ИЗВѢСТІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ. 1899. СЕНТЯБРЬ. Т. XI, № 2.

(Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg. 1899. Septembre. T. XI, № 2.)

Объ опредѣленіи скорости и направленія движенія облаковъ.

В. Кузнецова.

Съ 1 таблицей.

(Доложено въ засѣданіи Физико-математическаго отдѣленія 6-го октября 1899 г.).

Для опредѣленія горизонтальной скорости и направленія движенія облаковъ можно пользоваться двумя способами:

1) Можно опредѣлить нефоскопомъ направленіе и угловую скорость движенія облаковъ и, найдя при помощи теодолитовъ или фотограмметровъ высоту тѣхъ же облаковъ, вычислить по этимъ даннымъ и абсолютную скорость движенія; при этомъ способѣ нужно допускать, что облака движутся горизонтально.

2) Можно пользоваться только теодолитами или фотограмметрами, сдѣлавъ чрезъ опредѣленный промежутокъ времени по два наблюденія азимутовъ и высотъ одной и той же точки облака съ каждаго изъ двухъ пунктовъ. Эти наблюденія и дадутъ необходимыя данныя для опредѣленія скорости и направленія движенія.

Второй способъ слѣдуетъ предпочесть, такъ какъ онъ даетъ скорость и направленіе движенія для опредѣленной точки облака. Однако въ тѣхъ случаяхъ, когда высота наблюдаемаго облака въ нѣсколько разъ больше базы и пройденнаго облакомъ пути, и находится оно на небольшой угловой высотѣ (напр., высота облака превосходитъ какъ базу, такъ и пройденный между наблюденіями облакомъ путь разъ въ десять, при угловой высотѣ облака градусовъ пятнадцать), послѣдній способъ даетъ совершенно ненадежные результаты, если пользоваться тѣми пріемами вычисленій, которые обыкновенно рекомендуются. Чтобы показать непригодность обыкновенно примѣняемаго способа въ нѣкоторыхъ случаяхъ, встрѣчающихся нерѣдко на практикѣ, мы воспользуемся слѣдующимъ наглядным примѣромъ.

27 Іюля н. с. 1897 г. въ Константиновской обсерваторіи удалось наблюдать шаръ зондъ «Кобчикъ», пущенный изъ СПБ. воздухоплавательнаго парка, при помощи фотограмметровъ, служащихъ для наблюденій надъ облаками. Мы воспользуемся 18-тью непосредственными наблюденіями, произведенными съ двухъ пунктовъ по телефоннымъ сигналамъ въ опредѣленные моменты времени. Шаръ этотъ въ продолженіе всего времени наблюденія, какъ видно по барограммѣ, могъ измѣнить высоту не болѣе какъ на 180 метровъ, двигаясь приблизительно на высотѣ 12000 метровъ; слѣдовательно, съ достаточнымъ приближеніемъ можно считать, что шаръ двигался горизонтально, т. е. наблюденія надъ этимъ шаромъ будутъ такого же рода, какъ наблюденія надъ перистыми облаками, достигающими иногда такой высоты.

Въ ниже приведенной таблицѣ даны: времена наблюденій, азимуты шара a_1, отсчитанные въ направленіи часовой стрѣлки отъ вертикальной плоскости, проходящей чрезъ наблюдательные пункты, и угловый высоты h_1 для перваго наблюдательнаго пункта, находящагося въ селеніи Этюпъ; a_2 и h_2 — тѣ же величины для второго пункта, расположеннаго въ полѣ, въ разстояніи 1105.3 метра отъ перваго, причемъ второй наблюдательный

