений шкалы, можно иметь равные величины влажности с точностью до $\pm 2\%$.

ГЛАВА IV.

Психрометр.

Психрометр неподвижный. — Психрометр с вентилятором (итальянский). — Аспирационный психрометр Asmann'a. — Рабочий психрометр.

Психрометр неподвижный. Психрометр состоит из двух термометров, сухого и влажного, укрепленных на общем штативе. Шарик влажного термометра обернуть куском ткани, поддерживаемой во влажном состоянии посредством постоянного притока к ней воды. Если окружающий воздух совершенно насыщен водяным паром, то испарения с влажного термометра не происходит и оба термометра показывают одинаковую температуру. Когда содержание водяного пара в воздухе не достигает состояния насыщения, то вода испаряется с поверхности влажного термометра, что вызывает понижение его температуры. Чем суше воздух, тем больше испарится воды и тем больше становится разность между показаниями сухого и влажного термометров. Разность термометров и служит для определения помощью вычислений или особых таблиц состояния влажности воздуха.

Возникновение идеи о психрометре¹⁾ можно отнести к концу прошлого столетия, когда Leslie (1799), смачивая водой один из шариков своего дифференциального термометра, наблюдать происходящие вследствие охлаждения изменения показаний прибора

¹⁾ Grossmann. Beitrag zur Geschichte und Theorie des Psychrometers. Zeitschr. f. Meteorologie, 1889, S. 141.

и сравнивал их съ показаниями обыкновеннаго термометра съ цѣлью опредѣленія влажности воздуха. *Gay-Lussac* (1815) производилъ опыты надъ охлажденіемъ влажнаго термометра въ струѣ сухого воздуха при разныхъ температурахъ и полагалъ, что и обратно изъ разности температуръ можно опредѣлить влажность воздуха, но отступилъ передъ вычисленіемъ нужныхъ для того таблицъ, такъ какъ онъ требовалъ большаго числа опытовъ, а ступенчатый гигрометръ *Le Roy* казался ему болѣе удобнымъ въ примѣненіи. Онъ же установилъ для психрометра формулу, согласную съ выведенной послѣдствіемъ *Jerry* (1822), а еще позднѣе *August*'омъ.

Если мысль о психрометрѣ возникла у *Leslie* и *Gay-Lussac*'а, тѣмъ не менѣе заслуга теоретическаго вывода основаній психрометра и примѣненія его для практическихъ цѣлей принадлежитъ *August*'у¹⁾ (1825), со времени котораго и самъ приборъ получаетъ свое настоящее названіе.

Для установленія связи между показаніями термометровъ и влажностью воздуха *August* выходилъ изъ предположеній, что 1) шарикъ влажнаго термометра окруженъ тонкимъ слоемъ воздуха, который имѣетъ его температуру и насыщенъ водянымъ паромъ, 2) этотъ слой воздуха постоянно замѣняется другимъ, который отдаетъ смоченному термометру часть своей теплоты, а самъ охлаждается до его температуры и насыщается водянымъ паромъ, на образованіе котораго расходуется тепло, получаемое шарикомъ термометра, и 3) когда количество тепла, затрачиваемого на испареніе, сдѣлается равнымъ количеству тепла, доставляемаго воздухомъ, влажный термометръ приходитъ въ состояніе равновѣсія.

На основаніи этихъ предположеній *August* вывелъ формулу, имѣющую слѣдующій видъ:

$$x = F_1 - \frac{k}{\delta^2} (t - t_1) H$$

гдѣ x есть абсолютная влажность, F_1 —давленіе водяного пара при температурѣ влажнаго термометра, t —температура сухого термо-

метра, t_1 —температура влажнаго термометра, k —удѣльная, теплота воздуха, δ —плотность водяного пара, λ —скрытая теплота пара и H —давленіе воздуха. Замянивъ k , δ и λ ихъ численными значеніями, которыя для $k = 0,237$, $\delta = 0,622$ и $\lambda = 600$, получимъ

$$x = F_1 - 0,000635 (t - t_1) H.$$

Уже самому *August*'у, произведенному цѣлый рядъ сравненій психрометра съ гигрометромъ *Daniell*'а, пришлось убедиться, что его формула не вполнѣ соответствуетъ дѣйствительности и что согласіе теоріи и наблюденій, замѣченное имъ вначалѣ, было чисто случайное, обусловленное отчасти невѣрностью таблицъ упругости водяного пара, которыми *August* пользовался, почему онъ нѣсколько разъ измѣнялъ значеніе численной величины въ своей формулѣ и въ послѣднемъ изданіи своихъ психрометрическихъ таблицъ (1848) принималъ ее равной 0,000762 (или 0,000952 для градусовъ Реомюра)²⁾.

Regnault (1845)³⁾, составивъ на основаніи своихъ наблюденій новую таблицу упругости водяного пара при разныхъ температурахъ, которой пользуются и до настоящаго времени, подвергъ психрометръ экспериментальному изслѣдованію и нашелъ, что формула, предложенная *August*'омъ, не обнимаетъ всѣхъ случаевъ примѣненія психрометра. Если формулу принять въ такомъ общемъ видѣ $x = F_1 - A(t - t_1)H$, то величина A , принятой *August*'омъ постоянной, въ дѣйствительности имѣетъ свое значеніе въ зависимости отъ условій, въ которыхъ поставленъ психрометръ. Помѣстивъ психрометръ въ трубку, поддерживаемую при постоянной температурѣ, чрезъ которую пропускался токъ сухого воздуха различной скорости, *Regnault* нашелъ, что наблюденная психрометрическая разность отличалась отъ вычисленной по формулѣ *August*'а, и отсюда заключилъ, что на показанія психрометра имѣетъ вліяніе и скорость движенія воздуха, обстоятельство не предусмотрѣнное *August*'омъ. Указавъ затѣмъ на зависимость показаній психро-

¹⁾ Зеркаль. Опредѣленіе влажности воздуха помощью психрометра. Прилож. въ газ. Инд. Ан. Наукъ. 1851.

²⁾ *August*, Ueber die Verdunstungskälte und deren Anwendung auf Hygrometrie. Poggend. Ann. 1825, (2) V. 8, 69—88, 335—344.

³⁾ *Regnault*, Etudes sur l'hygrométrie. An. de Ch. et de Phys., 1845, XV.

метра отъ лучеиспускания со стороны окружающих предметовъ и подвергнувъ сомнѣнію самыя теоретическія основанія, принятыя August'омъ, Regnault считалъ однако безопаснымъ отыскиваніе формулы, въ которую входили бы всѣ факторы, вліяющіе на показанія влажнаго термометра, полагая ихъ не поддающимися численному изображенію, и намѣля возможнымъ довольствоваться формулой August'a, если только для той мѣстности или помѣщенія, гдѣ будутъ производиться наблюденія надъ влажностью, сдѣлать предварительно опредѣленіе величины A помощью какого-либо точнаго метода. Производя психрометрическія наблюденія и одновременно опредѣляя влажность воздуха вѣсовымъ способомъ, Regnault вычислилъ величины A для психрометра, находящагося въ комнатѣ и въ свободномъ воздухѣ при разныхъ условіяхъ.

Полученныя величины оказались уклоняющимися значительно отъ теоретической 0,000635:

- 1) Въ маленькой закрытой комнатѣ въ 100 кв. м. $A = 0,00128$
- 2) Въ аудиторіи въ 1000 куб. м. съ закрытыми окнами. $A = 0,00100$
- 3) Въ той же аудиторіи, но съ открытыми противоположными окнами. $A = 0,00077$
- 4) На большомъ квадратномъ дворѣ Collège de France въ 1000 кв. м., окруженномъ высокими зданиями. $A = 0,00074$
- 5) На длинномъ дворѣ, засаженномъ деревьями $A = 0,00100$
- 6) На томъ же длинномъ дворѣ, при положеніи психрометра на солнцѣ. $A = 0,00090$
- 7) При температурахъ ниже 0°. $A = 0,00075$
- 8) На большомъ дворѣ таверны въ Пиренеяхъ $A = 0,00090$
- 9) На открытой возвышенности въ Пиренеяхъ, когда психрометръ не былъ защищенъ ни отъ вѣтра, ни отъ солнца. $A = 0,00090$

Такимъ образомъ выяснилось, что въ психрометрической формулѣ нельзя брать одну и ту же постоянную величину для A , по

слѣдуетъ измѣнить ее сообразно условіямъ, въ которыхъ примѣняется психрометръ.

Для атмосфернаго воздуха при температурахъ влажнаго термометра выше 0° Regnault установилъ формулу:

$$x = F_1 - \frac{0,480 (t - t_1)}{610 - t_1} H$$

или

$$x = F_1 - 0,00080 (t - t_1) H,$$

по которой и вычислены всѣ употребляющіяся въ настоящее время метеорологическія таблицы.

Regnault предполагалъ, что скорость вѣтра, не превосходящая 5—6 метровъ въ секунду, не имѣетъ существеннаго вліянія на показанія психрометра. Постѣдующіе наблюдатели однако опровергли такое предположеніе. Вліяніе движенія воздуха на психрометръ было подробно изучено Зюркинымъ (1881), работы котораго въ ученіи о психрометрѣ занимаютъ выдающееся мѣсто. Поддержавъ психрометръ искусственному вѣтру различной скорости, онъ намѣля, что постоянное A по мѣрѣ увеличенія скорости вѣтра правильно уменьшается и выразилъ эту зависимость слѣдующими числовыми величинами¹⁾.

Скорость вѣтра въ метрахъ въ 1 сек.	A
0,13	0,00130
0,16	0,00120
0,2	0,00110
0,3	0,00100
0,4	0,00090
0,8	0,00080
2,3	0,00070
3,0	0,00069
4,0	0,00067

Изъ этихъ данныхъ слѣдуетъ, что наибольшая измѣнчивость величины A бываетъ при малыхъ скоростяхъ движенія воздуха и

¹⁾ Цѣлыя части въ графической таблицѣ Зюркина.

что только, начиная со скорости в 2,3—3 метра в секунду, A дѣлается болѣе или менѣе постоянной. Если принять во внимание, что скорость движения в 0,3 или 0,4 метра в секунду для человѣческаго организма не ощутима и, слѣдовательно, можетъ быть в комнатномъ воздухѣ, который мы считаемъ неподвижнымъ, то становится понятной ненадежность опредѣленія влажности в комнаты помощью психрометра.

Зависимость показаній психрометра отъ такой переменной и трудно измѣряемой величины, какъ скорость движенія воздуха, вызвала стремленіе устроить психрометръ, который подвергался бы вліянію вѣтра всегда опредѣленной скорости, и тѣмъ самымъ устранить главный источникъ ошибокъ этого прибора. Начиная съ попытокъ *Belli* (1831) стремленіе это выразилось устройствомъ психрометра съ вентиляторомъ, психрометра-пращи и, наконецъ, въ послѣднее время аспираціоннаго психрометра *Assmann*'а. Одинъ изъ видовъ психрометра съ вентиляторомъ, такъ называемый итальянскій психрометръ, изслѣдовалъ *Зюркингъ* и нашелъ для него $A = 0,000725$. *Angot* изъ своихъ изслѣдованій надъ итальянскимъ же психрометромъ вывелъ эту величину равной 0,00078. Психрометръ-пращу изслѣдовали *Doyère*, *Macé de Lépinay*, *Denecke* и *Ferrel*. Первый опредѣлялъ $A = 0,000687$, *Macé de Lépinay* — $A = 0,000693$, *Denecke* — $A = 0,000706$, а *Ferrel* далъ для психрометра-пращи слѣдующую формулу:

$$x = F_1 - 0,00066 (t - t_1) H (1 + 0,00115 t_1)$$

Assmann, заключивъ сосуды психрометра въ металлическую трубку и пропуская чрезъ нее воздухъ всегда съ опредѣленной скоростью, устранилъ одновременно два источника ошибокъ: вліяніе лучеиспусканія со стороны окружающихъ предметовъ и неравнорѣдную скорость вѣтра.

Regnaud уже отрицалъ вліяніе на показанія психрометра величины и формы термометрическихъ сосудовъ, но полагалъ, что оно незначительно. *Зюркингъ* высказалъ это вліяніе и далъ ему объясненіе. Изъ его опыта видно, что при одной и той же скорости вѣтра, 1 метръ в секунду, психрометръ съ большими

сферическими резервуарами в 10 мм. въ діаметръ далъ $A = 0,00077$, а психрометръ съ маленькими цилиндрическими сосудами, имѣющими въ поперечникѣ 4 мм. имѣлъ величину $A = 0,00070$. Наблюденіе это имѣетъ важное значеніе, такъ какъ указываетъ причину разногласій выводовъ различныхъ наблюдателей относительно зависимости величины A отъ скорости вѣтра, и кромѣ того, показываетъ, что зная скорость вѣтра нельзя еще заключать о величинѣ постоянной, входящей въ психрометрическую формулу. Зюркингъ въ концѣ своей работы высказалъ предположеніе, что если бы удалось точно установить зависимость A отъ скорости вѣтра и размѣровъ термометровъ и вычислить вліяніе на психрометръ лучеиспусканія со стороны окружающихъ предметовъ, то можно было бы а priori для каждаго психрометра, зная скорость вѣтра, величину и форму термометрическихъ сосудовъ, опредѣлять величину A . „Сравненіе психрометра съ другими гигрометрами было бы въ такомъ случаѣ совершенно излишнее и психрометръ съ вентиляторомъ представлялъ бы собой совершенно самостоятельный инструментъ, подобно другимъ лучшимъ гигрометрамъ, превосходя ихъ притомъ простотой и удобствомъ и не уступаая имъ точностью“¹⁾.

Ня самъ *Зюркингъ* во второй своей работѣ (1883) ²⁾ этой задачи не рѣшаетъ, ни другіе изслѣдователи (*Stefan*, *Maxwell*, *Ferrel*, *Grossmann*), строившіе новыя психрометрическія формулы на основаніи теорій диффузіи и теплопроводности, не даютъ желаемыхъ рѣшеній. *Ferrel* ³⁾ заключаетъ разборъ свой психрометрическихъ формулъ словами, что „мы мало или вовсе не имѣемъ надежды имѣть точную психрометрическую формулу“⁴⁾. Приблизительно также выражается *Edelmann* ⁵⁾.

Вопросъ о психрометрѣ былъ предметомъ многочисленныхъ работъ. Оставляя въ сторонѣ тѣ, которыя относятся къ теоріи прибора, какъ лежащая внѣ границъ моей задачи, считаю нелишнимъ привести еще наблюденія *Angot* ⁶⁾. Изъ 3670 сравненій пси-

¹⁾ *Зюркингъ*. Опредѣленіе влажности воздуха. 1881, стр. 87.

²⁾ *Зюркингъ*. Изслѣдованіе о психрометрѣ. Москва. 1883.

³⁾ *Grossmann*. Op. c.

⁴⁾ *Edelmann*. Psychrometrische Studien und Beiträge. Zeitschr. f. Meteor. 1890, S. 325.

⁵⁾ *Peß*. J. de Phys., 1882 (2) 2, p. 119.

хрометра съ гигрометромъ *Alluard'a*, сдѣлавшихъ въ атмосферномъ воздухѣ, онъ нашелъ, что A измѣняется въ зависимости отъ величины *психрометрической разности*, уменьшаясь по мѣрѣ увеличенія $t - t_1$; такъ при $t - t_1 = 0,35^\circ$ $A = 0,001022$, а при $t - t_1 = 6,77^\circ$ $A = 0,000705$. Вывелъ новую формулу и составилъ сообразно съ ней таблицы, *Angot* пришелъ къ заключенію, что новыя таблицы даютъ для неподвижнаго психрометра замѣтно лучшие результаты, чѣмъ старыя, вычисленныя по *Regnault*, въ особенности при малой степени влажности воздуха. Выводы *Angot* пока стоятъ особнякомъ, хотя и были подтверждены *Eckholm'омъ*¹⁾.

Кромѣ выясненія существенныхъ моментовъ, вліяющихъ на показанія психрометра, каковы движеніе воздуха, форма и размѣры термометрическихъ сосудовъ, лученспусканіе со стороны окружающихъ предметовъ, обращено было вниманіе и на нѣкоторые второстепенные источники ошибокъ при примѣненіи психрометра. Такъ *Э. Е. Лейст*²⁾ указалъ, что влажный термометръ не показываетъ температуры сосуда термометра, которая собственно входитъ въ психрометрическую формулу, а величину нѣсколько большую, что зависитъ отъ того, что столбъ ртути термометра находится при высшей температурѣ, чѣмъ его сосудъ. Пронсходящая отъ этого ошибка въ опредѣленіи температуры можетъ доходить до $0,3^\circ$, что отражается и на величинѣ вычисленной влажности и на постоянной A .

*Edelmann*³⁾ изслѣдовалъ вліаніе оболочки влажнаго термометра и нашелъ измѣненіе постоянной A отъ $0,000733$ до $0,000873$ въ зависимости отъ рода ткани, употребляемой для обертки влажнаго термометра. Одна и та же ткань, но положенная въ одинъ или два слоя, даетъ равныя величины для A . Батистъ, примѣняемый на австрійскихъ метеорологическихъ станціяхъ (14×12 нитей въ $\frac{1}{4}$ кв. сант.), даетъ постоянную $A = 0,000836$, та же ткань, но наложенная на термометрический сосудъ въ два слоя, показала $A = 0,000873$. Тотъ же авторъ подвергъ изученію

и правильность хода часового механизма, приводящаго въ движеніе вентиляторъ въ психрометрѣ *Assmann'a*, и нашелъ, что даваемая имъ скорость вѣтра весьма мѣлничка.

*Marriot*¹⁾ отиѣтилъ измѣненіе показаній психрометра, обусловленное большими или меньшими удаленіемъ отъ него сосуда, снабжающаго влажный термометръ водой.

Regnault въ концѣ своего изслѣдованія о психрометрѣ высказываетъ мнѣніе, что психрометръ такой же эмпирической инструментъ, какъ и гигрометръ *Saussure'a*, и что онъ имѣетъ надъ послѣднимъ единственное преимущество — меньшую измѣняемость, по за то показанія его находятся въ большей зависимости отъ мѣстныхъ условий. На основаніи этого *Regnault* предостерегаетъ отъ употребленія психрометра, какъ прибора дающаго сомнительныя данныя. Изъ сдѣланнаго выше обзора состоянія вопроса о психрометрѣ явствуетъ, что въ настоящее время и конструкція и пользование приборомъ испытаны существенныя усовершенствованія, зависимость отъ мѣстныхъ условий почти устранена, тѣмъ не менѣе въ психрометрѣ остаются еще нѣкоторые недостатки, не позволяющіе считать его самостоятельнымъ инструментомъ и пользоваться имъ безъ предварительнаго опредѣленія постоянной величины для каждаго отдѣльнаго прибора.