Наблюденія.	Время.	Этюпъ. Столбъ I.		Поле. Столбъ II.		Высоты.			H_1-H_2
		a_1	h_1	a_2	h_2	H_1	H_2	ср. H	
1	3ч22м11с а.	308°30′	30°32′	306° 1′	31°27′	12170м	12208м	12189	—38м
2	25 17	314 33	29 51	312 20	30 48	12123	12138	12130	—15
3	27 15	318 5	29 20	316 1	30 15	11961	11939	11950	22
4	28 34	320 5	28 56	318 11	29 54	12287	12298	12292	—11
5	30 0	322 11	28 26	320 25	29 25	12370	12393	12382	—23
6	30 52	323 42	28 6	321 53	29 5	11491	11479	11485	12
7	31 46	324 56	27 55	323 18	28 48	12279	12246	12262	33
8	33 14	326 58	27 18	325 26	28 16	12096	12106	12101	—10
9	34 34	328 58	26 40	327 26	27 37	11167	11138	11152	29
10	35 34	330 22	26 21	328 58	27 19	11552	11552	11552	0
11	36 42	331 48	25 58	330 28	26 53	11403	11378	11390	25
12	37 48	333 14	25 29	332 3	26 24	11956	11963	11960	— 7
13	38 57	334 40	25 6	333 35	25 59	12184	12190	12187	— 6
14	40 6	336 2	24 42	335 0	25 33	11914	11900	11907	14
15	41 26	337 31	24 10	336 35	25 3	12100	12126	12113	—26
16	42 45	338 56	23 37	338 1	24 27	11308	11290	11299	18
17	44 14	340 26	23 9	339 36	24 0	11327	11336	11328	— 3
18	45 25	341 30	22 45	340 46	23 30	11929	11913	11921	16

пунктъ находится ниже перваго на 2 метра; въ послѣднихъ графахъ приведены высоты H_1 и H_2, вычисленныя на основаніи этихъ данныхъ по формуламъ, приведеннымъ въ статьѣ Гильдебрандсона и Гагстрема [1]), средняя изъ H_1 и H_2 и разности $H_1 - H_2$.

На прилагаемомъ чертежѣ (см. черт. 1) нанесены проэкціи на горизонтальную плоскость наблюденныхъ положеній шара (эти точки на чертежѣ соединены прямыми линіями). Каждая пара точекъ даетъ намъ возможность опредѣлить скорость и направленіе движенія шара. Я вычислилъ уголъ (φ), который составляетъ направленіе движенія шара съ базой и скорость (V) въ метрахъ въ секунду движенія шара для каждой пары сосѣднихъ точекъ.

Наблюденія.	φ	v	v^2	V	v	v^2
1— 2	29°	— 7°	49	12.1м	—5.0м	25.00
2— 3	39	3	9	11.1	—6.0	36.00
3— 4	— 2	—38	1444	15.3	—1.8	3.24
4— 5	14	—22	484	12.0	—5.1	26.01
5— 6	119	83	6889	27.8	10.7	114.49
6— 7	—20	—56	3136	31.9	14.8	219.04
7— 8	38	2	4	9.9	—7.2	51.84
8— 9	114	78	6084	18.1	1.0	1.00
9—10	— 3	—39	1521	20.4	3.3	10.89
10—11	52	16	256	8.7	—8.4	70.56
11—12	— 8	—44	1936	26.9	9.8	96.04
12—13	9	—27	729	16.3	—0.8	0.64
13—14	75	39	1521	9.1	—8.0	64.00
14—15	10	—26	676	15.8	—1.3	1.69
15—16	128	92	8464	16.2	—0.9	0.81
16—17	27	— 9	81	10.4	—6.7	44.89
17—18	— 4	—40	1600	28.5	11.4	129.96

ср. 36° Σ 34883 ср. 17.1 Σ 896.10

$$\varepsilon_\varphi = \pm\sqrt{\frac{34883}{16}} = \pm 47^\circ \qquad \varepsilon_v = \pm\sqrt{\frac{896.10}{16}} = \pm 7.5 \text{ м.}$$

Въ третьей графѣ таблицы приведены отклоненія отъ средняго направленія $\varphi = 36°$, а въ шестой графѣ — отклоненія отъ средней скорости

1) Des principales méthodes employées pour observer et mesurer les nuages par H. Hildebrand Hildebrandsson et K. L. Hagström. стр. 11.