Разработка условий примѣненія психрометра принадлежитъ главнымъ образомъ метеорологамъ. Гигіена, изучая влажность воздуха, какъ одинъ изъ факторовъ, вліяющихъ на здоровье человека, не могла не остановиться и на способахъ опредѣленія влажности. Если бы предметомъ изслѣдованій гигиены служилъ только атмосферный воздухъ, то ни о какой особой гигиенической методикѣ изслѣдованія влажности воздуха не могло бы быть и рѣчи; но, такъ какъ въ область гигиены, кромѣ изученія атмосфернаго воздуха, входитъ и изученіе воздуха жилищъ, въ которыхъ человѣкъ проводитъ большую часть своей жизни и котораго не знаетъ метеорологія, то естественно долженъ былъ возникнуть вопросъ, насколько примѣнимы тѣ или нѣкоторые метеорологические способы опредѣленія влажности воздуха къ специальнымъ гигиеническимъ цѣлямъ.

¹⁾ *Eckholm. Undersökningar i hygrometri. Fes. Fortschrifte der Physik. t. 44, 3 abt.*

²⁾ *Лейст. О вліаніи температуры столба ртути. Зап. Ним. Ак. Наукъ, 1891.*

³⁾ *Edelmann, op. c.*

¹⁾ *Marriot. The Wet-bulb Thermometer. Quart. Jour. of the meteor. soc. 1877, vol. 3, p. 283.*

Въ согласіе съ метеорологами и гигиенистами въ числѣ приборовъ, служащихъ для измѣренія влажности воздуха, ставятъ на первое мѣсто психрометры, тѣмъ не менѣе пригодность его примѣненія къ специальнымъ цѣлямъ гигиены, къ изслѣдованію воздуха жилыхъ помѣщеній, разработана весьма мало.

Въ большинствѣ руководствъ по гигиенѣ и гигиеническимъ изслѣдованіямъ описывается психрометръ, его теорія, формула, по которой имъ пользуются, сообщаются изслѣдованія *Regnault* и рядъ цифровыхъ данныхъ, полученныхъ имъ для постоянной величины входящей въ формулу, по послѣдующія затѣмъ заключенія оказываются отъ нихъ независимыми. Указавъ, что въ формулѣ $f = F_1 - A(t - t_1)H$ величина A зависитъ отъ мѣстныхъ условий, въ которыхъ примѣняется психрометръ, и что *Regnault* далъ слѣдующія величины A

въ небольшой комнатѣ 0,00128
въ большой комнатѣ 0,00100

руководства обыкновенно заканчиваютъ сообщеніемъ, что для метеорологическихъ наблюденій принимается $A = 0,00080$, т. е. примѣняется формула, если представить ее въ болѣе простомъ видѣ, $f = F_1 - 0,6(t - t_1)$, гдѣ $0,6 = A \cdot H = 0,00080 \cdot 760$.

Одинъ авторъ ¹⁾ (*Flügge, Rubner, Happe, Härtner, Arnould, Доброславинъ*) считаютъ эту формулу приложимой и къ вычисленію влажности комнатнаго воздуха, другіе ²⁾ (*Эрисманъ, Emmerich u Trillich, Praussnitz, Скорцовъ*) указываютъ, что для этого случая нужно брать формулу съ множителемъ 0,65 и только *Lehmann* ³⁾

добавляетъ, что въ совершенно тихомъ воздухѣ, въ особенности въ комнатномъ, величина множителя поднимается до 0,9. *Langlois* ⁴⁾ даже даетъ для психрометрической формулы $A = 0,000635$, т. е. теоретическую величину *August'a*, хотя самъ *August* въ 1848 г. принималъ $A = 0,000762$. Если обратиться къ психрометрическимъ таблицамъ, приложеннымъ къ руководствамъ по гигиенѣ, то окажется, что онѣ вычислены по формулѣ $f = F_1 - 0,6(t - t_1)$, какъ напр. у *Flügge*, ⁵⁾ т. е. взяты прямо изъ метеорологическихъ таблицъ, служащихъ для опредѣленія влажности атмосфернаго воздуха, или (*Emmerich u Trillich*) вычислены по формулѣ $f = F_1 - 0,65(t - t_1)$.

Regnault, какъ сказано выше, установилъ, что въ комнатномъ воздухѣ величина A заключается въ предѣлахъ между 0,00100 и 0,00128; умноживъ эти величины на 760, получимъ величину n , входящую въ формулу $f = F_1 - n(t - t_1)$.

Итакъ, по *Regnault* въ комнатномъ воздухѣ $n = 0,76$ или 0,97, руководства же по гигиенѣ принимаютъ n равнымъ 0,6 или 0,65.

Для разъясненія возникающихъ недоумѣній можно сдѣлать два предположенія, или что употребленіе того или другого множителя въ психрометрической формулѣ мало отражается на полученныхъ результатахъ, или что гигиена, беря множители 0,6 или 0,65, основывается на какихъ либо новыхъ изслѣдованіяхъ, опровергнувшихъ выводы *Regnault* и доказавшихъ большую пригодность для комнатнаго воздуха величины 0,6 или 0,65, тѣмъ 0,76 и 0,97.

Первое предположеніе однако легко опровергается, если на цифровомъ припрѣ убѣдимся въ значеніи различной величины множителя n для получаемого результата. Возьмемъ величины n данныя *Regnault* для комнатнаго воздуха 0,76 и 0,97, величины n даваемые гигиенистами 0,60 и 0,65 и прибавимъ сюда величину $n = 0,52$ данную *Macé de Lépinay* для психрометра-пращи (0,52 = 0,00069.760), покажемъ насколько измѣнится вычисленная величины влажности отъ принятія той или иной величины для n .

¹⁾ Flügge. Grundriss der Hygiene 1891 S. 90.

Rubner. Lehrbuch der Hygiene. 1892. 4 Aufl., S. 29.

— Ученіиъ гигиены. Пер. съ 5 изд. 1897, стр. 33.

Happe. Handbuch der Hygiene. 1899 S. 170.

Gärtner. Leitfaden der Hygiene. 1890 S. 7.

J. Arnould. Nouveaux éléments d'hygiène. 1895 p. 272.

Доброславинъ. Гигиена. 1889 т. I, стр. 211.

²⁾ Эрисманъ. Курсъ гигиены. 1887 т. I, стр. 79.

Emmerich und Trillich. Anleitung zu hygienischen Untersuchungen 1892 S. 83.

Praussnitz. Grundzüge der Hygiene. 1899 S. 83.

Скорцовъ. Планы и способы санитарныхъ изслѣдованій. 1889, стр. 158.

³⁾ Lehmann. Die Methoden der praktischen Hygiene. 1890 S. 136.

⁴⁾ Langlois. Fréres d'hygiène publique et privée. 1896, p. 104.

⁵⁾ Flügge. Руководство къ гигиеническимъ способамъ изслѣдованій. 1882.

При одной и той же температурѣ воздуха въ 20°С вычисленные цифры относительной влажности при разности температур сухого и влажного термометровъ въ 3°, 6°, 9°, и 10° и при различныхъ величинахъ множителя n будутъ:

Т А Б Л И Ц А 12.

Температура сухого термометра $t = 20^{\circ}\text{C}$.					
$t - t_1$	$n=0,97$	$n=0,76$	$n=0,65$	$n=0,60$	$n=0,52$
3°	66%	70%	72%	73%	74%
6°	35	42	46	47	51
9°	6	17	23	25	29
10°	—	9	15	18	23

Таблица 12 ясно доказываетъ, что употребленіе того или другого множителя n въ психометрической формулѣ вовсе не безразлично. Если можно допустить замѣну множителя 0,65 множителемъ 0,60, такъ какъ происходящія вслѣдствіе этого ошибки въ вычисленной относительной влажности не превышаютъ 1% при среднихъ степеняхъ влажности воздуха и только при низкихъ степеняхъ ея доходить до 3%, то не оправдывается примѣненіе $n = 0,60$ вмѣсто $n = 0,97$, такъ какъ таковая замѣна имѣетъ послѣдствіемъ ошибки, доходяща до 20%. Итакъ, неправильное или произвольное употребленіе множителя въ психометрической формулѣ можетъ влечь такіа грубыя ошибки, что примѣненіе психометра въ качествѣ измѣрителя влажности комнатнаго воздуха совсѣмъ теряетъ свое значеніе.

Не трудно опровергнуть и второе предположеніе, что гігiena, принимая множители $n = 0,60$ или 0,65, основывается на какихъ-либо изслѣдованіяхъ, опровергнувшихъ выводы *Regnault* о величинѣ

постоянной A для комнатнаго воздуха. Литература психометра такого предположенія вовсе не оправдывается, напротивъ, въ изслѣдованіяхъ *A. Vogel*¹⁾ *Laval*²⁾ и *Зворыкина* мы видимъ полное подтвержденіе выводовъ *Regnault*.

*Зворыкинъ*¹⁾ на основаніи своихъ наблюденій приходитъ къ выводу, что „если психометръ находится въ неподвижномъ воздухѣ, то величина A очень измѣнчива, именно отъ 0,0011 до 0,0015 и даже болѣе“.

*A. Vogel*²⁾ производилъ въ небольшой комнатѣ, размѣры которой не указываетъ, сравненіе психометра съ вѣсовымъ способомъ и изъ 75 наблюденій вывелъ величину A для термометровъ по Реамюра³⁾ равной 0,00156, что соответствуетъ 0,00125 для термометра *Celsius*⁴⁾.

*Laval*⁵⁾ сравнивалъ психометръ съ гигрометромъ *Alphan*⁶⁾ въ комнатѣ и получилъ при закрытыхъ окнахъ $A = 0,00127$, 0,00102 и 0,00121, а при открытыхъ окнахъ 0,00098.

Наконецъ и *August* указалъ, что для пользованія психометрическими таблицами въ комнатномъ воздухѣ необходимо сообразить психометру маятниковобразное движеніе, иначе получаютъ совершенно невѣрные результаты.

Такое состояніе вопроса о психометрѣ, отсутствіе экспериментальныхъ изслѣдованій со стороны гигиенистовъ и ошибки, происходящія отъ неправильнаго примѣненія психометрическихъ формулъ, казались мнѣ достаточнымъ основаніемъ, чтобы попытаться подойти къ его рѣшенію. Такъ какъ разногласіе физиковъ и метеорологовъ съ одной стороны и гигиенистовъ съ другой заключается въ цифровыхъ значеніяхъ величины A , то опредѣленіе величины A для комнатнаго воздуха я и поставилъ своей задачей.

Изслѣдованіе величины A для неподвижнаго психометра я считалъ удобнымъ соединить съ опредѣленіемъ этой же величины и для психометра снабженнаго вентиляторомъ, такъ какъ для обѣ-

1) Зворыкинъ. Опредѣленіе влажности воздуха. 1881. стр. 23.

2) A. Vogel. Experimentelle Beiträge zur Beurtheilung hygrometrischer Methoden. Abhandl. der Acad. München, t. 8. 1840, S. 267.

3) Laval. Vérification des lois de Dalton relatives à l'évaporation. Mem. de la soc. des sc. phys. et. nat. de Bordeaux. 1882 (2) V, p. 107.

них дѣлей пользовался однимъ и тѣмъ же приборомъ, то оставляя въ покоѣ вентиляторъ, то пуская его въ ходъ. Послѣ отмытки показаній сухого и влажнаго термометровъ приводился въ дѣйствіе вентиляторъ и отмѣчались вновь полученныя показанія термометровъ. Приборъ, надъ которымъ производились эти наблюденія, извѣстенъ подъ именемъ итальянскаго психрометра или психрометра системы *Cantoni*. Въ одной горизонтальной плоскости съ шариками обоихъ термометровъ находится вентиляторъ, состоящій изъ шести плоскихъ вертикальных лопатокъ, вращающихся на вертикальной оси помощью часового механизма, помѣщеннаго въ штативъ прибора. Термометры вѣснаго образца т. е. состояще изъ тонкой капиллярной трубки, зачпченной выѣстъ съ скалой изъ молочнаго стекла въ другую трубку большаго диаметра, нацѣленные сосуды съ большимъ поперечникомъ въ 10 мм. и меньшимъ въ 8 мм. и были раздѣлены на $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. Термометры были провѣрены въ физическомъ кабинетѣ *Вл. Ф. Лунина*, какъ относительно точки 0° , такъ и другихъ дѣлений скалы; поправки были выведены изъ сравненій съ нормальнымъ термометромъ № 7607, снабженнымъ таблицей поправокъ отъ *Physikalisch-technische Anstalt* въ *Scharlottenburg*¹⁾. Сосудъ влажнаго термометра обертывался согласно указаніямъ главной физической обсерваторіи и тѣмъ же бѣлосомъ (45×44 нитъ въ 1 кв. сант.), который применяется для этой цѣли на всѣхъ русскихъ метеорологическихъ станціяхъ.

Постоянная *A* для итальянскаго психрометра была опредѣлена *Angot*²⁾ въ 0,000780, *Зюрыкманъ*³⁾ же даетъ ей величину 0,000725. Послѣдній работалъ съ психрометромъ, имѣющимъ термометрическіе сосуды цилиндрической формы, *Angot* форму и размѣры своихъ термометровъ не описываетъ, но если бы это и было имъ сдѣлано, то тѣмъ не менѣе пользовалось той или другой величиной для нашего психрометра не представлялось возможнымъ, такъ какъ скорость движенія воздуха, доставляемая вентиляторомъ, обуславливается силой его пружины и въ разныхъ приборахъ можетъ быть различной. Поэтому нашъ итальянскій

психрометръ не могъ служить въ качествѣ контрольнаго прибора, пока не была опредѣлена для него величина *A*. Приборъ былъ помѣщенъ на столѣ въ среднѣй одной изъ комнатъ гигиеническаго института, выѣшней 300 куб. метровъ, на разстояніи 3 метровъ отъ окна. Къ стержню психрометра была укрѣплена каучуковая трубка, одинъ конецъ которой находился на разстояніи 8—10 сантиметровъ отъ сосудовъ термометровъ, другой же соединялся съ гигрометромъ *Crova*, помѣщеннымъ противъ другаго окна комнаты, и на разстояніи 5 метровъ отъ психрометра. Наблюдатель могъ сдѣлательно вслѣдовать воздуху, окружающій психрометръ, не вліяя своимъ присутствіемъ на его температуру и влажность. Отсчетъ термометровъ производился съ точностью до $\frac{1}{10}^{\circ}$, почему пользовался зрительной трубкой представлялось излишнимъ. Кратковременное приближеніе наблюдателя къ психрометру, причемъ отсчитать десятыхъ долей производился ранѣе отсчета цѣлыхъ градусовъ, не могло оказывать вліянія на показанія термометровъ. Наблюденія производились такъ. Послѣ отсчета показаній сухого и влажнаго термометровъ приводился въ движеніе вентиляторъ и одновременно, помощью каучуковой трубки, просасывался воздухъ чрезъ гигрометръ *Crova*. Другая труба нагнетала воздухъ въ сосудъ гигрометра, наполненный эфиромъ, и производила его испареніе и пониженіе температуры. Когда замѣчались первые слѣды росы, отмѣчалось показаніе термометра и пропусканіе воздуха чрезъ эфиръ прекращалось; производился только легкій надавливанія на грушу для равномернаго смѣшиванія эфира; когда роса почти исчезала, вновь отсчитывался термометръ. Наблюденіе повторялось, пока два или три раза подрядъ не получались совершенно одинаковыя показанія термометра съ разницей между температурой появленія и исчезанія росы не превосходящей 0,2°. Затѣмъ отмѣчались вновь показанія психрометра при продолжающемся дѣйствіи вентиляторъ, чѣмъ наблюденіе и заканчивалось. На полученіе точки росы по гигрометру *Crova* тратилось отъ 3 до 5 минутъ.

Точка росы есть та температура воздуха, при которой онъ приходитъ въ состояніе насиченія водянымъ паромъ какого либо давленія. Слѣдовательно давленіе водянаго пара при температурѣ

¹⁾ Angot. Sur le psychromètre. J. de Phys., 1881, X, p. 13.

²⁾ Зюрыкманъ. Опредѣленіе влажноты воздуха. 1881.

ТАБЛИЦА 13.

Сравнение психрометров с гигрометром Стова.

№№	Н	Психрометр неподвижный.				Психрометр с вентилятором.				Гигрометр Стова.	
		t	t ₁	t-t ₁	A	t	t ₂	t-t ₂	A ₁	Точка росы.	f
1	762,4	19,2	12,6	6,6	0,001173	19,3	10,9	8,4	0,000742	1,1	4,98
2	—	19,1	13,1	6,0	1361	19,2	11,0	8,2	700	1,3	5,05
3	762,5	16,3	10,1	6,2	1201	16,3	8,4	7,9	778	—3,4	3,55
4	—	16,2	10,3	5,9	1217	16,2	8,5	7,7	748	—2,2	3,90
5	757,9	16,6	10,1	6,5	1158	16,6	8,5	8,1	776	—3,5	3,51
6	—	16,4	10,1	6,3	1177	16,5	8,6	7,9	792	—3,2	3,61
7	753,3	14,4	8,7	5,7	1174	14,4	7,3	7,1	781	—3,7	3,46
8	—	14,4	8,7	5,7	1150	14,5	7,4	7,1	771	—3,3	3,53
9	—	14,4	8,8	5,6	1165	14,5	7,5	7,0	780	—3,1	3,63
10	741,0	14,9	9,9	5,0	1213	15,0	8,5	6,5	766	0,0	4,60
11	—	15,4	10,5	4,9	1210	15,4	9,2	6,2	773	1,5	5,12
12	737,8	18,1	12,2	5,9	1141	18,1	10,8	7,3	762	2,9	5,65
13	—	18,1	12,2	5,9	1101	18,2	11,0	7,2	744	3,3	5,31
14	744,0	17,9	12,0	5,9	1174	17,9	10,7	7,2	803	2,0	5,30
15	763,5	18,5	11,9	6,6	1208	18,5	10,0	8,5	759	—0,9	4,30
16	763,1	18,5	11,7	6,7	1152	18,5	10,1	8,4	759	—0,7	4,36
17	753,7	18,8	13,9	4,8	1169	18,8	12,7	6,1	729	7,2	7,60
18	758,5	21,2	16,3	4,9	1181	21,3	15,4	5,9	809	10,4	9,41
19	751,2	22,5	16,8	5,7	1350	22,5	14,9	7,6	729	8,8	8,46
20	748,9	23,0	17,4	5,6	1340	23,0	15,7	7,3	750	10,0	9,17
21	743,2	23,2	17,2	6,0	1301	23,2	15,7	7,5	800	9,4	8,81
22	—	23,3	17,0	6,3	1224	23,4	15,7	7,7	802	9,2	8,68
23	734,1	23,4	18,0	5,4	1340	23,4	16,5	6,9	781	11,4	10,05
24	735,6	23,0	18,0	5,0	1294	23,0	16,7	6,3	766	12,2	10,60
25	751,9	22,0	17,0	5,0	1293	22,0	15,7	6,3	786	10,6	9,54
26	741,7	23,0	18,1	4,9	1304	23,0	16,8	6,2	792	12,2	10,60
27	745,8	21,3	16,1	5,2	1359	21,3	14,5	6,8	779	8,6	8,35
28	—	21,3	15,8	5,5	1195	21,4	14,5	6,9	744	8,8	8,47
29	746,8	22,3	17,2	5,1	1331	22,4	15,8	6,6	777	10,6	9,54
30	748,0	23,1	16,7	6,4	1233	23,2	15,2	8,0	771	8,4	8,24
31	745,9	25,4	20,9	4,5	1391	25,4	19,7	5,7	790	16,2	13,71
Среднее 0,001234						Среднее 0,000771					

росы есть в то же время и абсолютная влажность воздуха. Из формулы $f = F_1 - A(t - t_1)H$ следует, что

$$A = \frac{F_1 - f}{(t - t_1)H}$$

где f — абсолютная влажность, F_1 — давление водяного пара при температур влажного термометра, $t - t_1$ — разность показаний сухого и влажного термометров, H — давление воздуха.

По этой формуле вычислены постоянные A и A_1 в таблице 13.

Постоянная величина A для неподвижного психрометра оказалась равной 0,001234, а для психрометра с вентилятором 0,000771.

Всякая величина выигрывает в своей достоверности, если определение ее ведется по различным способам, посему психрометры и гигрометр Стова сравнены были с вѣсовым способом и с гигрометром *Alluarda*.

Для определения содержания водяного пара в воздухе вѣсовым путем воздух просасывался помощью аспиратора через ряд U-образных трубок, наполненных мелкими кусками пемзы, смоченными крѣпкой сѣрной кислотой. Всаживающая трубка открывалась у среднего стержня психрометра около отверстія трубки, ведущей воздух в гигрометр Стова. Каждый раз просасывалось через поглощающія трубки 36 литров воздуха в течение 2 часовъ. В началѣ наблюдения, вь среднѣх промежутках около 15 минутъ и вь концѣ наблюдения производились отсчеты показаній психрометра неподвижнаго и сь вентиляторомъ, выѣстъ сь тѣмъ опредѣлялась абсолютная влажность по гигрометру Стова, отмѣчались также температура аспиратора и давление воздуха. Имѣлись такимъ образомъ сь одной стороны вѣсъ водяного пара вь 1 куб. метрѣ воздуха, выраженный вь граммахъ и опредѣленный вѣсовымъ способомъ, сь другой стороны 7 — 8 отдѣльных опредѣленій абсолютной влажности, полученныхъ гигрометромъ Стова, и столько же наблюдений по психрометрамъ. Изъ абсолютной влажности вычислялся вѣсъ водяного пара по формулѣ $p = \frac{1,06}{(1+at)}f$. Такихъ сравненій произведено было два.

	1 наблюдение.	2 наблюдение.
Абсолютная влажность по <i>Crova</i> .	5,76 ^{mm} .	5,02 ^{mm} .
Въсь водяного пара, вычисленный.	5,71 ^{gr} .	4,99 ^{gr} .
Въсь водяного пара, определенный взвешиванием.	5,75 ^{gr} .	4,93 ^{gr} .

Наблюдения эти показали полное согласие результатов, данных гигрометром *Crova* и въсовым способом.

Изъ сравнения психрометровъ съ въсовымъ способомъ величина *A* определялась:

Для неподвижнаго психрометра. 0,001185

Для психрометра съ вентиляторомъ. . . 0,000759

Въ третьемъ ряду определенныхъ величинъ *A* для психрометровъ контрольными приборомъ служили гигрометры *Alluard*.

Гигрометръ *Alluard* помещался рядомъ съ психрометромъ на столѣ и отсчетъ термометровъ обоихъ приборовъ производился издали помощью зрительной трубы.

ТАБЛИЦА 14.

Сравнение психрометровъ съ гигрометромъ *Alluard*'а

№№	Н	Психрометръ неподвижный.				Психрометръ съ вентиляторомъ.				Гигрометръ <i>Alluard</i> 'а.	
		t	t ₁	t-t ₁	A	t	t ₁	t-t ₁	A	Точка росы.	f
1	741,0	13,2	10,3	4,9	0,001215	15,3	9,0	6,3	0,000778	1,0 ^{gr}	4,94
2	—	15,2	10,3	4,9	195	15,3	9,0	6,3	763	1,2	5,01
3	—	15,4	10,5	4,9	190	15,4	9,2	6,2	766	1,6	5,15
4	—	15,5	10,5	5,0	166	15,5	9,2	6,3	762	1,6	5,15
5	737,3	18,1	12,2	5,9	165	18,1	10,8	7,3	777	2,6	5,63
6	—	18,1	12,2	5,9	150	18,1	10,8	7,3	763	2,8	5,61
7	—	18,1	12,2	5,9	110	18,2	11,0	7,2	768	3,2	5,77
8	744,0	17,9	12,0	5,9	174	17,9	10,7	7,2	790	2,2	5,38
		Среднее . . 0,001171				Среднее . . 0,000769					

Сопоставляя величины *A*, полученные разными способами, черезъ сравнение психрометровъ съ гигрометрами *Crova* и *Alluard* и съ въсовымъ способомъ, имѣемъ:

	А для психрометра неподвижнаго.	А для психрометра съ вентиляторомъ.
Гигрометръ <i>Crova</i> (31 набл.). . .	0,001234	0,000771
Въсовой способъ (2 набл.). . .	0,001185	0,000759
Гигрометръ <i>Alluard</i> (8 набл.). . .	0,001171	0,000769
Среднее изъ 41 наблюдений. . .	0,001219	0,000770

Полученная величина *A* для неподвижнаго психрометра совершенно совпадаетъ съ результатами работъ *Regnault* надъ психрометромъ въ комнатномъ воздухѣ. По нашимъ наблюдениямъ $A=0,001219$, *Regnault* же далъ 0,00128 для комнаты въ 100 куб. метровъ и 0,00100 для залы въ 1000 куб. метровъ.

Не только средняя величина 0,001219, но и отдѣльныя наблюдения, изъ которыхъ она выведена, не оправдываютъ прихвѣния для комнатнаго воздуха формулы, назначенной для свободнаго воздуха. Ни разу для комнаты въ 300 куб. м., въ которой произведены всѣ эти наблюдения, *A* не уменьшалась не только до 0,00080, но и до величины, данной *Regnault* для комнаты въ 1000 куб. метровъ.

Разсматривая въ таблицѣ 13 величины *A* для неподвижнаго психрометра, замѣчаемъ, что величины большія средней и меньшія ея не разбросаны равномерно,—какъ это обыкновенно бываетъ, когда различіе полученныхъ величинъ обуславливается неизбежными случайными ошибками,—а стремятся къ замѣтному раздѣленію на двѣ группы: въ первой половинѣ преобладаютъ величины меньшія средней, во второй—большія. Вычисляя среднюю для первой группы (18 набл.) получимъ $A=0,001184$, для второй же (13 набл.) $A=0,001304$. Такая группировка наблюдений даетъ поводъ думать, что не всѣ наблюдения произведены были

при одинаковых условиях. Приходится предполагать, что в последних 13 наблюдениях были какие-то особенные причины, повлиявшие на увеличение постоянной A . Дело разъясняется, если обратиться к времени года, когда наблюдения производились. Первые 18 наблюдений из таблицы 13, равно как сравнение психрометра с вѣсовым способом и с психрометром *Alluard*, сделаны были в конце марта и начале апреля, т. е. во время года для Москвы еще сравнительно холодное, последние же 13 наблюдений в конце апреля и в мае, когда климатические условия внешнего воздуха уже совершенно изменились. Холодное время года создает совершенно иные условия для обращения воздуха в комнатах сравнительно с летом. Большая разница температур внешнего и внутреннего воздуха вызывает с одной стороны сильный обмен между воздухом, находящимся внутри и вне жилого помещения, с другой стороны усиливаются движения и собственно комнатного воздуха от охлаждения наружными стенами и окнами, равно как от нагревания отопительными приборами. Летом естественная вентиляция жилищ сильно понижается и воздух в них находится в большем равновесии, чем зимой. Меньшая же скорость движения воздуха отражается на психрометре, уменьшая испарение с влажного термометра и увеличивая постоянную A в психрометрической формуле.

Следовательно, величина A для психрометра, помещенного в комнатном воздухе, не остается постоянной, а испытывает колебания в зависимости от разности температур наружного и комнатного воздуха. В том же смысле, как температурная разность, оказывает влияние и разность помещений. В большой зал температура всегда менее равномерна, чем в маленькой комнате, что вызывает большее нарушение равновесия и более сильные токи воздуха.

Для выяснения влияния на постоянную A обширных помещений неподвижный психрометр сравнивался с итальянским психрометром в студенческой лаборатории гигиенического института, имѣющей объем в 1093 куб. метра. Предыдущими наблюдениями постоянная A , входящая в формулу для итальянского пси-

ТАБЛИЦА 15.

Сравнение неподвижного психрометра с итальянским психрометром.

Время наблюдений	Психрометр итальянский					Психрометр неподвижный.				
	H	t	t_1	$t-t_1$	f	t	t_2	$t-t_2$	A	
а) В комнате в 300 куб. метров.										
16/х	740,2	16,5	10,9	5,4	6,53	16,5	12,1	4,4	0,001284	
24/х	763,1	15,3	8,6	6,7	4,41	15,3	10,1	5,2	1215	
17/х	751,0	16,9	10,2	6,7	5,41	16,9	11,8	5,1	1282	
18/х	754,3	16,6	9,9	6,7	5,22	16,5	11,3	5,2	1216	
19/х	762,7	16,7	10,6	6,1	6,00	16,7	11,8	4,9	1171	
20/х	761,0	16,4	10,3	6,1	5,82	16,3	11,5	4,8	1193	
21/х	757,4	16,5	9,3	7,2	4,55	16,5	10,3	6,2	1022	
27/х	749,2	17,6	9,5	8,1	4,20	17,5	10,7	6,8	1060	
—	—	17,9	9,7	8,2	4,26	17,8	11,4	6,4	1137	
28/х	758,0	17,1	8,5	8,6	4,29	17,0	9,8	7,2	1084	
Среднее									0,001166	
б) В комнате в 1093 куб. метра.										
22/х	751,0	16,1	9,5	6,6	5,05	16,1	10,4	5,7	0,001017	
—	—	15,9	9,5	6,4	5,16	15,9	10,3	5,6	995	
23/х	757,4	15,2	7,7	7,5	3,49	15,3	8,8	6,5	952	
—	—	15,3	7,8	7,5	3,64	15,3	8,7	6,6	1010	
24/х	759,0	15,2	8,1	7,1	3,92	15,0	9,8	5,7	1116	
—	—	15,3	8,3	7,0	4,09	15,0	9,4	5,6	1110	
25/х	748,9	14,2	7,6	6,6	3,99	14,2	8,8	5,4	1105	
—	—	14,3	7,6	6,7	3,98	14,2	8,7	5,5	1085	
27/х	749,2	20,8	10,6	10,2	3,72	20,6	11,6	9,0	960	
29/х	767,4	18,2	8,4	9,8	2,45	18,2	9,5	8,7	962	
Среднее									0,001031	

хрометра, была определена, что и дало возможность пользоваться имъ въ видѣ контрольнаго прибора. Наблюдения производились съ 20 по 29 октября, когда температура наружнаго воздуха понижалась до -10° и при начавшемся отопленіи. Почти въ это же время наблюдались психрометръ и въ комнатѣ въ 300 куб. м. Въ обоихъ помѣщеніяхъ психрометръ помѣщался по срединѣ комнаты на столѣ. Изъ таблицы 15, заключающей эти наблюденія видно, что величина A для неподвижнаго психрометра оказалась:

Въ комнатѣ въ 1033 куб. м. $A = 0,001031$.

" " " 300 " " $A = 0,001166$,

т. е. получались результаты, согласные и съ весенними наблюденіями и съ изслѣдованіями *Regnault*. Наблюденій было сдѣлано десять, число, по *Зорыкину*, вполне достаточное для опредѣленія A съ точностью не меньшей $\pm 0,00001$, если разность между термометрами не менѣе 5° .

Чтобы выяснитъ наконецъ вліяніе на психрометръ тѣхъ слабыхъ токовъ воздуха, которые хорошо ощущаются нашимъ тѣломъ, замѣчаются по движенію дыма, пламени, легкихъ предметовъ, но недостаточны сильны, чтобы быть измѣрены помощью анемометра, психрометръ помѣщался близъ оконъ, дверей, тамъ вообще, гдѣ такіе токи воздуха ощущались. Величина A полученная для неподвижнаго психрометра въ этихъ случаяхъ оказалась въ среднемъ

0,00097.

Въ таблицѣ 16 приведены еще два ряда наблюденій надъ неподвижнымъ психрометромъ въ той же комнатѣ въ 300 куб. метровъ, но въ разное время года. Наблюденія эти вновь подтверждаютъ зависимость постоянной A отъ температурной разности вѣшняго и внутренняго воздуха. Въ сентябрѣ постоянная A была 0,001275, а въ декабрѣ 0,001061.

ТАБЛИЦА 16.

Сравненіе неподвижнаго психрометра съ итальянскимъ.

(h и $\%$ получены изъ показаній итальянскаго психрометра).

С е н т я б р ь .							Н о я б р ь — Д е к а б р ь .						
Число	H	t	t_a	$\frac{t}{t_a}$	f	$\%$	Число	H	t	t_a	$\frac{t}{t_a}$	f	$\%$
6 745,5	15,7	11,4	3,8	6,79	51,4	0,001271	28 759,6	17,7	9,3	8,4	2,12	13,8	0,001039
9 749,5	15,4	12,4	3,0	7,87	60,4	1274	29 758,7	18,2	9,7	8,5	2,11	13,8	1067
—	15,7	12,6	3,1	8,26	62,6	1129	2 758,6	30,2	11,4	8,8	2,53	14,4	1126
10 746,4	17,0	14,2	2,8	9,13	63,3	1402	3 759,3	20,9	12,0	8,9	3,10	16,5	1089
—	17,0	14,3	2,7	9,13	63,3	1460	4 762,6	20,9	11,7	9,2	3,07	16,6	1025
11 740,0	18,5	15,6	2,9	10,51	65,8	1253	5 762,4	19,8	11,2	8,6	2,76	15,9	1087
—	18,7	15,6	2,8	10,96	67,8	1202	8 748,1	19,5	10,5	9,0	2,64	18,4	1014
12 747,9	17,8	14,8	3,4	9,06	59,7	1247	7 757,3	16,2	8,1	8,1	1,64	11,9	1048
13 750,4	16,9	13,6	3,3	8,38	58,5	1304	10 758,5	15,1	7,2	7,9	1,41	10,9	1033
15 751,9	17,6	13,8	3,3	7,47	49,8	1299	11 738,0	17,3	9,5	7,8	2,61	17,5	1086
Среднее 0,001275							Среднее 0,001061						

Группируя всѣ наблюденія надъ величиной A для неподвижнаго психрометра, получаемъ слѣдующія данныя:

Комната въ 300 куб. метровъ. Мартъ. $A = 0,001184$

Май 0,001304

Сентябрь 0,001275

Октябрь 0,001166

Декабрь 0,001061

Комната въ 1039 куб. метра. Октябрь 0,001031

Итакъ, никогда въ комнатномъ воздухѣ постоянная величина A для неподвижнаго психрометра не выходитъ изъ предѣловъ, установленныхъ *Regnault*, и принятіе множителя $n = 0,65$, что соответствуетъ $A = 0,00085$, является неправильнымъ и произвольнымъ.

Объяснение болѣе или менѣе вѣроятное величины множителя, принятаго гитиеной для психометрической формулы, по видимому, можно видѣть, во первыхъ, въ неправильномъ толкованіи изслѣдованій *Regnault*. Послѣдній для величины A въ большой комнатѣ съ открытыми окнами даетъ 0,00077, для атмосфернаго воздуха одинъ разъ 0,00074, другой разъ 0,00080. Сравнивая первую и третью величины, можно легко дойти до допущенія, что величина A не измѣняется существенно, производится-ли изслѣдованіе влажности въ комнатѣ или въ свободномъ воздухѣ. Величина 0,00077 однако представится сомнѣніемъ въ мнозѣ освѣщеніи, если познакомиться съ оригинальной работой *Regnault*. Величину эту онъ получалъ въ комнатѣ съ открытыми противоположными окнами, такъ что въ комнатѣ былъ довольно сильный ветеръ. „Les expériences ont été faites dans le même amphithéâtre, mais après avoir ouvert deux fenêtres opposées, dans l'axe desquelles se trouvait placé le psychromètre. L'instrument se trouvait ainsi plongé dans un courant d'air assez vif“¹⁾. Оказывается, что психрометръ, хотъ и находился въ комнатѣ, но былъ поставленъ со стороны движенія воздуха въ исключительныя условія, соотвѣственно чему измѣнилась и величина A .

Другое объясненіе и, можетъ быть, болѣе вѣроятное заключается въ томъ, что гитиена, пользуясь психрометромъ *Augusta*, взяла и постоянную величину, данную этимъ авторомъ для его прибора. *Uffelmann*²⁾, говоря о психрометрѣ, представляетъ сокращенную табличку для вычисленія влажности, взятую изъ психометрическихъ таблицъ *Augusta*. Вычисляя по этой табличкѣ величину n , входящую въ психометрическую формулу, находимъ ее равной 0,65. Слѣдовательно, самъ *August* принималъ $n=0,65$, чему соотвѣствуетъ $A=0,00085$. Припоминая однако сказанное нами ранѣе, что *August* нѣсколько разъ измѣнялъ численное значеніе постоянной величины, входящей въ психометрическую формулу, чтобы получить болѣе близкое совпаденіе между содержаніемъ водяного пара въ воздухѣ и показаніями своего прибора, и что въ

последнемъ изданіи своихъ таблицъ въ 1848 году *August* принимаетъ $A=0,000762$, неминуемо приходимъ къ заключенію, что гитиена приняла то численное значеніе постоянной, которое самъ *August* отвергъ, какъ неправильное, когда познакомился съ новыми таблицами давленія водяного пара, составленными *Regnault* въ 1845 году. Въ самомъ дѣлѣ, таблица *Augusta*, которую въ извлеченіи приводитъ *Uffelmann*, даетъ невѣрные величины содержанія водяного пара въ граммахъ на 1 куб. метръ воздуха, въ чемъ легко убѣдиться, если сравнить ее съ таковою же таблицей *Emmerich* и *Trillich*³⁾, вычисленной по даннымъ *Regnault*.

Обращаясь теперь къ рѣшенію вопроса, можетъ ли неподвижный психрометръ считаться достаточно точнымъ инструментомъ для опредѣленія влажности въ комнатномъ воздухѣ, когда величина A , служащая для вычисленія влажности, подвержена колебаніямъ въ зависимости отъ размѣра помещенія и температурной разности внѣшняго и внутренняго воздуха, прежде всего приходится остановиться на томъ обстоятельстве, что влажность нашихъ жилищъ дѣлается предметомъ изслѣдованій главнымъ образомъ въ холодное время года. Въ это же время обнаруживается значеніе различныхъ способовъ отопленія и физическихъ свойствъ стѣнъ и комнатный воздухъ по своей влажности становится отдаленнымъ отъ атмосфернаго, тогда какъ лѣтомъ тотъ и другой имѣютъ приблизительно одну и ту же стѣпень влажности. Это уже сужаетъ предѣлы колебаній постоянной A и позволяетъ остановиться на тѣхъ величинахъ ея, которая въ холодное время года наблюдается. Если прибавить къ этому, что только меньшее число жилищъ помѣщеній приближается по своимъ размѣрамъ къ 1000 куб. метрамъ, въ большинствѣ же случаевъ приходится имѣть дѣло съ комнатами меньшаго размѣра, то выборъ подходящей величины A уже не представитъ затрудненій.