$V=17.1$ м. Такъ какъ въ дѣйствительности направленіе и скорость теченій въ высшихъ слояхъ атмосферы весьма постоянны, то мы, какъ въ данномъ случаѣ, такъ и въ послѣдующихъ (при опредѣленіи скорости и направленія движенія облаковъ), будемъ предполагать, что въ небольшой промежутокъ времени между наблюденіями движеніе совершается съ равномѣрною скоростью и въ неизмѣнномъ направленіи, отклоненія же зависятъ только отъ неточности наблюденій. При такомъ допущеніи по вышеприведеннымъ даннымъ вычислены среднія ошибки наблюденій; для направленія движенія средняя ошибка наблюденія равна $\pm 47°$, а для скорости ± 7.5 м. Какъ видно по полученнымъ числамъ результатъ оказался весьма неудовлетворительный. Направленія движенія шара въ крайнихъ величинахъ различаются на 148°, максимальная скорость достигаетъ 31.9 м., а минимальная 8.7 м.. Такихъ большихъ колебаній въ дѣйствительности, очевидно, не было. Мы получимъ величины болѣе близкія къ дѣйствительности, если будемъ брать наблюденія не сосѣднія, а болѣе удаленныя. Вычисливъ направленіе и скорость движенія шара изъ перваго и послѣдняго наблюденій, мы нашли $\varphi = 27°$, $V = 11.4$ м. Оказывается, что уголъ φ довольно хорошо согласуется съ тѣмъ, который мы получили раньше, между тѣмъ какъ скорость движенія шара V получилась въ 1.5 раза меньше чѣмъ въ среднемъ выводѣ изъ отдѣльныхъ опредѣленій. Этого, конечно, и слѣдовало ожидать, такъ какъ при опредѣленіи скорости по сосѣднимъ точкамъ мы приняли въ разсчетъ ломаную линію, тогда какъ въ послѣднемъ случаѣ въ наши вычисленія вошла прямая.

При наблюденіяхъ надъ облаками промежутокъ времени между двумя опредѣленіями по большей части не приходится брать болѣе одной минуты, вслѣдствіе измѣнчивости облаковъ, слѣдовательно для высокихъ облаковъ опредѣленія будутъ такого же рода, какъ для шара зонда, если пользоваться опредѣленіями по сосѣднимъ точкамъ, т. е. вообще говоря, въ тѣхъ случаяхъ, когда разстояніе отъ базы до облака значительно превосходитъ какъ базу, такъ и пройденный точкою облака путь, скорость движенія мы будемъ получать больше дѣйствительной даже изъ большого ряда наблюденій, и эта односторонняя ошибка будетъ увеличиваться съ увеличеніемъ разстоянія между облакомъ и базой, съ уменьшеніемъ пути, пройденнаго наблюдаемой точкой, и съ увеличеніемъ неточности опредѣленій горизонтальныхъ угловъ.

Если же мы допустимъ, что облака движутся горизонтально, т. е. въ вычисленія введемъ среднюю изъ высотъ облака, найденныхъ при первомъ и второмъ измѣреніяхъ, то получимъ результаты несравненно болѣе согласные. Такое допущеніе мы можемъ сдѣлать на томъ основаніи, что вертикальное передвиженіе облаковъ вообще весьма мало сравнительно съ гори-

зонтальнымъ, кромѣ кучевыхъ облаковъ, которые могутъ имѣть иногда довольно значительныя восходящія движенія; причемъ, такъ какъ опредѣленія дѣлаются фотограмметрически, то всегда видно, насколько измѣнилась высота облака въ промежутокъ времени между двумя наблюденіями: обыкновенно это перемѣщеніе бываетъ меньше предѣловъ точности измѣреній.