Я полагаю, что принятіе для неподвижнаго психрометра, находящагося въ комнатномъ воздухѣ, величины $A=0,0011$ —средняя величина изъ нашихъ наблюденій надъ психрометромъ въ холодное время года—позволитъ пользоваться этимъ приборомъ безъ боль-

¹⁾ Regnault. Etudes sur l'hygrométrie. Ann. de Ch. et de Phys. 1863, t. 37.

²⁾ Uffelmann. Handbuch der Hygiene. 1889, S. 62.

³⁾ Emmerich und Trillich. Op. c. S. 33.

ших погрешностей в результатах. Психрометр всегда удастся повысить так, чтобы он не подвергался движению воздуха, ощутимому для нашего тела, и который, как мы видели, производил понижение A до 0,0010, повышение же величины A до 0,0012 наблюдается только в теплое время года и может быть следовательно предусмотрено. Надо иметь кроме того в виду, что правильный выбор постоянного A имеет большое значение при малых степенях относительной влажности воздуха, по мере же увеличения влажности неправильное приращение величины A все менее и менее отражается на результатах. Так при 20° температуры воздуха и разности сухого и влажного термометров в 9° мы имеем относительную влажность 13%, если $A=0,00110$, и 25%, если $A=0,00080$, при разности же термометров в 3° и при тех же величинах A получаем 69% и 73%. В теплое время года влажность воздуха даже в очень сухих помещениях, имевших зимой 15%—20%, повышается до 60%, 65%, почему уменьшаются и ошибки от неправильного приращения A .

Остается определить размах погрешностей, получающихся от применения 0,0011 вместо 0,0010 и 0,0012. Происходящие вследствие этого изменения относительной влажности представлены в следующей таблице.

ТАБЛИЦА 17.

Температура воздуха = 20° C.			
A.	Относительная влажность при температур влажного термометра.		
	12,4°	15,1°	17,0°
0,0010	28%	52%	76%
0,0011	25	50	75
0,0012	22	48	74

Ошибки $\pm 3\%$ при 25% влажности и $\pm 2\%$ при 50% допустимы и доказывают полную применимость неподвижного психрометра для определения влажности воздуха в жилых помещениях, так как не большей точностью располагают и метеорологи, пользующиеся психрометрами без вентиляционных приспособлений.

Формула для вычисления влажности по показаниям неподвижного психрометра, приняная $n=0,0011.755=0,83$, представится в следующем виде:

$$f = F_1 - 0,83(t - t_1)$$

для термометров *Celsius'a* и

$$f = F_1 - (t - t_1)$$

для термометров по *Reaumur'у*.

Остановиться на различии постоянной в психрометрической формуле для термометров по C и по R приходится потому, что в повседневном обиходе у нас применяется термометр R и термометрами по R снабжены употребительные стальные психрометры. На двух из таких приборов (С. Пб. Мет. Зав. и Пивае), имеющих готовую таблицу для получения относительной влажности из показаний сухого и влажного термометров, мы пришлось убедиться, что составители таблицы такого различия не делали. Они вычислили по формуле $f = F_1 - 0,65(t - t_1)$ и не обратили внимания, что множитель 0,65 дан для градусов C . Происходящая от этого ошибка в вычисленной влажности равносильна той, которая получится, если взять для градусов C множитель 0,52 вместо 0,65. Следовательно, когда табличка показывается 30%, то действительное содержание влажности равняется 24% при множителе 0,65 и 13% когда множитель равен 0,83. Впрочем, такая же ошибка была сделана и более компетентным лицом, чем строители приборов, именно физиком *Вольнером*, как то указывается *Зоргиниз*; *Вольнер* приводит ряд численных значений постоянной R и не обращает внимания, что одни даны для термометров R , другие для C . Так как градус R

ТАБЛИЦА 19.

Таблица для вычисления влажности по показаниям сухого и влажного термометров по R.

$$t = F_1 - (t - t_0).$$

Сухой термометр R.	ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ.									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
10°	4,4*	5,0*	5,7*	6,3*	7,0*	7,6*	8,2*	8,8*	9,4*	10*
11	5,0	5,7	6,4	7,1	7,8	8,5	9,1	9,8	10,4	11
12	5,7	6,4	7,2	7,9	8,7	9,4	10,1	10,7	11,4	12
13	6,4	7,2	8,0	8,8	9,5	10,2	10,9	11,6	12,3	13
14	7,0	7,9	8,7	9,5	10,3	11,1	11,9	12,6	13,3	14
15	7,7	8,6	9,5	10,3	11,2	12,0	12,8	13,5	14,3	15
16	8,3	9,3	10,2	11,2	12,0	12,8	13,7	14,5	15,2	16
17	9,0	10,0	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,4	16,2	17
18	9,6	10,7	11,7	12,7	13,7	14,6	15,5	16,4	17,2	18
19	10,2	11,3	12,4	13,5	14,2	15,4	16,4	17,3	18,2	19
20	10,8	12,0	13,2	14,2	15,3	16,3	17,3	18,2	19,1	20
ВЛАЖНЫЙ ТЕРМОМЕТР.										

Психрометр с вентилатором (итальянский). Постоянная A для психрометра с вентилатором, как видно из таблицы 13, определена по сравнению с гигрометром *Crova* равной 0,000771 с втроятную погрешностью ¹⁾ среднего результата $\pm 0,000003$ и отдаленного наблюдения $\pm 0,000014$. Средняя величина A, определенная из 42 сравнений с гигрометрами *Crova* и *Alluard* и с вёсовым способом, оказалась 0,00077.

Величина эта подходит к постоянной данной *Angot* ²⁾ для этого прибора 0,00078, но отличается от 0,000725, определенной *Звоориким* ³⁾. Различие объясняется формой и размерами термометрических сосудов и не одинаковой силой пружины вентилатора. Итальянский психрометр у *Звоорикина* имѣть термометрические сосуды цилиндрической формы с поперечникомъ въ 5,7 мм и длиной 27 мм, наши же термометрические сосуды были яйцевидной формы 8 мм въ меньшемъ поперечникѣ и 10 мм въ большемъ. Зависимость между размерами и формой термометрическихъ сосудов и величиной A *Звоорикина* объяснить такъ: ⁴⁾ „Паръ, поднимающийся съ поверхности смоченнаго термометра, дѣлаетъ прилегающій воздушный слой нѣкоторой конечной толщины влажнѣе остальной массы воздуха; толщина этого болѣе влажнаго слоя бываетъ, конечно, меньше при болѣе сильномъ вѣтрѣ и, по всей вѣроятности, одинакова для разныхъ термометровъ при одной и той же скорости вѣтра. Если же взять слой воздуха опредѣленной конечной толщины (напр. 1 мм), прилегающій къ термометрамъ разной величины или формы, и вычислить какой объемъ (напр. сколько куб. миллиметровъ) изъ этого слоя приходится на единицу поверхности (напр. на квадрат. мм.) термометрическаго сосуда, то найденныя величины будутъ вообще различны“. Въ термометрахъ *Звоорикина* на 1 мм. поверхности большаго термометра приходилось 1,18 куб. мм., а малаго термометра 1,33 куб.

¹⁾ О вычислении погрешностей наблюдений см.:

Холмевъ, *Курсъ физики*. 1897, т. I, стр. 244.

Vielle. *Cours de Physique*. 1893, т. I, p. 4.

Gehard et Chancel. *Précis d'analyse chimique quantitative*. 1859, p. 661.

²⁾ Angot. *Sur le psychromètre*. J. de Phys., 1881, X, p. 13.

³⁾ *Звоорикинъ*. *Опредѣленіе влажности*. 1881, стр. 11.

⁴⁾ Ibidem, стр. 29.

мм. На поверхности того термометра, для которого найденная величина больше, испарение должно происходить быстрее, иначе прилегающий к нему воздух будет менее влажен, чем воздух другого; следовательно для первого $t - t_1$ должна быть больше, а A меньше. С уменьшением толщины этого слоя, вследствие увеличения скорости вѣтра, испарения нами величины будут для разных термометров различны все меньше и меньше, следовательно и $t - t_1$ и A будут дѣлаться все больше и больше одинаковыми¹⁾. Если, пользуясь указаниями Зворыкина, вычислить какой объем слоя воздуха толщиной въ 1 мм. придется на 1 кв. мм. его термометра и нашего, причем для упрощения вычислений будем считать послѣдній сферическимъ съ диаметромъ въ 9 мм., то для термометра Зворыкина получится 1,17 куб. мм., а для нашего 1,24 куб. мм. на единицу поверхности. Поэтому для нашего психрометра величина A должна быть меньше, а если въ дѣйствительности она найдена большей, чѣмъ у Зворыкина, то вследствие меньшей силы пружины вентилатора. Это даетъ намъ наглядное доказательство, что величина A не можетъ быть избрана а priori, а для каждого психрометра должна опредѣляться особо.

Приходится отмѣтить кромѣ того, что и въ одномъ и томъ же приборѣ вентилаторъ даетъ скорость вѣтра не постоянно одинаковую, а зависящую въ зависимости отъ продолжительности дѣйствія пружины. Когда пружина заведена, скорость вѣтра получается наибольшая, но уже черезъ нѣсколько минутъ ослабѣваетъ пружина и уменьшается скорость вѣтра, что отражается на психрометрической разности. Если послѣ 10-минутнаго дѣйствія вентилатора отмѣтить температуру влажнаго термометра, завести пружину вентилатора и сдѣлать отмѣтку вновь, то приходится убѣждаться, что температура влажнаго термометра понижается до 0,1°, даже 0,3°. Такое измѣненіе термометрической разности влечетъ измѣненіе и постоянной A , какъ можно видѣть изъ слѣдующаго примѣра.

Если $t = 16,6^\circ$, $t_1 = 8,5^\circ$ и $t - t_1 = 8,1^\circ$, то

$$f = 3,58 \text{ мм и относ. влажность} = 25\%,$$

если же психрометрическая разность уменьшается на $0,2^\circ$, т. е. $t_1 = 8,7^\circ$, а $t - t_1 = 7,9^\circ$, то

$$f = 3,81 \text{ мм и относ. влажность} = 27\%.$$

Если въ условіяхъ перваго примѣра мы изъ показаній психрометра опредѣляемъ постоянную A , получивъ помощью контрольнаго прибора, напр. сгустительнаго гигрометра, $f = 3,58$, тогда $A = 0,00077$. При уменьшеніи психрометрической разности на $0,2^\circ$, т. е. при $t - t_1 = 7,9^\circ$, и при прежнихъ температурѣ воздуха и абсолютной влажности $A = 0,00081$, т. е. измѣнится на $+0,00004$.

Въ ту же сторону, какъ и ослабленіе пружины вентилатора, влѣяетъ и частичное высыханіе батиста, покрывающаго шарикъ влажнаго термометра. Батистъ въ комнатномъ воздухѣ подвергается высыханію гораздо скорѣе, чѣмъ въ атмосферномъ воздухѣ, и приблизительно чрезъ каждыя двѣ недѣли долженъ быть замѣняемый новымъ, иначе подъ вліяніемъ пыли и загрязненія онъ начинаетъ высыхать и меньше впитать въ воду, чѣмъ въ свѣжемъ состояніи, вследствие чего испаряющая поверхность шарика термометра уменьшается. Уже небольшое, желтое, высушенное ватнышко на батистѣ въ поперечникѣ 2—3 мм. измѣняетъ психрометрическую разность на $0,1^\circ$, даже $0,2^\circ$.

Разностъ термометровъ въ психрометрѣ съ вентилаторомъ всегда бываетъ больше, чѣмъ при неподвижномъ психрометрѣ, посему при первомъ должно сильнѣе обнаружиться вліяніе на постоянную A и на вычисляемую влажность неправильнаго отсчета влажнаго термометра, зависающаго оттого, что столбъ ртути въ немъ находится при высшей температурѣ, чѣмъ его сосудъ, вследствие чего, показаніе термометра выше истиннаго. Этотъ источникъ ошибокъ при пользованіи психрометромъ указавъ Э. Е. Лейстомъ¹⁾, давшимъ и формулу для приведенія показаній влажнаго термометра къ истинной температурѣ его сосуда:

$$\theta = 0,000446(n + t)(t - \tau),$$

¹⁾ Лейстъ. О вліяніи температуры столба ртути. Зап. Импер. Ак. Н. 1891.

где n — длина столба ртути от термометрического сосуда до нулевой черты, выраженная в градусах, t — отсчет термометра, τ — средняя температура столба и равняется $\frac{T+t}{2}$. В наших термометрах $n=20^\circ$.

Если $T=23,2^\circ$, $t=15,2^\circ$, то $\tau=19,2^\circ$ и поправка

$$\theta=0,000446 \cdot 35. - 4 = -0,06^\circ.$$

Поправкой этой и счет возможным пренебречь, так как она меньше $0,1^\circ$ и потому, что введение ее внесло бы усложнения и при вычислении A и при пользовании психрометром для определения влажности. Кроме того в комнатном воздухе температура едва ли достигает такой величины, чтобы поправка эта доходила до $0,1^\circ$. Другое дело, вкратно, представлено в жарких и сухих странах при определении влажности наружного воздуха. Пренебрежением этой именно поправки может быть объясняется ненадежность показаний психрометра, как то признает *Angot*, при психрометрической разности превосходящей 12° .

Вкратно погрешность постоянной A для итальянского психрометра, выведенная из 31 сравнения его с гигрометром *Crova*, равняется, как сказано выше, $\pm 0,000003$, следовательно, если мы пользуемся психрометром для определения влажности, то вкратная ошибка результата равняется той, которая произойдет от замены $0,00077$ величиной большей или меньшей ее на $0,000003$.

Если, положим, при $t=18,5^\circ$ и $t_1=10,0^\circ$ мы определяли $f=4,18$ и $\% = 26,3$, то при $A=0,000773$ f будет $4,15$, а $\% = 26,2$, т.-е. вкратная ошибка вычисленной абсолютной влажности $\pm 0,03$ мм. и относительной влажности $\pm 0,1\%$. Такая погрешность относится к среднему результату, полученному приблизительно из 30 наблюдений. Погрешность единичного наблюдения равна $\pm 0,000014$. Если постоянная A не верна на $\pm 0,000014$ или $1,8\%$ своей величины, то в вышеприведенном примере погрешность абсолютной влажности будет $\pm 0,08$ мм. и относительной влажности $\pm 1\%$.

Так как источники ошибок, кроющиеся в силе пружины вентилятора и в высыхании батиста, легко могут быть при внимании устранены, то итальянский психрометр представляет весьма точный инструмент для определения влажности в комнатном воздухе и для проверки других приборов, раз постоянная величина его была определена. С той же степенью точности может служить он и для совершенно спокойного наружного воздуха. При этом надежность его меньше. В этом случае психрометр будет находиться в струе воздуха различной скорости, а не той, при которой определена его постоянная величина.

Этот итальянский психрометр и служить нам, наравне с гигрометром *Crova*, проверочным прибором при изучении других инструментов, применимых для определения влажности воздуха.

Аспирационный психрометр *Assmann's* есть водозмещение психрометра с вентилятором. Каждый термометрический сосуд заключен в открытую снизу трубку с двойными стёклами, вентилятор же с часовым механизмом, соединяющийся с этими трубками, помещен в цилиндрической коробке наверху прибора. Воздух просасывается мимо термометров в восходящем направлении со скоростью 2,4 метра в секунду. Трубки отполированы снаружи и имеют двойные стёкла, между которыми тоже просасывается воздух. Термометрические сосуды таким образом защищены от нагревания лучами солнца и от лучеиспускания окружающих предметов. *Sprung* определял для психрометра *Assmann's* постоянную равной $0,000662$, *Edelmann* после тщательного изучения прибора признает его превосходящим и наилучшим из всех существующих психрометров. Однако и у психрометра *Assmann's* проверка постоянной необходима.

Более подробное описание и рисунок прибора можно видеть в *Meteorologien und Klimatologie Lachnova*, 2 изд., у *Gärtner's* (*Leitfaden der Hygiene*) и в энциклопедическом словаре *Брокгауза и Ефрона* т. VIII, стр. 629.

Пращевой психрометръ. Если термометръ привязать къ шнурку и привести въ быстрое круговое движеніе въ горизонтальной плоскости, то чрезъ 2—3 минуты онъ покажетъ температуру окружающаго воздуха. Обернувъ шарикъ термометра кисеею, смоченной водою, и повторивъ вращеніе термометра, получимъ температуру влажнаго термометра. Изъ разности показаній термометровъ опредѣляется влажность воздуха. Такова простѣйшая форма психрометра-пращи, предложеннаго *Walferdin's* ¹⁾. Если къ шнурку прикрѣпить два термометра, сухой и влажный, то показанія обоихъ доходятъ до постоянной величины одновременно. Дальнѣйшее усовершенствованіе психрометра-пращи заключалось въ томъ, что оба термометра верхними концами прикрѣплялись подъ угломъ къ вертикальному стержню, подставка котораго позволяла ему вращаться по оси. Вращеніе производилось или шнуркомъ, какъ это дѣлается при запусканіи волчка, или помощью шестерни и зубчатого колеса. Последнее видоизмѣненіе прибора (*Срезневскій*) дѣлаетъ его очень удобнымъ и портативнымъ.

Вращеніемъ термометровъ достигается та же цѣль, какъ и при вращеніи вентилятора. Сухой термометръ, приходя въ соприкосновеніе съ постоянно измѣняющимися частицами воздуха, быстрое и вѣрное указываетъ его температуру, влажный же термометръ, если вращеніе равнообразно, подвергается вліянію вѣтра постоянно одинаковой скорости—условіе, необходимое для правильнаго пользования психрометромъ. Главнѣйшій упрекъ, дѣлаемый психрометру-пращѣ, заключается въ томъ, что термометръ показываетъ температуру выше истинной, вслѣдствіе близости наблюдателя. Упрекъ вполнѣ справедливый, но надо имѣть въ виду, что близость наблюдателя отражается въ равной мѣрѣ на обоихъ термометрахъ, почему ошибки въ опредѣленіи влажности почти не получается и кромѣ того ошибка въ температурахъ на 0,1° или 0,2° вполнѣ окупается другими достоинствами прибора. Съ другой стороны необходимо отмѣтить, что и при употребленіи психрометра съ вентиляторомъ не можетъ быть увѣренности, что получаемая температура не выше истинной на 0,1° или 0,2°. Та комната

¹⁾ Regnault. Etudes sur l'hygrométrie. An. de Ch. et de Phys. 1853, t. 37, p. 383.