Изложимъ, какимъ образомъ по угловой высотѣ h и азимуту a наблюденной точки во время t и по угловой высотѣ h' и азимуту a' той же точки, наблюденной во время t' (опредѣленія h, h', a и a' сдѣланы съ одного пункта) опредѣляется направленіе и скорость движенія точки, предполагая, что движется она горизонтально на высотѣ H.

Пусть линія MN представляетъ проэкцію движенія наблюдаемой точки на горизонтальную плоскость (см. черт. 2); линія PQ — направленіе базы; точка T — мѣсто наблюденія; углы a и a' — азимуты точекъ M и N, отсчитанные отъ вертикальной плоскости, проходящей чрезъ базу; уголъ TMN обозначимъ чрезъ C, уголъ TNM — чрезъ B и уголъ MTN — чрезъ A. Уголъ φ между линіями MQ и QT есть искомый уголъ направленія движенія облака по отношенію къ базѣ. Какъ видно изъ чертежа $\angle\varphi = \angle a - \angle C = \angle a' + \angle B - 180°$, слѣдовательно опредѣленіе угла φ сводится къ опредѣленію угловъ B или C, которые найдутся изъ треугольника TMN, гдѣ сторона $TM = H\operatorname{cotg} h$, сторона $TN = H\operatorname{cotg} h'$ и $\angle A = \angle a' - \angle a$. По формуламъ тригонометріи мы имѣемъ:

$$\tfrac{1}{2}(B + C) = 90° - \tfrac{1}{2} A = 90° - \tfrac{1}{2}(a' - a).$$

$$\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(B - C) = \frac{TM - TN}{TM + TN} \cot \tfrac{1}{2} A = \frac{H\operatorname{cotg} h - H\operatorname{cotg} h'}{H\operatorname{cotg} h + H\operatorname{cotg} h'} \cot \tfrac{1}{2}(a' - a) =$$

$$= \frac{\sin(h' - h)}{\sin(h' + h)} \cot \tfrac{1}{2}(a' - a).$$

Изъ приведенныхъ формулъ опредѣляемъ уголъ B или C, а затѣмъ находимъ и уголъ φ.

Для опредѣленія проэкціи пройденнаго облакомъ пути мы можемъ воспользоваться одною изъ слѣдующихъ формулъ:

$$MN = H\cot h \frac{\sin(a' - a)}{\sin B} = H\cot h' \frac{\sin(a' - a)}{\sin C} = \frac{H \sin(h' + h) \sin \tfrac{1}{2}(a' - a)}{\sin h \sin h' \cos \tfrac{1}{2}(B - C)} =$$

$$= \frac{H \sin(h' - h) \cos \tfrac{1}{2}(a' - a)}{\sin h \sin h' \sin \tfrac{1}{2}(B - C)}.$$

При вычисленіи MN слѣдуетъ пользоваться, конечно, тою формулою, которая въ данномъ случаѣ представляется наиболѣе удобною. Опредѣливъ

MN и раздѣливъ эту величину на промежутокъ времени $t' - t$ между двумя наблюденіями, мы получимъ скорость движенія наблюденной точки облака.

Такъ какъ при фотограмметрическихъ измѣреніяхъ наблюденія дѣлаются съ двухъ пунктовъ, то мы независимо для каждаго пункта можемъ опредѣлить направленіе движенія опредѣленной точки облака; зависимость же скоростей, найденныхъ для того и другого пунктовъ, заключается лишь въ томъ, что для опредѣленія скоростей мы пользуемся одной и той же высотой облака. Такимъ образомъ, получая по изложенному пріему двѣ данныя какъ для направленія, такъ и для скорости движенія одной и той же точки облака, мы имѣемъ возможность видѣть, насколько согласуются опредѣляемыя нами величины.

Для примѣра вычисленій мы воспользуемся выше приведенными наблюденіями надъ шаромъ — зондомъ, который, какъ было упомянуто, во все время наблюденій двигался горизонтально. Вычисленные по изложенному способу углы, образуемые направленіемъ движенія шара съ базой, и скорости движенія шара приведены въ слѣдующихъ двухъ таблицахъ.