гигиеническаго института, въ которой производились описанныя выше наблюденія надъ итальянскимъ психрометромъ, имѣетъ водное отопленіе и нагревательная батарея помѣщается подъ окномъ, на 3 метра разстоянія отъ котораго былъ поставленъ психрометръ. Хотя психрометръ былъ защищенъ отъ прямого лучеиспусканія батареи, но каждый разъ, когда батарея была нагрѣта, термометръ отъ дѣйствія вентилятора повышался до 0,2°. Явленіе это повторилось настолько правильно, что осенью, когда отопленіе производилось только изрѣдка, всегда можно было по повышенію термометра заключать безошибочно, что въ этотъ день батарея была нагрѣта. Очевидно, что вентиляторъ, не смотря на свою малую величину, приводитъ въ движеніе значительныя массы воздуха, по крайней мѣрѣ на пространствѣ, имѣющемъ радиусъ въ 3 метра.

Dojère (1855)) сравнивалъ психрометру-пращу при различныхъ условіяхъ атмосферы съ показаніями стигматическаго гигрометра и въсового способа и вывелъ его постоянную равной 0.000687.

Macé de Lépinay (1881) ²⁾, основываясь на изслѣдованіяхъ *Regnault*, предположилъ, что, употребивъ достаточную скорость вѣтра, можно достигнуть того, что величина A не будетъ чувствительно измѣняться, т.-е. сдѣлается независимой отъ скорости вращенія психрометра-пращи и, слѣдовательно, отъ скорости вѣтра. Сравненія психрометра-пращи съ гигрометромъ *Alluard'a* въ комнатѣ и въ атмосферномъ воздухѣ подтвердили его предположенія и показали, что при скорости вращенія отъ 4,13 до 10 метровъ въ секунду величина A не измѣняется и остается равной 0,000693.

Denecke (1886) ³⁾ производилъ опредѣленіе влажности помощью двухъ термометровъ, привязанныхъ каждый къ шнурку, вращая сначала сухой термометръ, а потомъ влажный. Последній былъ обернутъ двойнымъ слоемъ кисеи. Такъ какъ длина шнура до шарика термометра была 1 метръ и при вращеніи термометръ въ теченіе секунды дѣлалъ одинъ оборотъ, то скорость вращенія была 6.3 метра въ секунду. Провѣрочными приборами служили гигро-

¹⁾ Angot. Sur le psychromètre. J. de Phys., 1881 (1) X, p. 113.

²⁾ Macé de Lépinay. Recherches expérimentales sur le psychromètre à fronde. Ibid. p. 17.

метр *Regnault* и вѣсовой способъ. Изъ своихъ наблюдений *Denecke* получилъ $A = 0,000706$.

*Ferrel*¹⁾ для пращевой психрометра вывелъ формулу

$$f = F_1 - 0,00066(1 + 0,00115t_1)(t - t_1)H.$$

*Abbe*²⁾ подтверждаетъ, что эта формула применима для всѣхъ скоростей вѣтра выше 3 метровъ въ секунду и очень близка ко всѣмъ формамъ и величинамъ сосудовъ.

Пращевой психрометръ, имѣющийся въ гигиеническомъ институтѣ, снабженъ зубчатымъ колесомъ, движение котораго передается шестерней и укреплѣнной на ней вертикальной оси прибора съ термометрами. При вращеніи зубчатого колеса термометры описываютъ кругъ съ радиусомъ въ 0,19 метра. Если зубчатое колесо дѣлаетъ 50 оборотовъ въ минуту, то скорость вращенія термометровъ 4,6 метра въ секунду. Термометры имѣютъ шарообразные резервуары съ диаметромъ въ 11 мм.

Такъ какъ величина A зависитъ отъ скорости движенія воздуха и отъ формы и размѣровъ термометрическихъ сосудовъ, то явился вопросъ, нельзя ли а priori для нашего психрометра—пращи опредѣлить A , основываясь на вышеприведенныхъ наблюденіяхъ. Къ сожалѣнію, ни одно изъ нихъ не даетъ указаній на размѣры термометрическихъ сосудовъ, съ которыми эти данныя получены. Если *Abbe*, подтверждая, что формула *Ferrel* подходит близко къ термометрическимъ сосудамъ всѣхъ размѣровъ и формъ, ссылается на *Зюрыкина*, нашедшаго ту же величину A для скорости въ 3 метра въ секунду, то по справкѣ съ графической таблицей *Зюрыкина* оказывается, что 0,00066 относится къ маленькому термометрическому сосуду съ поперечникомъ въ 4 мм. и, следовательно, не можетъ быть пригодна для нашихъ термометровъ въ 11 мм. Для величины A термометровъ съ диаметромъ въ 10 мм. *Зюрыкинъ* даетъ слѣдующее уравненіе, подтвержденное *Grossmann*³⁾:

$$10^4 A = 593,1 + \frac{135,1}{\sqrt{V}} + \frac{48,0}{V}$$

ТАБЛИЦА 20.

Сравненіе психрометра—пращи съ итальянскимъ психрометромъ.

№	H	Итальянскій психрометръ.				Психрометръ—праща.			
		t	t ₁	t—t ₁	f	t	t ₂	t—t ₂	A ₂
1	750,0	21,4	11,9	9,5	4,87	21,4	11,5	9,9	0,000 702
2	749,2	17,6	9,5	8,1	4,80	17,8	9,2	8,6	697
3	—	20,8	10,6	10,2	3,72	21,0	10,3	10,7	703
4	—	17,9	9,7	8,2	4,26	18,1	9,3	8,8	681
5	748,6	16,7	6,2	10,5	1,04	17,0	5,9	11,1	711
6	—	16,7	6,1	10,6	0,94	17,0	5,9	11,1	723
7	745,2	19,6	8,4	11,2	1,82	19,6	8,1	11,5	729
8	—	19,6	8,4	11,2	1,82	19,7	7,9	11,8	698
9	749,1	21,2	9,4	11,8	2,00	21,4	9,1	12,3	720
10	748,2	21,7	11,1	10,6	3,80	21,6	10,7	10,9	716
11	749,1	21,4	11,2	10,2	4,04	21,6	10,9	10,5	723
12	750,2	19,8	8,8	10,8	2,23	19,6	8,3	11,3	702
13	736,0	19,6	9,8	9,8	3,48	19,8	9,4	10,4	696
14	748,6	20,3	9,6	10,7	2,76	20,2	9,1	11,1	706
15	748,0	20,5	9,8	10,7	2,88	20,4	9,3	11,1	707
16	755,0	17,1	8,5	8,6	3,29	17,2	8,2	9,0	712
17	—	17,1	8,5	8,6	3,29	17,3	8,1	9,2	688
18	—	19,5	9,1	10,4	2,58	19,7	8,7	11,0	701
19	763,3	18,1	9,7	8,4	4,06	18,3	9,6	8,7	733
20	763,5	18,5	10,0	8,5	4,18	18,7	8,8	8,9	717
21	763,1	18,5	10,1	8,4	4,30	18,7	8,8	8,9	699
22	761,5	16,2	8,5	7,7	3,77	16,4	8,3	8,1	715
23	767,4	17,1	8,5	8,6	3,21	17,3	8,0	7,3	674
24	—	18,2	8,3	9,9	2,32	18,4	7,6	10,8	661

Среднее . . . 0,001705

¹⁾ Denecke. Ueber die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit. Zeitschr. f. Hygiene, 1886, I, S. 47.

²⁾ Grossmann. Beitrag zur Geschichte und Theorie des Psychrometers. Zeitschr. f. Meteorologie, 1889, S. 141.

где V есть скорость вѣтра въ метрахъ въ секунду. Вычисляя по этому уравненію A при $V = 4,6$ метровъ, получимъ $A = 0,00067$. Измѣненіе діаметра шарика термометра на $+1$ мм. измѣнитъ по *Зюрыкину* эту величину на $+0,00001$, слѣдовательно для нашего психрометра можно было бы принять $A = 0,00068$. Такое допущеніе оказалось однако несправедливымъ.

Непосредственное опредѣленіе постоянной A для психрометра-пращи по сравненію съ итальянскимъ психрометромъ дало, какъ это видно изъ 20 таблицы,

$$A = 0,000705,$$

съ вѣроятною погрѣшностью среднего результата $\pm 0,000002$ и единичнаго наблюденія $\pm 0,000012$.

Если A не вѣрно на $\pm 0,000012$, т.-е. на $1,7\%$ своей величины, то ошибка вычисленной абсолютной влажности при $t = 18,5^\circ$ и $t - t_1 = 10^\circ$ будетъ $\pm 0,09$ мм. и относительной влажности $\pm 0,6\%$, при $t - t_1 = 8^\circ$ ошибка абсолютной влажности можетъ быть $\pm 0,07$ мм. и относительной влажности $\pm 0,4\%$.

Величина погрѣшностей пращевато психрометра вѣскольکو менѣе, чѣмъ итальянскаго психрометра, слѣдовательно первый инструментъ точнѣе. Второе достоинство его состоитъ въ томъ, что психрометръ-праща можетъ съ одинаковою точностью примѣняться и для атмосфернаго воздуха, чего нельзя сказать про итальянскій психрометръ. Помимо опытныхъ доказательствъ послѣднему положенію, данныхъ *Duyère'омъ* и *Macé de Lépinay*, къ нему приходимъ и послѣ простого теоретическаго разсужденія. При вращеніи психрометра въ струѣ воздуха какой-либо скорости въ одной половинѣ круга вращенія скорость вѣтра складывается со скоростью движенія психрометра, а въ другой вычитается изъ нея, слѣдовательно на вѣтрѣ психрометръ-праща подвергается вліянью движенія воздуха той же скорости, какъ и при неподвижномъ воздухѣ. Въ числѣ недостатковъ психрометра-пращи должны быть отмѣнены:

1) нѣкоторая субъективность въ управленіи приборомъ; легко можетъ быть, что два наблюдателя съ однимъ и тѣмъ же приборомъ не получатъ совершенно тождественныхъ результатовъ; 2) вліяніе близости наблюдателя на температуру, показываемую термометрами.

Достоинства прибора однако превышаютъ его недостатки и если прибавить къ этому, что въ сложенномъ видѣ онъ имѣетъ малый объемъ и очень удобенъ для переноски, то психрометръ-праща долженъ быть поставленъ въ числѣ инструментовъ, желательныхъ для широкаго распространенія въ санитарной практикѣ.

Такъ какъ въ числѣ причинъ, препятствующихъ распространенію психрометра-пращи, надо поставить отсутствіе назначенныхъ для него таблицъ и невозможность пользоваться составленными для метеорологическихъ цѣлей, то прилагаю таблицу 21 для вычисленія влажности, составленную по образцу таблицы *Зюрыкина*, и, какъ ея дополненіе, таблицу 22 давленія водяного пара на каждыя $0,1^\circ$, взятую у *Regnault*, во вѣскольکو сокращенную и иначе расположенную. Пользованіе этой таблицей значительно облегчитъ вычисленія, какъ можно видѣть изъ примѣра:

$$\begin{aligned} t &= 18,5^\circ \\ t_1 &= 10,4^\circ \\ t - t_1 &= 8,1^\circ \end{aligned}$$

Для разности въ $8,1^\circ$ находимъ въ 21-ой таблицѣ 4,31; вычтя эту величину изъ числа, выражающаго давленіе водяного пара при $10,4^\circ$, имѣемъ $9,41 - 4,31 = 5,1$ мм. Это число и будетъ абсолютная влажность, выраженная въ миллиметрахъ. Для полученія относительной влажности помножаемъ абсолютную влажность на 100 и дѣлимъ на давленіе водяного пара при температурѣ сухого термометра, т.-е.

$$\frac{5,10 \times 100}{15,85} = 32\%.$$

Цифры мелкаго шрифта въ таблицѣ 21 показываютъ насколько нужно увеличивать или уменьшать числа, подъ которыми онѣ подлины, если высота барометра выше или ниже 755 мм. на 1 мм.

ТАБЛИЦА 21.

Таблица для вычисления абсолютной влажности по показаниям психрометра-пращи.

0,000705 (t-t₂) 755 для разности величин (t-t₂)

t-t ₂	0,0°	0,1°	0,2°	0,3°	0,4°	0,5°	0,6°	0,7°	0,8°	0,9°
0°	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,37	0,43	0,48
			0,0002					0,0005		
1°	0,53	0,58	0,64	0,69	0,75	0,80	0,85	0,90	0,96	1,01
			0,0009					0,0012		
2°	1,06	1,12	1,17	1,22	1,28	1,33	1,38	1,44	1,49	1,54
			0,0016					0,0019		
3°	1,60	1,65	1,70	1,76	1,81	1,86	1,92	1,97	2,02	2,08
			0,0022					0,0025		
4°	2,13	2,18	2,24	2,29	2,34	2,40	2,45	2,50	2,56	2,61
			0,0030					0,0033		
5°	2,66	2,71	2,77	2,82	2,87	2,93	2,98	3,03	3,09	3,14
			0,0036					0,0040		
6°	3,19	3,25	3,30	3,35	3,41	3,46	3,51	3,57	3,62	3,67
			0,0043					0,0047		
7°	3,73	3,78	3,83	3,89	3,94	3,99	4,05	4,10	4,15	4,21
			0,0050					0,0054		
8°	4,26	4,31	4,36	4,42	4,47	4,52	4,58	4,63	4,68	4,74
			0,0057					0,0061		
9°	4,79	4,84	4,90	4,95	5,00	5,06	5,11	5,16	5,22	5,27
			0,0064					0,0067		
10°	5,32	5,38	5,43	5,48	5,54	5,59	5,64	5,70	5,75	5,80
			0,0071					0,0074		
11°	5,86	5,91	5,96	6,02	6,07	6,12	6,18	6,23	6,28	6,34
			0,0078					0,0081		
12°	6,39	6,44	6,49	6,55	6,60	6,65	6,71	6,76	6,81	6,87
			0,0085					0,0088		

ТАБЛИЦА 22.

Давление водяного пара в миллиметрах ртутного столба по Регнаул.

Темп. С	0,0°	0,1°	0,2°	0,3°	0,4°	0,5°	0,6°	0,7°	0,8°	0,9°
5°	6,53	6,58	6,63	6,67	6,72	6,76	6,81	6,86	6,90	6,95
6°	7,00	7,05	7,10	7,14	7,19	7,24	7,29	7,34	7,39	7,44
7°	7,49	7,54	7,60	7,65	7,70	7,75	7,80	7,86	7,91	7,96
8°	8,02	8,07	8,13	8,18	8,24	8,29	8,35	8,40	8,46	8,52
9°	8,57	8,63	8,69	8,75	8,81	8,87	8,93	8,99	9,05	9,11
10°	9,17	9,23	9,29	9,39	9,41	9,47	9,54	9,60	9,67	9,73
11°	9,79	9,86	9,92	9,99	10,05	10,12	10,19	10,26	10,32	10,39
12°	10,46	10,53	10,60	10,67	10,73	10,80	10,88	10,95	11,02	11,09
13°	11,16	11,24	11,31	11,38	11,46	11,53	11,61	11,69	11,76	11,83
14°	11,91	11,99	12,06	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62
15°	12,70	12,78	12,84	12,95	13,03	13,11	13,20	13,28	13,37	13,45
16°	13,54	13,62	13,71	13,80	13,89	13,97	14,06	14,15	14,24	14,33
17°	14,42	14,51	14,61	14,70	14,79	14,88	14,98	15,07	15,17	15,26
18°	15,36	15,45	15,55	15,65	15,75	15,85	15,95	16,05	16,15	16,25
19°	16,35	16,45	16,55	16,66	16,76	16,86	16,97	17,07	17,18	17,29
20°	17,39	17,50	17,61	17,72	17,83	17,94	18,05	18,16	18,27	18,38
21°	18,50	18,61	18,72	18,84	18,96	19,07	19,19	19,31	19,42	19,54
22°	19,66	19,78	19,90	20,02	20,14	20,27	20,39	20,51	20,64	20,76
23°	20,89	21,02	21,14	21,27	21,40	21,53	21,66	21,79	21,92	22,05
24°	22,18	22,32	22,45	22,59	22,72	22,86	23,00	23,14	23,27	23,41
25°	23,55	23,69	23,83	23,98	24,12	24,26	24,41	24,55	24,70	24,84

ГЛАВА V.

Испарители.

Влажность воздуха съ точки зрѣнія гигиены имѣетъ значеніе не сама по себѣ, но въ томъ отношеніи, поскольку вызываетъ черезъ испареніе потерю влаги человѣческимъ организмомъ и окружающими его предметами. Поэтому естественна была мысль непосредственно опредѣлять вѣсущую силу воздуха, измѣряя для этого количество испарившейся воды съ какой-либо поверхности, а не заключать объ этой силѣ по даннымъ, полученнымъ помощью приборовъ, измѣряющихъ влажность воздуха.

Испареніе представляетъ весьма сложное физическое явленіе и, кромѣ другихъ факторовъ, имѣющихъ сравнительно меньшее значеніе, обуславливается главнымъ образомъ температурой, давленіемъ, влажностью воздуха и его движеніемъ. Вліяніе на испареніе движенія воздуха весьма значительно, но въ неподвижномъ воздухѣ испареніе по закону *Dalton'a* зависитъ отъ температуры и влажности воздуха, или прямо пропорціонально недостатку насыщенія $F - f$ и обратно пропорціонально давленію. Слѣдовательно, измѣряя испареніе въ атмосферномъ воздухѣ, мы получаемъ представленіе о вѣсущивающей силѣ воздуха, его способности отнимать воду отъ находящихся въ немъ предметовъ, измѣряя же испареніе въ покойномъ воздухѣ, какимъ можетъ быть названъ комнатный воздухъ, имѣемъ возможность кромѣ того опредѣлять и влажность воздуха.

Мысль о прииженіи съ послѣдней цѣлью явленій испаренія высказывается почти во всѣхъ руководствахъ по гигиенѣ, но ни

кто однако кромѣ *Krieger'a* ¹⁾ (1871) не пользовался ей на дѣлѣ.

Приборы, служащіе для измѣренія величины испаренія, называѣтся подъ именемъ атометровъ или эвапориметровъ. Число ихъ весьма велико ²⁾, но всѣ они могутъ быть раздѣлены на два класса: въ однихъ потеря воды черезъ испареніе узнается простымъ измѣреніемъ, въ другихъ чрезъ уменьшеніе вѣса. Могутъ быть сдѣланы и дальнѣйшія подраздѣленія въ зависимости отъ того, происходитъ-ли испареніе съ свободной водной поверхности, или испаряется вода проникшая чрезъ пористыя тѣла. Во всѣхъ этихъ приборахъ испареніе воды принято выражать толщиною испарившагося слоя въ миллиметрахъ.

Изъ всѣхъ эвапориметровъ описаны здѣсь будутъ два, служившіе намъ для изученія испаренія въ комнатномъ воздухѣ: эвапориметръ *Wild'a*, приижившійся на русскихъ метеорологическихъ станціяхъ, и *Piche'a*, распространенный во Франціи.

Испаритель *Wild'a* состоитъ изъ круглой мѣдной чашки, поверхность отверстія которой равняется 250 кв. сант., поставленной на такъ называемые сортировальные вѣсы. Стрѣлка, прикрѣпленная къ коромыслу вѣсовъ, движется по дугѣ вдоль шкалы, которая раздѣлена такимъ образомъ, что каждое дѣленіе ея соответствуетъ испаренію изъ чашки слоя воды въ 0,2 миллиметра. Такой слой при поверхности чашки въ 250 кв. сант. вѣситъ 5 граммъ.

Испаритель *Piche'a* имѣетъ видъ цилиндрической стеклянной трубки, запаянной съ одного конца, въ діаметрѣ около 1 сантим. и длиной 30—35 сантим. Трубка наполняется водой и открытый конецъ ея закрывается кружкомъ изъ непроклеенной толстой бумаги съ діаметромъ въ 3 сантиметра, которая удерживается на мѣстѣ пружиной. Запасъ такихъ бумажныхъ кружковъ приобрѣтается вмѣстѣ съ приборомъ. Нанозливъ трубку и приладивъ бумажный кружокъ, опрокидываютъ ее внизъ и помѣщаютъ въ отнѣсномъ положеніи, подвѣсивъ за стеклянное ушко, принятое въ закрытомъ концѣ.

¹⁾ Krieger. Aethologische Studien. Strassburg. 1880.

²⁾ Geleich. Ueber Verdunstungsmesser. Zeitschr. f. Instrum., 1890, X. Давыдовъ. Курсъ метеорологіи и климатологіи.

Вода пропитывает кружок и испаряется с его поверхности, замедляясь по мере испарения воздуха, проникающим в виде мелких пузырьков внутри трубки через бумажный кружок. Трубка градуирована так, что испарению слоя воды толщиной в 1 мм. с поверхности бумажного кружка соответствует одно деление, разделенное еще на десять частей достаточно крупных, что дает возможность отсчитывать величину испарения с точностью до $\frac{1}{100}$ миллиметра¹⁾.

Постановка наблюдений была следующая.

Испарители *Wild'a* и *Piche'a*²⁾ помещались среди комнатной емкостью в 300 куб. метров на стол рядом с самопишущими термометром и гигрографом *Richard'a* и итальянским психрометром. Величины испарения отчислялись раз в сутки в 1 час дня, средняя же величина температуры и влажности за истекшие сутки вычислялась из 4 наблюдений, взятых с кри-вых самопишущих приборов (1 ч., 6 ч. д., 12 ч. н. и 6 ч. у.). Малая суточная амплитуда колебаний температуры и влажности комнатного воздуха позволяла, собственно говоря, без особого ущерба для точности средней величины пользоваться и двумя наблюдениями в сутки. Ежедневно в 1 ч. дня производился отчет по итальянскому психрометру и из полученных t и φ выводились поправки для самопишущих приборов, которые и принимались во внимание при вычислении средних величин. Наблюдения по барометру производились только раз в сутки, почему средней величиной атмосферного давления считалась средняя арифметическая двух отсчетов барометра в два следующих друг за другом дня.

¹⁾ Подобные же испарители описал Tate (1862), а еще ранее Leslie (1813). Прибор Tate'a (Experimental researches on the laws of Evaporation, Philos. Mag., (4) XXIII, 1862, p. 126, 283, XXV, 1863, p. 331), предложенный им, из чашечки гигрометра и, вводящему, более чувствительный, чашу испарителя *Piche'a*, состоял из трубки, открытой с обоих концов и помещенной слегка наклонно из горизонту: из одного расширения и изогнутому концу трубки прилагается из горизонтальною положенною кружком из колоды с поверхностью в 8 кв. дюймов; при испарении из кружка вода является в трубку со скоростью 2 дюйма в час. Прибор Leslie (см. Geleisch, I. c.) имел такую же градуированную трубку, как и испаритель *Piche'a*, но охватывала полым стеклянным пористым шаром.

²⁾ Прибор *Wild'a* назывался также Гл. Ф. О., испаритель *Piche'a* был работы Ducretet et Lejeune, Paris.

Так как движение воздуха оказывает большое влияние на испарение, то принимались меры, чтобы случайные токи воздуха от открывания дверей, форточек, вентиляторов не имели места во время наблюдений.

Испарители следовательно находились в сравнительно неподвижном воздухе, так как комнатный воздух и при отсутствии ощущаемых токов всегда находится в слабом движении.

Отдельных наблюдений над испарителями *Piche'a* сделано 58 и 50 с испарителями *Wild'a*. Для упрощения последующих вычислений наблюдения подвергнуты предварительной обработке: в 1) величины испарения были приведены к 755 мм и в 2) наблюдения разбиты на группы, по 3—4 наблюдения в каждой, и выведены для каждой группы средние величины температуры, абсолютной влажности и испарения.

Выше было сказано, что скорость испарения по закону *Dalton'a* идет прямо пропорционально недостатку насыщения окружающего воздуха $F - f$. Такое определение является однако не совершенно справедливым. Так как температура испаряющейся жидкости, если только ее искусственно не подогревать, всегда ниже температуры окружающего воздуха, то над жидкостью образуется слой воздуха, насыщенного паром при температурѣ жидкости и испарение идет пропорционально не $F - f$, а $F_1 - f$, где F_1 — наибольшее давление водяного пара при температурѣ испаряющейся жидкости. Следовательно закон *Dalton'a* должен быть изображен так:

$$E = \frac{C \cdot S(F_1 - f)}{H}$$

где E — скорость испарения в единицу времени, S — поверхность C — некоторая постоянная величина и H — давление воздуха.

Если S примем за единицу и не будем брать в расчет давления воздуха, то формула будет иметь следующий вид

$$E = C(F_1 - f).$$

При вычислении величины испарения по этой формулѣ приходится поэтому, кроме температуры воздуха и его влажности,

знать еще и температуру испаряющей поверхности. Это не представляет затруднений, когда дело идет о свободной водной поверхности, которую имеем в испарителе *Wild'a*, так как можем измерить ее температуру, погружая термометр в воду. Не так обстоит дело с испарителем *Piche'a*: термометр здесь не применим. Температуру его бумажного кружка обыкновенно принимают¹⁾ равной температурѣ влажного термометра неподвижного психрометра, находящегося при тех же условиях. Допущение это однако не может считаться справедливым, так как на температуру влажного термометра оказывает влияние, как это было указано в главѣ о психрометрѣ, родъ и толщина обертки и неизвестно, какъ относится другъ къ другу испарение съ влажного батиста и пропускной бумаги. Вѣрнѣе будетъ предположеніе, какъ это сдѣлалъ *Houdaille*²⁾, что температура бумажного кружка въ испарителѣ *Piche'a* нѣсколько выше, чѣмъ температура влажного термометра, какова же въ действительности — остается неизвѣстной.

Для прямого измѣренія температуры бумажного кружка приготовлены были мной два термоэлектрическихъ элемента изъ тонкой платиновой и желѣзной проволоки. Каждый элементъ состоялъ изъ двухъ проволокъ, спаянныхъ на концѣ на протяженіи около 2 сантиметровъ и загнутыхъ въ видѣ незамкнутого кольца съ перерывомъ около $\frac{1}{2}$ сантиметра.

Спая, благодаря своей кольцеобразной формѣ, могли примѣняться для измѣренія температуры шарообразной поверхности термометра и плоской поверхности бумажного кружка, такъ какъ въ томъ и другомъ случаѣ прикасались приблизительно на одномъ и томъ же протяженіи. Отклоненія гальванометра, соответствующія различной разности температуръ обоихъ спаевъ, были определены предварительнымъ опытомъ, для чего каждый спай выскѣсь съ термометромъ, раздѣленнымъ на $\frac{1}{10}^{\circ}$, погруженнымъ въ стаканчикъ, наполненный масломъ. Отклоненіе стрѣлки гальванометра до 8° разности температуръ обоихъ спаевъ шло пропорціонально разности

¹⁾ Annuaire de Montsouris, 1875, p. 291.

²⁾ Houdaille. Sur les lois de l'évaporation. Comptes rendus, 1885, t. 100, p. 170—172.

сти температуръ, при чемъ 1° разницы въ температурѣ дадутъ отклоненія въ 3° дуги круга.

Измѣренія температуры испаряющей поверхности въ испарителѣ *Piche'a* производились по двумъ способамъ. Одинъ спай приводился въ соприкосновеніе съ оболочкой влажного термометра, другой съ бумажнымъ кружкомъ, или одинъ спай оставался въ воздухѣ, а другой прикасался послѣдовательно къ шару влажного термометра и къ бумажному кружку. Такимъ образомъ определялась собственно разность температуръ обоихъ испаряющихъ поверхностей. Къ этому приему пришлось прибѣгнуть потому, что прямое измѣреніе температуры испаряющей поверхности помощью термоэлектрическаго элемента оказалось невозможнымъ, такъ какъ спай, приложенный къ охлажденной поверхности, не принималъ ее температуры, а показывалъ нѣсколько большую, вслѣдствіе нагреванія другой поверхности спаа воздухомъ — во первыхъ, и вслѣдствіе уменьшенія испаренія съ тѣхъ точекъ влажной поверхности, къ которымъ спай прикасался — во вторыхъ.

Измѣренія показали, что температура бумажного кружка испарителя *Piche'a* всегда выше, чѣмъ соответствующая температура влажного термометра неподвижного психрометра. Такъ при $17,7^{\circ}$ и абсолютной влажности $6,0^{\text{мм}}$ влажный термометръ показывалъ $12,1^{\circ}$, а температура кружка *Piche'a* была $13,1^{\circ}$. Нѣсколько такихъ измѣреній (8) дали возможность установить зависимость между температурой и влажностью воздуха — съ одной стороны и температурой испаряющаго кружка *Piche'a* — съ другой. Если для неподвижнаго психрометра разность термометровъ выражается формулой $f = F_1 - 0,83(t - t_1)$, то для испарителя *Piche'a* оказалась приближенной формула

$$f = F_1 - 1,2(t - t_1)$$

отсюда

$$F_1 - f = 1,2(t - t_1).$$

Выраженіе это позволяетъ въ каждомъ случаѣ примѣненія испарителя *Piche'a*, когда извѣстна абсолютная влажность воздуха f и температура его t , опредѣлить помощью постепеннаго приближенія и температуру бумажного кружка t_1 .

ТАБЛИЦА 23.

По этой формулѣ вычислены t_1 и F_1 въ таблицѣ 23; величины температуры воздуха — t , абсолютной влажности — f , относительной влажности — %, испарение въ миллиметрахъ за сутки по испарителю *Piche'a* — E_p , тоже по испарителю *Wild'a* — E_w даны прямымъ наблюдениемъ.

Изъ формулы $E = C(F_1 - f)$ слѣдуетъ, что

$$C = \frac{E}{F_1 - f}$$

Эта постоянная величина оказалась въ среднемъ равной 0,475.

Изъ таблицы слѣдуетъ, что въ воздухѣ закрытыхъ помѣщений зависимость между влажностью воздуха и количествомъ воды, испарившейся въ течение сутокъ съ испарителя *Piche'a*, можетъ быть выражена слѣдующимъ уравнениемъ

$$E = 0,475 (F_1 - f).$$

По этому уравненію можетъ быть определено E , когда извѣстны температура воздуха и f , а F_1 вычислена по уравненію $F_1 - f = 1,2 (t - t_1)$. Обратное же примѣненіе уравненія для вычисления f представляеть болѣе затрудненія. Чтобы по показаніямъ испарителя *Piche'a* судить о влажности воздуха, приходится составить таблицу, въ которой для каждаго градуса температуры при равныхъ степеняхъ влажнаго воздуха вычислены $F_1 - f$ и E .

Затрудненія эти, вызываемыя примѣненіемъ уравненія $E = 0,475 (F_1 - f)$ для определения влажности воздуха, могутъ быть устранены, если отринуться отъ представленія о формулѣ *Dalton'a*, какъ о непреложномъ физическомъ законѣ. Въ самомъ дѣлѣ, имѣется много оснований полагать, что эта формула только приближительная. *Dalton* полагалъ, что испарение идетъ пропорціонально площади испаряющей поверхности. *Stefan*¹⁾ и *Срезневскій*²⁾ показали для круглыхъ и эллиптическихъ сосудовъ, что испарение совершается пропорціонально не площади, а радіусу ихъ.

¹⁾ Stefan. Ueber die Verdampfung aus einem Kreisförmig oder elliptisch begrenzten Becken. Wien. Berichte, 1881, t. 83, p. 943.

²⁾ Срезневскій. Объ испареніи жидкостей. 1883.

%	t	t ₁	f	F ₁ - f	F - f	E _p	E _w	C = $\frac{E_p}{F_1 - f}$	C = $\frac{E_w}{F - f}$
04	17,9	15,3	9,77	3,15	5,49	1,50	0,38	0,476	0,069
01	17,1	14,3	8,81	3,35	5,70	1,58	0,36	0,471	0,065
55	16,6	13,5	7,78	3,73	6,28	1,64	0,45	0,440	0,072
51	16,6	13,15	7,13	4,15	6,93	1,84	0,46	0,443	0,066
47	16,7	12,95	6,66	4,47	7,49	2,03	0,71	0,454	0,095
47	15,6	12,0	6,16	4,31	7,04	2,10	0,78	0,487	0,111
42	16,8	12,6	5,91	5,00	8,33	2,32	0,80	0,464	0,096
35	14,6	10,35	4,31	5,07	8,03	2,35	0,70	0,464	0,087
31	18,0	12,7	4,67	6,32	10,69	3,06	0,80	0,484	0,075
29	18,2	12,8	4,55	6,48	11,00	3,04	0,81	0,469	0,074
27	17,8	12,3	4,09	6,59	11,08	3,20	0,80	0,486	0,072
24	18,3	12,5	3,81	6,98	11,84	3,45	0,92	0,494	0,078
23	16,7	11,2	3,26	6,63	10,59	3,29	0,90	0,496	0,082
21	19,1	12,85	3,45	7,92	13,00	3,78	—	0,503	—
17	20,1	13,1	2,92	8,36	14,58	4,04	—	0,483	—
15	18,0	11,5	2,30	7,81	13,06	3,88	1,03	0,493	0,079
13	19,4	13,05	2,57	8,64	14,19	4,06	1,05	0,470	0,074
Среднее								0,475	0,08

*Houdaille*¹⁾ принял для величины испарения и площади испаряющей поверхности болѣе сложную зависимость.

По формулѣ *Dalton*'а испарение обратно пропорціонально барометрическому давлению. Наблюдения *de Heen*'а²⁾ съ испарителемъ *Piche*'а не подтвердили этого положенія: при 755^{мм} испарилось 100 мм, а при 162^{мм} давленія 1,23 мм.

По *Dalton*'у скорость испарения растётъ пропорціонально разности $F_1 - f$. *Stefan* установилъ, что оно идетъ пропорціонально

$$\log \text{nat} \frac{H-f}{H-F_1}.$$

*De Heen*³⁾ вывелъ для скорости испарения слѣдующую формулу

$$E = C.F_1(100 - 0,88f)V\sqrt{V},$$

гдѣ f —относительная влажность, а V —скорость движения воздуха.

Изъ опытовъ *Lava*'а⁴⁾ слѣдуетъ, что

$$E = \frac{SF_1 \left(\frac{1-f}{f} \right)}{H^2} \times \text{Const.}$$

*Гершунг*⁵⁾ полагаетъ, что формула *Stefan*'а болѣе выражаетъ истину, чѣмъ формула *Dalton*'а и *de Heen*'а. Къ такому же заключенію по отношенію къ формуламъ *Dalton*'а и *Stefan*'а пришелъ и *Winkelmann*⁶⁾.

Изъ предыдущаго видно, что истинные законы, управляющіе испареніемъ, остаются пока неизвѣстными и что всѣ формулы, предложенныя для установленія зависимости между влажностью

¹⁾ L. c.

²⁾ De Heen. Recherches sur la vitesse d'évaporation des liquides. Bull. de l'Acad. de Belgique, 1891 (3) XXI, p. 11, 214, 738.

³⁾ Laval. Vérification expérimentale des lois de Dalton. Mem. de la Soc. des sc. ph. et. nat. de Bordeaux, 1882, (2) V, p. 170. Ref. Jour. de Phys., 1882, p. 560.

⁴⁾ Гершунгъ. Испарение. Энциклоп. слон. Брокгаузъ и Эзропъ, 1894, т. XIII, стр. 436.

⁵⁾ Winkelmann. Die Verdampfung in ihrer Abhängigkeit von ausserem Druck. Wied. Ann. t. 33, p. 445—453. По рус. въ Fortschritte der Physik im Jahre 1888, 2 abtheil, p. 329.

воздуха и величины испарения, являются только приблизительно выражающими эту связь. Одно несомнѣнно, что испарение зависитъ и отъ наибольшаго напряженія водяного пара при данной температурѣ F или F_1 и отъ содержанія водяного пара въ воздухѣ f , т. е., выражаясь математическимъ языкомъ, что испарение E есть функція F и f .

Если истинный законъ, выражающій связь между какими-либо величинами, неизвѣстенъ, то эту связь выражаютъ эмпирической формулой или формулой затѣтой наугадъ¹⁾. Въ нашемъ случаѣ формулѣ можно придать такой видъ

$$E = aF + bf$$

или, если принять, что испарение идетъ приблизительно пропорціонально разности $F - f$, взять формулу

$$E = a(F - f) + b(F - f)^2$$

Въ обѣихъ формулахъ a и b есть нѣкоторые постоянныя величины, численныя значенія которыхъ можно опредѣлить изъ наблюдений помощью способа наименьшихъ квадратовъ.

Въ таблѣ 23 величины f и E даны, кромѣ того дана и температура воздуха t , для которой по таблицамъ *Regnault* находимъ и величину F .

Для формулы $E = aF + bf$ изъ таблицы составимъ 17 уравненій.

$$\begin{aligned} 15,26 \ a + 9,77 \ b &= 1,50 \\ 14,51 \ a + 8,81 \ b &= 1,58 \\ 14,06 \ a + 7,78 \ b &= 1,64 \\ 14,06 \ a + 7,13 \ b &= 1,84 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Рѣшая эти уравненія, получаемъ

$$a = 0,292 \text{ и } b = -0,306.$$

¹⁾ Хвольсонъ. Курсъ Физики. 1897, т. I, стр. 23, 247.

Вставив эти величины в формулу, имеем

$$E = 0,292 F - 0,306f$$

или

$$E = 0,292(F - 1,048f)$$

Так же поступаем для отыскания численного значения величин a и b в формул $E = a(F - f) + b(F - f)^2$.

$$5,49 \ a + 30,14 \ b = 1,50$$

$$5,70 \ a + 32,49 \ b = 1,58$$

$$6,28 \ a + 39,44 \ b = 1,64$$

$$6,93 \ a + 48,02 \ b = 1,84$$

$$.$$

Решив эти уравнения по способу наименьших квадратов, имеем

$$E = 0,274(F - f) + 0,001(F - f)^2.$$

Остается определить, какая из этих формул ближе соответствует действительности. Для этого по каждой формуле вычисляем величины E и сравним их с полученными непосредственным наблюдением. Уклонения вычисленных величин от наблюдаемых составят „погрешности“, а квадратный корень из суммы квадратов погрешностей деленной на 15 (число уравнений—число неизвестных) даст среднюю ошибку результата. Последняя равна для первой формулы $\pm 0,09$, для второй $\pm 0,099$. Первая формула следовательно точнее и ею следовало бы пользоваться при вычислении величины испарения, если бы не препятствовал тому соображения следующего рода. Эмпирически формулы дают надежные результаты, если применяются для вычисления величин, находящихся в промежутке между намеренными нами, т. е. для так называемого интерполирования. Но ими следует пользоваться с осторожностью для экстраполирования, т. е. для получения величин, лежащих вне пределов наблюдений, по которым эти формулы установлены, где истинный, неизвестный закон может существенно отличаться от закона эмпири-

ческого. Наши наблюдения над испарением произведены в пределах влажности воздуха от 15% до 64%, и в этих пределах, строго говоря, обе формулы и должны бы только применяться. Однако формула $E = 0,274(F - f) + 0,001(F - f)^2$ более растяжима и может быть распространена и для вычисления испарения при относительной влажности воздуха выше 64%, так как при 100%, когда $f = F$, она обращается в 0, что согласно с действительностью. Формула же $E = 0,292(F - 1,048f)$ не удовлетворяет последнему условию, так напр. при 20% испарение по ней прекращается при 96% влажности.

На этом основании в таблице 24 величина испарения за 24 часа по эвалориметру *Piche'a* при разной температуре и относительной влажности воздуха вычислена по формуле ¹⁾.

$$E = 0,274 (F - f) + 0,001(F - f)^2.$$

Что же касается до применения этих формул при влажности воздуха от 15% до 60%, то обе они дают почти тождественные результаты; так напр. при 20° температуры и различных % влажности воздуха величина испарения выражается следующими цифрами в миллиметрах.

$$10\% \ 20\% \ 30\% \ 40\% \ 50\% \ 60\%$$

$$E = 0,292(F - 1,048f) \quad 4,55 \ 4,01 \ 3,48 \ 2,95 \ 2,41 \ 1,89$$

$$E = 0,274(F - f) + 0,001(F - f)^2 \ 4,54 \ 4,00 \ 3,49 \ 2,96 \ 2,46 \ 1,95$$

Таблица 24 назначена для получения относительной влажности воздуха по показаниям испарителя *Piche'a*, если известна средняя температура воздуха за истекший период наблюдений. Средняя температура за сутки может быть выведена из показаний maximum и minimum термометра или из двух показаний обыкновенного термометра, если температура наблюдаемого помещ-

¹⁾ Къ подобной же формуле, но для испарителя другого рода, $E = 0,014(F - f) + 0,0012(F - f)^2$ применяет Fitzgerald. Прогресс Физики въ 1887, т. 43; 2 664, p. 397.

щения не подвергалась большим колебаниям. Числа испарения даны для давления воздуха в 755 мм. Если наблюдение над испарителем *Piche'a* производилось при ином давлении P , то полученное количество испарившейся воды может быть приведено к 755 чрез умножение на $\frac{H}{755}$.

Наблюдения, положенные в основу таблицы 24, даны эвапориметром *Piche'a*, помещенным среди комнат, зимой, при отсутствии ощутимых токов воздуха. Этих условий и надо придерживаться, чтобы получить по таблице верные величины влажности. Если прибор будет находиться в почти неподвижном воздухе, каким бывает комнатный воздух летом, или будет подвергнут влиянию хотя и слабым, но ощутимых токов воздуха, то нельзя рассчитывать на надежность определений влажности. Вообще условия применения испарителя *Piche'a* одинаковы с таковыми же для неподвижного психрометра и такого же приблизительно должна быть и точность получаемых этим прибором измерений влажности.

О степени точности этих определений можно судить по величине данной нами выше средней погрешности результата при применении формулы $E = 0,274 (T - f) + 0,001 (T - f)^2$. Средняя погрешность E была $\pm 0,099$, вероятная погрешность равняется $\pm \frac{2}{3} \cdot 0,099$, т. е. $\pm 0,07$. Наблюдая следовательно испарение и получив по испарителю *Piche'a* количество испарившейся воды за сутки, напр., 3,49 при температуре 20°, что соответствует по таблице 30% влажности, мы при оценке достоверности этой последней величины должны принять в расчет, что величина 3,49 дана с точностью $\pm 0,07$, т. е. показания 3,42 и 3,56 находятся в пределах возможной ошибки, а так как измеренная величина 3,49 на $\pm 0,52$ влечет изменения в вычисленной влажности на 10%, как это видно из таблицы 24, то точность определения относительной влажности должна приниматься равной $\pm 1,5\%$. Имья однако в виду, что сами 17 уравнений, из которых выведена формула представляют средние величины из наблюдений, вернее будет считать точность получаемых помощью

ТАБЛИЦА 24.

Количество испаряющейся воды в миллиметрах за 24 часа по испарителю *Piche'a* при разной температур и различных величинах относительной влажности воздуха.

$$E = 0,274 (T - f) + 0,001 (T - f)^2.$$

Температура воздуха t	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
12°	2,67	2,36	2,06	1,75	1,47	1,16	0,87	0,58	0,29
13°	2,84	2,53	2,20	1,88	1,56	1,24	0,93	0,62	0,31
14°	3,05	2,70	2,36	2,01	1,67	1,33	0,99	0,66	0,33
15°	3,26	2,89	2,47	2,15	1,78	1,41	1,06	0,70	0,35
16°	3,49	3,08	2,69	2,29	1,90	1,51	1,13	0,75	0,37
17°	3,73	3,28	2,87	2,45	2,02	1,61	1,21	0,80	0,40
18°	3,98	3,52	3,06	2,61	2,16	1,72	1,28	0,85	0,42
19°	4,26	3,76	3,27	2,78	2,31	1,83	1,37	0,91	0,45
20°	4,54	4,00	3,49	2,96	2,46	1,96	1,46	0,97	0,48
21°	4,84	4,27	3,72	3,16	2,64	2,08	1,55	1,03	0,51
22°	5,16	4,55	3,96	3,37	2,79	2,21	1,65	1,10	0,54
23°	5,50	4,86	4,22	3,50	2,97	2,36	1,76	1,16	0,58
24°	5,87	5,17	4,49	3,82	3,16	2,51	1,87	1,24	0,61
25°	6,26	5,52	4,79	4,07	3,37	2,67	1,98	1,31	0,65

эвапориметра *Pichea* отбѣльных опредѣлений влажности воздуха въ $\pm 3\%$ или $\pm 4\%$.

Справедливость этого расчета подтверждается и прямыми наблюденіемъ. Всѣ 58 наблюдений давшихъ основу для составленія таблицы 23 произведены въ сентябрь, октябрь и ноябрь. Къ нимъ прибавлены въ декабрь дополнительные наблюденія въ той же комнатѣ гигиеническаго института. Температура и влажность воздуха отмѣчались термографомъ и гигрографомъ *Richarda*, подл контролемъ итальянскаго психрометра. Какъ видно изъ таблицы 25, изъ 12 наблюдений только два раза отклоненіе вычисленной относительной влажности по испарителю *Pichea* отъ истинной влажности доходило до 4% , въ остальныхъ 10 наблюденіяхъ ошибки были меньше.

ТАБЛИЦА 25.

t	f	E	Относительная влажность.		
			Наблюдаемая.	Вычисленная.	Разность.
19,1*	2,46	3,96	15%	13%	— 2%
19,0	2,62	4,02	16	15	— 1
20,1	2,63	4,20	15	17	+ 2
20,5	3,05	4,20	17	19	+ 2
20,0	2,78	3,98	16	20	+ 4
19,8	2,92	3,94	17	19	+ 2
19,7	3,50	3,83	20	18	— 2
18,7	3,17	4,07	14	11	— 3
16,3	2,55	3,25	19	17	— 2
17,3	2,96	3,79	14	10	— 4
18,5	2,38	3,81	15	13	— 2
19,4	3,18	3,78	19	18	— 1

Затѣмъ въ томъ же декабрѣ сдѣлано 6 наблюдений съ испарителемъ *Pichea* въ маленькой комнатѣ объемомъ около 60 куб. метровъ въ частной квартирѣ.

ТАБЛИЦА 26.

t	f	E	Относительная влажность.		
			Наблюдаемая.	Вычисленная.	Разность.
18,0	9,83	1,32	64%	69%	+ 5%
18,6	9,37	1,58	60	64	+ 4
18,0	9,37	1,59	61	67	+ 6
18,7	9,15	1,76	57	59	+ 2
17,1	8,13	1,98	56	58	+ 2
19,1	9,54	1,76	58	62	+ 4

Вычисленные и наблюдаемыя величины относительной влажности представляютъ сѣдовательно болѣшныя отклоненія въ маленькой комнатѣ, чѣмъ въ большой. Этого и можно было ожидать, такъ какъ въ малыхъ помещеніяхъ воздухъ подвергается болѣшему застою, чѣмъ въ большихъ. Измѣняемость величины A въ формулѣ для неподвижнаго психрометра является фактомъ вполне установленнымъ, оба же прибора—психрометръ и испаритель— суть по существу приборы тождественные, съ тѣмъ только различіемъ, что въ одномъ измѣняется степень охлажденія происходящая отъ испаренія воды, въ другомъ же самое количество испарившейся воды. Причины вліяющія на интенсивность испаренія въ обоихъ приборахъ должны быть признаны одинаковыми.

Еще болѣшныя отклоненія вычисленныхъ величинъ влажности отъ истинныхъ должны быть въ комнатномъ воздухѣ лѣтомъ, когда онъ приближается по температурѣ къ атмосферному воздуху и обмѣнъ между комнатнымъ воздухомъ и вѣшнымъ происходитъ крайне слабо. При этихъ условіяхъ слѣдуетъ ожидать, что испареніе будетъ идти меньше интенсивно и количество испарившейся воды окажется меньше ожидаемаго по формулѣ установленной въ зимнее время года. Эти соображенія подтверждаются наблюденіями

съ испарителемъ *Piche'a* лѣтомъ. Къ сожалѣнію такихъ наблюденій произведено только три.

ТАБЛИЦА 27.

t	f	E	Относительная влажность.		
			Наблюденная.	Вычисленная.	Разность.
21,4°	8,91	2,43	47%	54%	+ 7%
22,0	9,28	2,54	47	54	+ 6
23,1	10,95	2,31	52	61	+ 9

Итакъ пользуясь испарителемъ *Piche'a* можно получать величины влажности точности весьма достаточной для практическихъ цѣлей, но главное достоинство прибора *Piche'a*, какъ измѣрителя влажности въ комнатномъ воздухѣ, заключается въ томъ, что онъ даетъ среднія величины влажности за какой-либо промежутокъ времени, почему онъ долженъ занять мѣсто рядомъ съ регистрирующими приборами. Для разового же изслѣдованія влажности испаритель *Piche'a* мало пригоденъ. Предположеніе высказанное *Rubner*омъ¹⁾, что пользуясь эвапориметромъ *Piche'a* можно въ теченіе 10—15 минутъ опредѣлить влажность какого-либо помещенія, не оправдалось на дѣлѣ. Это предположеніе, вѣроятно, было навѣяно большими величинами испареній, которыя даетъ приборъ *Piche'a* въ атмосферномъ воздухѣ. Въ комнатномъ воздухѣ испаритель *Piche'a* даже въ теченіе часа испаряетъ такъ мало воды, что по испарившемуся количеству рискованно судить о влажности воздуха.

¹⁾ Rubner. Lehrbuch der Hygiene. 1892. S. 30.

До сихъ поръ мы не касались испарителя *Wilda*. Изъ суммарныхъ количествъ испарившейся воды данныхъ этими приборами и помѣщенныхъ въ таблицѣ 23 видно, что испареніе въ приборахъ *Wilda* и *Piche'a* не идетъ между собой строго параллельно; такъ при показаніяхъ испарителя *Piche'a* 2,32, 3,06 и 3,20 испаритель *Wilda* показывать во всѣхъ трехъ случаяхъ одну и ту же величину 0,80. Такое несоотвѣстіе показаній двухъ приборовъ, замѣтное уже въ таблицѣ 23, представляющей среднія изъ 3—4 наблюденій, еще рѣче бросалось въ глаза въ наблюденіяхъ отдѣльных не приведенныхъ здѣсь цѣликомъ. Оно можетъ быть объяснено меньшей чувствительностью къ измѣненіямъ влажности эвапориметра *Wilda* сравнительно съ приборомъ *Piche'a*. Въ этомъ послѣднемъ бумажный кружокъ представляющій испаряющую поверхность находится въ лучшихъ условіяхъ для отдачи водяного пара окружающему воздуху, чѣмъ водная поверхность прибора *Wilda*, въ которомъ вода отстоитъ отъ краевъ сосуда приблизительно на 2 сантиметра. Въ испаритель *Wilda* надъ водой, вѣроятно, образуется сравнительно толстый слой неподвижнаго воздуха, настищающагося мало-по-малу водянымъ паромъ, и испареніе происходитъ главнымъ образомъ чрезъ посредство диффузіи пара изъ этого слоя въ окружающій воздухъ. Можно предположить, что неподвижность этого слоя воздуха, непосредственно прилегающаго къ водной поверхности, не нарушается и въ томъ случаѣ, если движеніе окружающаго воздуха совершается съ ничтожной скоростью, положимъ, менѣе 0,1 метра въ 1 секунду; послѣдовавшее затѣмъ увеличеніе скорости движенія воздуха, положимъ, до 0,2 метра можетъ механически увлечь весь слой неподвижнаго дотогѣ воздуха, замѣнить его новымъ и быстро усилить испареніе. Становится такимъ образомъ весьма вѣроятнымъ, что испареніе въ приборѣ *Wilda* идетъ неравномерно, толчками, то усиливаясь, то уменьшаясь. Испаритель *Piche'a* не создаетъ условій для застоя воздуха и можно думать, что при испареніи съ его кружка, какъ физическія явленія (диффузія), такъ и механическія (конвекція) участвуютъ въ равной мѣрѣ. Эвапориметръ *Wilda* слѣдовательно можетъ пригоденъ для измѣренія влажности воздуха, чѣмъ эвапориметръ *Piche'a*, и нѣтъ основанія пользоваться для этой цѣли

имъ, равно и другими приборами, основанными на измѣреніи величины испаренія съ свободной водной поверхности, какъ это предлагалъ *Krieger*. Въ такіа опредѣленія всегда будутъ имѣть весьма малую цѣнность.

Изъ таблицы 23 слѣдуетъ, что суточная величина испаренія для испарителя *Wild'a* можетъ быть выражена формулой

$$E = 0,08(F - f).$$

Въ формулѣ наибольшее напряженіе водяного пара при температурѣ жидкости F , замѣнено наибольшимъ напряженіемъ его при температурѣ воздуха — F , такъ какъ изъ опыта оказалось, что разность той и другой температуры не превосходитъ 2°. Замѣна эта дѣлаетъ формулу болѣе удобной для вычисленія величины испаренія, когда известна влажность воздуха. Надобности въ такомъ вычисленіи можетъ встрѣтиться, когда напр. желаютъ повысить влажность какого-либо закрытаго помѣщенія, располагая въ немъ сосуды съ водой. Пользуясь формулой, можно опредѣлить приблизительно необходимую площадь водной поверхности, чтобы довести влажность до желаемого предѣла. Для подобнаго рода опредѣленій не было до сихъ поръ опорныхъ точекъ, такъ какъ неизвѣстны были величины испаренія съ свободной водной поверхности, находящейся въ комнатномъ воздухѣ при различныхъ температурѣхъ и влажности. Формула служитъ для вычисленія площади водной поверхности, дающей въ определенное время известное количество водяного пара. Количество же водяного пара, которое необходимо ввести въ данное помѣщеніе, чтобы повысить въ немъ содержание влажности до желаемого ‰, должно вычисляться другимъ путемъ. Для этой послѣдней цѣли, повидимому, могутъ быть примѣнены формулы *Марковича* ¹⁾, данныя имъ для рѣшенія различныхъ вопросовъ о загрязненіи комнатнаго воздуха углекислотой.

Изъ таблицы 23 видно, что въ комнатномъ воздухѣ испареніе изъ чашки прибора *Wild'a* совершается весьма слабо. Такъ при

18° температуры и 15‰ влажности за сутки испарился слой воды всего въ 1 мм. толщины, что соответствуетъ при поверхности испаряющаго сосуда въ 250 кв. сант. 25 граммъ.

Для выясненія вопроса насколько испареніе повиснетъ, если сосуды съ водой подвергать нагреванію, произведены сравнительныя наблюденія съ двумя чашками эвапориметра *Wild'a*: одна изъ нихъ оставалась на столѣ въ среднѣй комнатѣ, другая помѣщалась на нагревательную батарею центральнаго водяного отопленія.

Наблюденія показали, что, даже немного нагревая чашку съ водой, можно усилить испареніе отъ 8 до 10 разъ. Такъ при 17,9° температуры и 30‰ влажности воздуха изъ чашки, стоявшей на столѣ, испарилось въ 24 часа 0,7 мм. воды, а изъ чашки на батарее 8,3 мм.; температура воды въ первой чашкѣ была 16,1°, во второй 24,3°.

Общіе выводы.

Въ своей работѣ я стремился изложить по возможности всѣ существующіе способы опредѣленія влажности воздуха и дать имъ сравнительную оцѣнку на основаніи личнаго опыта. Только объемный гигрометръ и аспирационный психрометръ *Assmann'a* описаны мной по литературнымъ даннымъ. Значеніе всѣхъ этихъ способовъ разсматривалось главнымъ образомъ въ смыслѣ пригодности для изслѣдованія комнатнаго воздуха, но не было оставлено въ сторонѣ и примѣненіе ихъ для атмосфернаго воздуха.

Не мнѣ судить, насколько моя цѣль достигнута, но я полагаю, что мнѣ удалось доказать различіе способовъ изслѣдованія влажности воздуха комнатнаго и атмосфернаго.

Выводы, къ которымъ давали основанія изученія различныхъ приборовъ, разбросаны по всей книгѣ, носему общій обзоръ полученныхъ результатовъ является не бесполезнымъ.

Всѣ разсмотрѣнные приборы для измѣренія влажности воздуха могутъ быть раздѣлены по ихъ точности на двѣ группы.

Точныхъ приборовъ или способовъ оказалось немного; въ таковыя могутъ быть отнесены: вѣсовая способъ, естественные

¹⁾ Марковичъ. Полный математическій анализъ хода загрязненія воздуха жилищъ покровеній. Врѣчь, 1885, стр. 505, 530.

гигрометры *Crova* и *Alluard'a* и психрометры итальянской и пражской.

Къ приборамъ, дающимъ только приблизительно вѣрные результаты (точность $\pm 2\%$ $\pm 3\%$ относительной влажности) относятся: неподвижный психрометръ, волосаной и диффузионный гигрометры и испаритель *Piche'a*.

Заключенія, выведенныя для каждого изъ рассмотрѣнныхъ въ этой работѣ приборовъ, съ трудомъ поддаются краткому изложенію и представляемыя ниже положенія должны быть разсматриваемы какъ главнѣйшія.

Положенія.

1) Вѣсовой способъ и сгустительные гигрометры должны имѣть примѣненіе въ качествѣ контрольных приборовъ для проверки другихъ инструментовъ, служащихъ для измѣренія влажности воздуха. Нѣтъ, однако, основаній отказываться отъ нихъ и для непосредственнаго примѣненія при изслѣдованіи влажности воздуха.

2) Волосаные гигрометры — къ числу ихъ отнесетъ и гигрометръ *Mithof'a* — въ комнатномъ воздухѣ даютъ худшіе результаты, чѣмъ въ атмосферномъ воздухѣ, такъ какъ пребываніе въ воздухѣ одной и той же степени влажности или съ малыми колебаніями влажности лишаютъ ихъ чувствительности къ переизмѣнамъ влажности. Совершенно вѣрные гигрометры, если не подвергаются каждые 5 дней вліянію воздуха, вполнѣ насыщеннаго водянымъ паромъ, даютъ ошибки до 9% влажности (волосаные гигрометры) и даже до 40% (гигрометръ *Mithof'a*).

3) Принятый въ настоящее время въ гигиенѣ способъ опредѣленія влажности комнатнаго воздуха изъ показаній неподвижнаго психрометра помощью психрометрическихъ таблицъ, данныхъ метеорологами для атмосфернаго воздуха, равно и вычисленіе этой влажности по формулѣ $f = F_t - 0,65(t - t_s)$ не вѣрны и отнимаютъ отъ психрометра всякое значеніе, какъ измѣрителя влажности воздуха, такъ какъ ошибки въ опредѣленіи влажности, полученной этими способами, доходятъ до 20%.

4) Величина A , входящая въ формулу для неподвижнаго психрометра, находящагося въ комнатномъ воздухѣ, заключается въ предѣлахъ между 0,00100 и 0,00130, никогда не доходя до 0,00080, положенной въ основу метеорологическихъ таблицъ.

5) Для одного и того же помѣщенія величина A измѣняется въ зависимости отъ условій, нарушающихъ равновѣсіе комнатнаго воздуха, среди которыхъ слѣдуетъ поставить и разность температуръ между внутреннимъ и вѣшнимъ воздухомъ; въ зимнее время A держится около 0,00100, лѣтомъ доходить до 0,00130.

6) Неподвижный психрометръ при правильномъ примѣненіи формулы ($f = F_t - 0,0011(t - t_s)H$ или $f = F_t - 0,83(t - t_s)$, гдѣ $0,83 = 0,0011 \cdot 755$) даетъ въ комнатномъ воздухѣ величины относительной влажности съ точностью $\pm 3\%$.

7) При опредѣленіи влажности помощью психрометра съ вентиляторомъ и пражскаго психрометра должна быть опредѣлена чрезъ сравненіе съ вѣсовымъ способомъ или съ сгустительнымъ гигрометромъ постоянная A для каждаго отдѣльнаго прибора. При этомъ условіи точность опредѣленія доходитъ до $\pm 1\%$ относительной влажности.

8) Диффузионный гигрометръ Шидловскаго представляетъ удобный, но недостаточно точный приборъ для опредѣленія влажности.

и 9) Испаритель *Piche'a* можетъ примѣняться въ комнатномъ воздухѣ для вычисленія его влажности по количеству испарившейся воды. Онъ даетъ среднія величины влажности и посему стоитъ на ряду съ самозависающими приборами.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Admiraal. Neuerung an Hygrometern. Zeitschr. f. Instrumk., 1889, 9, p. 347.
2. Agamennone e Bonetti. Sopra un nuovo tipo d'igrometro. Atti Acad. del Lincei, 1892 (5) 1, p. 216—222.
3. Agamennone e Bonetti. Ulteriori esperienze sopra un nuovo tipo d'igrometro. Ibid., 1894 (5) 3, p. 23—30.
4. Alluard. Nouvel hygromètre à condensation. J. de Phys., 1878, p. 328.
5. Angot. Sur le psychromètre. J. de Phys., 1881, X, p. 13.
6. Annuaire de Mentsouris, 1888.
7. Arnould. Nouveaux Eléments d'Hygiène. 1895.
8. Assmann. Das Klima. Handbuch f. Hyg. v. Weil, 1894, Bd. 1.
9. Schleuder psychrometer. Zeitschr. f. Meteor., 1884.
10. August. Ueber die Verdunstungskälte und deren Anwendung an Hygrometrie. Poggend. Ann., 1825 (2) V, s. 69—88, 325—344.
11. Baumgartner. Versuche über Verdampfung. Wien. Ber., 1877, 75², s. 313—319.
12. Baumgartner. Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Verdampfungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten. Ibid. s. 679—688.
13. Bebbier Hygienische Meteorologie. 1895.
14. Берегръ. О влажности воздуха въ отопляемыхъ помещенияхъ 1875.
15. Bourbonze. Nouveaux modèles d'hygromètres. J. de Phys., 1886.
16. Бродовичъ. Отношение влажности воздуха въ жилыхъ помещенияхъ къ заболѣванію дыхательныхъ путей. 1887.
17. Бубновъ. Сухая перегонка пш. Сборн. работъ гигиен. лаборат. Моск. универс., 1888, вып. II, стр. 167.
18. Бубновъ. Къ вопросу о рациональномъ устройствѣ отопления и вентиляции. 1890.
19. Bunsen. Gasometrische Methoden. 1877.
20. Crova. Description d'un hygromètre à condensation intérieure. J. de Phys. 1883, (2) 2, p. 166—169.
21. Crova. Sur l'hygrométrie. Ibid. p. 450—461.
22. „ Sur une méthode de graduation des hygromètres à absorption. Ibid. 1884, (2) 3, p. 390.
23. De-Heen. Recherches sur la vitesse d'évaporation des liquides. Bull. de l'Acad. de Belgique. 1891 (3) 21, p. 11, 214, 798.
24. Denecke. Ueber die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit. Zeitschr. f. Hygiene, 1886, 1, s. 47.
25. Доброславинъ. Имриена. 1889.
26. Dufour. Nouvel hygromètre à condensation. J. de Phys. 1889 (2) s, p. 74.
27. Dufour H. Sur les substances hygrométriques. Arch. des sciences phys. et natur. de Genève. (3) 16, p. 197. Peф. Fortschritte der Phys. t. 43, 3 abt., s. 248.
28. Dufour H. Mesure de l'humidité de l'air. Ach. des sc. Phys. (3) 20, p. 210—211.
29. Dufour L. Recherches sur la diffusion, qui se produit entre l'air sec et l'air humide à travers un paroi de terre poreuse. Bull. Soc. Vaud. des sc. nat. 1874, XIII № 72 p. 165—217.
30. Dufour L. Sur la diffusion hygrométrique. Ibid. № 74, p. 608—651.
31. Edelmann. Psychrometrische Studien und Beiträge. Zeitschr. f. Meteor., 1896, s. 325.
32. Ekholm. Psychrometrische Studien. Ibid., s. 21.
33. „ Undersökningar i Hygrometri. Fortschritte der Phys., t. 44, 3 abt.
34. Elsner. Die Praxis des Chemikers. 1893.
35. Emmerich und Trillich. Anleitung zur hygienischen Untersuchungen. 1892.
36. Erismann. Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut. Zeitschr. f. Biol., 1875, Bd. 11, s. 1.
37. Эрисманнъ. Курсъ гигиены. 1887.
38. Exner. Ueber die Diffusion der Dämpfe durch Flüssigkeitslamellen. Wien. Berichte, 1877, 75³, s. 263—286.
39. Ferrel. On psychrometric tables. Fortschritte der Phys., t. 44, 3 abth., s. 437.
40. Fitzgerald. Verdunstung. Ibid. t. 43, 2 abth., s. 397.
41. Függe. Grundriss der Hygiene. 1891.
42. Флюрге. Руководство къ гигиеническимъ способамъ изслѣдованія. 1882.
43. Гаммарстенъ. Учебникъ физиологической химіи. 1892.
44. Gärtner. Leitfaden der Hygiene. 1896.

45. Gehrard et Chancel. Précis d'analyse chimique quantitative. 1859.
46. Geisich. Verdunstungsmesser. Zeitschr. f. Instrumk., 10, s. 47—60.
47. Гершунъ. Испарение. Энцикл. слов. Брокгаузъ и Ефронъ, 1894, т. XIII, стр. 436.
48. Gilbault. Nouvel hygromètre à condensation. Comptes rendues, 1889, t. 114, p. 67.
49. Guillaume. Traité pratique de la thermometrie de précision. 1893.
50. Grossmann. Beitrag zur Geschichte und Theorie des Psychrometers. Zeitschr. f. Meteor., 1889, s. 141.
51. Зворыкинъ. Опредѣленіе влажности воздуха помощью психрометра. Прилож. къ XI т. Зап. Имп. Акад. Н., 1881.
52. Зворыкинъ. Исследование о психрометрѣ. 1883.
53. Haldane and Pembrey. An Improved Method of Determining Moisture and Carbonic Acid in Air. Philos. Mag. 1890, (5) vol. 29, p. 306—331.
54. Hazen, Henry. The Condensing Hygrometer and the Psychrometer. The Amer. jour. of sc., (3) XXX, p. 435—451.
55. Hempel. Gasanalytische Methoden. 1890.
56. Houdaille. Sur les lois de l'évaporation. Comptes rendues, 1885, t. 100, p. 170—172.
57. Houdaille. Sur l'évaporation dans l'air en mouvement. Ibid. t. 101.
58. Hueppe. Handbuch der Hygiene. 1899.
59. Jamin et Bouty. Cours de Physique.
60. Каминскій. Годовой ходъ и географическое распределение влажности Россійской Имперіи. 1894.
61. Kammermann. Un nouveau thermomètre-fronde à boule mouillée. Arch. des sc. Phys., 1888.
62. Klas Sonden. Ein neues Hygrometer. Poff. Fortschritte der Physik, t. 49, abt. 3, s. 466.
63. Klas Sonden et R. Tigerstedt. Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtluftwechsel des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol., 1895, Bd. 6, s. 1—233.
64. Krieger. Untersuchungen und Beobachtungen über die Entstehung von entzündlichen und fieberhaften Krankheiten. Zeitschr. f. Biol. 1869, Bd. 5, s. 476—535.
65. Krieger. Aetiologische Studien. 1880.
66. Kundt. Zur Erklärung der Versuche Dufour's und Merget's über die Diffusion der Dämpfe. Wied. Ann., 1877, 2 s. 17—24.
67. Landauer. Der Einfluss der Wasserentziehung auf den Stoffwechsel im Organismus. VIII Congrès internat. d'Hygiène. 1896, t. IV, p. 320—324.
68. Landois. Учебникъ физиологии. 1893.

69. Landolt und Bernstein. Physicalisch-chemische Tabellen. 1894.
70. Langlois. Précis d'hygiène publique et privée. 1896.
71. Laschtschenko. Ueber den Einfluss der Wassertrinken auf Wasserdampf und Kohlensäure Abgabe des Menschen. Arch. f. Hyg., 1898, Bd. 33, s. 145—150.
72. Laval. Vérification des lois de Dalton relatives à l'évaporation. Mem de la soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux. 1882 (2) V, p. 107.
73. Laval. Evaporation des dissolutions et des liquides qui renferment des corps solides en suspension. Ibid. 1885 (3) II, p. 37—62.
74. Лачиновъ. Метеорологія и климатологія. 1889.
75. Lehmann. Die Methoden der practischen Hygiene. 1890.
76. Лейстъ. О вліянні температури столба ртуті у вѣкоторихъ максимумъ-термометрѣхъ и спочинихъ термометрѣхъ психрометра. Зап. Имп. Акад. Н. 1891.
77. Macé de Lepinay. Recherches experimentales sur le psychromètre à fronde. Jour. de Phys., 1881, p. 17.
78. Marcet. Sur l'évaporation des liquides. Comptes rendues. 1853, t. 36, p. 339.
79. Марковичъ. Полюный математическій анализъ хода загрязненія воздуха жидкихъ помѣщеній. Врѣтъ, 1885, стр. 305, 530.
80. Marriot. The Wet-bulb Thermometer. Quart. Journ. of the meteor. soc. 1877, vol. 3, p. 283.
81. Matern. Ueber ein neues einfaches Condensations-hygrometer. Wiedem. Ann., 1880, Bd. 9, s. 149—154.
82. Меликовъ. Разборъ способовъ искусственнаго увлажненія воздуха жидкихъ помѣщеній. 1882.
83. Менделѣевъ. Основы химіи. 1889.
84. Mewes. Ueber die Bestimmung der Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Gesundheits-Ingenieur, 1893, s. 17.
85. Midgley. Constructive Errors in some hygrometers. Quart. Journ. Met. Soc. 1893, vol. 19, p. 197—202.
86. Müller. Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 1879.
87. Müller-Erbach. Die Verdampfung als Mittel der Wärmemessung. Zeitschr. f. Instrumk., Bd. 10, s. 88—97.
88. Neesen. Abänderung des Absorptionshygrometers nach Rüdorff. Wiedem. Ann., 1880, Bd. XI, s. 521—529.
89. Nodon. Hygromètre à gelatine. Journ. de Phys., 1886, p. 462.
90. Nutall. Ueber den Einfluss von Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit der Luft auf die Wasserdampf-abgabe der Haut. Arch. f. Hyg., 1895, Bd. 23, s. 184—192.
91. Pembrey. Comparative Experiments with the Dry and Wet-bulb Psychrometer and an improved chemical Hygrometer. Philos. Mag., 1894 (5) vol. 35, p. 525—530.

92. Praussnitz. Grundzüge der Hygiene. 1899.
93. Puluj. Ueber Diffusion der Dämpfe durch Thonzellen. Wien. Berichte, 1877. 2 abth., s. 401—418 и 639—664.
94. Раллцевичъ. Къ вопросу о вліаніи запыленія и старенія на фланцевскія свойства одежды. 1895.
95. Regnault. Etudes sur l'hygrométrie. Ann. de Chimie et de Physique. 1845, XV, 1853, XXXVII.
96. Reichenbach. Ueber den gegenwärtigen Stand unserer Kenntniss von den physikalischen Eigenschaften der Kleidung. Hygien. Rundschau, 1894.
97. Рейнботъ. Волосной гигрометръ съ пружиной. Жив. Рус. Хим. О., 1880, XII.
98. Riedel. Haarhygrometer mit Compensationsvorrichtung. Dingler's Journal, Bd. 256, s. 442.
99. Rohrbeck. Hygroskop. Zeitschr. f. Instrumk., 1888, Bd. 8, s. 406.
100. Rubner. Die Beziehung der atmosph. Feuchtigkeit zur Wasserabgabe. Arch. f. Hyg., 1890, Bd. XI, s. 137—242.
101. Rubner. Thermische Wirkungen der Luftfeuchtigkeit. Ibid., s. 256.
102. " Notiz über die Wasserdampfausscheidung durch die Lunge. Ibid., 1898, Bd. 33, s. 151—154.
103. Rubner. Lehrbuch der Hygiene. 1892.
104. " Учебникъ гигиены. 1897.
105. Rubner und Lewaschew. Ueber den Einfluss der Feuchtigkeitsschwankungen unbewegter Luft auf den Menschen während körperlichen Ruhe. Arch. f. Hyg., 1897, Bd. 29, s. 1—55.
106. Rüdorff. Zur Bestimmung der atmosph. Wasserdampfes. Beiblätter zu den Ann. der Phys. und Chemie. 1880, Bd. 4, s. 249.
107. Савицій. Опытъ анализа воздуха, непосредственно окружающаго тѣло больного. Врачъ, 1883, стр. 401, 420.
108. Saussure. Essais sur l'hygrométrie. 1783.
109. Schierbeck. Eine Methode zur Bestimmung der Ventilation durch eine Kleidung. Arch. f. Hyg., 1893, Bd. 16, s. 203—237.
110. Schierbeck. Ueber die Bestimmung der Feuchtigkeitshaltes der Luft. Ibid., 1895, Bd. 25.
111. Scott, R. Note of the Use of the rotatory Thermometer. Quart. Journ. Met. Soc., vol. 3, p. 26.
112. Simon Subic. Manometer-Hygrometer. Wien. Ber., 1876, Bd. 73, s. 531—552.
113. Sire, Georges. Sur deux types nouveaux d'hygromètres à condensation. Comptes rendus., 1885, t. 101, p. 638.
114. Shaw. Report on hygrometric Methods. Philos. Transact., 1888 vol. 179.

115. Solberb. Versuche über die Feuchtigkeit der atmosph. Luft. Fortschritte der Phys., t. 46, s. 345.
116. Сиворцовъ. Планы и способы санитарныхъ насѣдствованій. 1889.
117. Срезневскій. Объ испареніи жидкостей. 1883.
118. " Theorie de l'hygromètre à cheveu. Учен. Зап. Импер. Юрьев. Унив., 1895, № 3, стр. 38—44.
119. Stefan. Ueber die Verdampfung aus einem Kreisförmig oder elliptisch begrenzten Becken. Wien. Berichte, 1881, Bd. 83, s. 943.
120. Stefan. Ueber die Verdampfung und die Auflösung als Vorgänge der Diffusion. Ibid., 1889, Bd. 98, s. 1418—1442.
121. Tate, Thomas. Experimental Researches an the Laws of Evaporation and Absorption. Philos. Mag., 1862, vol. 23, p. 126—283; 1863, vol. 25, p. 331.
122. Uffelmann. Handbuch der Hygiene. 1889.
123. Van Hasselt. Ein Absorptionshygrometer. Beiblätter, 1879, Bd. 3, s. 697.
124. Verschaffel. Tension de vapeur et l'état hygrométrique. Bull. de Belg. 1894 (3) 28, p. 261—275.
125. Violle. Cours de Physique. 1884.
126. Vogel, August. Experimentelle Beiträge zur Beurtheilung hygrometricischer Methoden. Abhandl. der bayer. Acad., München. 1860, t. 8, s. 297.
127. Хвольсонъ. Курсъ физики. 1897.
128. Weirauch. Ueber das Sättigungsdeficit. Zeitschr. f. Meteor., Bd. II, s. 260—264.
129. Winkelmann. Ueber Verdampfung von der einzelnen Theilen einer kreisförmigen freien Oberfläche. Wied. Ann., 1888, Bd. 35, s. 401.
130. Winkelmann. Die Verdampfung in ihrer Abhängigkeit vom äusserem Druck. Ibid. Bd. 33, s. 445—453.
131. Wolpert. Ein Procent-Hygrometer. Pof. Journ. de Phys., 1873.
132. " Hygrometer von Mumienhaaren und von Kokonfäden. Hygien. Rundschau., 1895, s. 397.
133. Wolpert. Ueber den Einfluss der Luftbewegung auf die Wasserdampf- und Kohlensäure Abgabe des Menschen. Arch. f. Hyg., 1898, Bd. 33.
134. Шидловскій. Опытъ примѣненія явленія диффузіи газовъ чрезъ пористыя тѣла къ опредѣленію влаги и углекислоты въ окружающемъ воздухѣ. 1886.
135. Шидловскій. Приборъ указывающій процентъ углекислоты. Мед. Приб. изъ Морск. Сборн., 1888.
136. Якобій. О полупрозрачныхъ тканяхъ одежды. Здоровье. 1875, № 27.