Наблюденія.	φ_I	φ_{II}	$\varphi_I - \varphi_{II}$	ср. φ	v	v^2
1— 2	27°	26°	1°	26°	0	0
2— 3	28	25	3	26	0	0
3— 4	24	27	—3	26	0	0
4— 5	22	23	—1	22	—4	16
5— 6	25	23	2	24	—2	4
6— 7	35	27	8	31	5	25
7— 8	20	24	—4	22	—4	16
8— 9	20	18	2	19	—7	49
9—10	30	33	—3	32	6	36
10—11	28	24	4	26	0	0
11—12	23	24	—1	24	—2	4
12—13	30	28	2	29	3	9
13—14	29	26	3	28	2	4
14—15	24	27	—3	26	0	0
15—16	23	20	3	22	—4	16
16—17	30	32	—2	31	5	25
17—18	26	21	5	24	—2	4

ср. 26° $\quad \Sigma$ 208

$$\varepsilon_\varphi = \pm\sqrt{\frac{208}{16}} = \pm 4°$$

Наблюденія.	V_I	V_{II}	$V_I - V_{II}$	ср. V	v	v^2
1— 2	12.3м.	12.3м.	0.0м.	12.3м.	1.0м.	1.00
2— 3	11.7	11.8	—0.1	11.8	0.5	0.25
3— 4	10.6	10.7	—0.1	10.6	—0.7	0.49
4— 5	11.0	11.0	0.0	11.0	—0.3	0.09
5— 6	12.8	11.9	0.9	12.4	1.1	1.21
6— 7	9.5	10.9	—1.4	10.2	—1.1	1.21
7— 8	11.7	11.0	0.7	11.4	0.1	0.01
8— 9	12.7	12.2	0.5	12.4	1.1	1.21
9—10	10.7	10.8	—0.1	10.8	—0.5	0.25
10—11	10.2	10.6	—0.4	10.4	—0.9	0.81
11—12	12.0	12.2	—0.2	12.1	0.8	0.64
12—13	11.1	11.5	—0.4	11.3	0.0	0.00
13—14	11.2	11.3	—0.1	11.2	—0.1	0.01
14—15	11.6	11.3	0.3	11.4	0.1	0.01
15—16	11.8	12.0	—0.2	11.9	0.6	0.36
16—17	10.0	9.8	0.2	9.9	—1.4	1.96
17—18	10.2	11.6	—1.4	10.9	—0.4	0.16

ср. 11.3 м. Σ 9.67

$$\varepsilon_v = \pm\sqrt{\frac{9.67}{16}} =$$

$$= \pm 0.8 \text{ м.}$$

Въ первой таблицѣ даны углы между направленіемъ движенія шара и базой: φ_I — углы, вычисленные по наблюденіямъ съ перваго пункта, φ_{II} — углы, вычисленные по наблюденіямъ со второго пункта; въ слѣдующемъ столбцѣ помѣщены разности между φ_I и φ_{II}; далѣе — углы φ — средніе изъ φ_I и φ_{II} и въ предпослѣднемъ столбцѣ отклоненія v, составленныя для угловъ φ отъ ихъ средняго значенія.

Во второй таблицѣ заключены аналогичныя данныя для скорости движенія: V_I — скорости движенія шара въ метрахъ въ секунду, опредѣленныя по наблюденіямъ съ перваго пункта, V_{II} — соотвѣтственныя скорости по наблюденіямъ со второго пункта, затѣмъ даны разности $V_I - V_{II}$, скорости $V = \frac{1}{2}(V_I + V_{II})$ и отклоненія v, составленныя для скоростей V отъ ихъ средняго значенія.

Сопоставимъ результаты, которые мы нашли, производя вычисленія по обыкновенно примѣняемымъ пріемамъ съ полученными по изложенному способу. Для направленія движенія въ первомъ случаѣ мы получили разность между крайними величинами 148° при средней ошибкѣ отдѣльнаго наблюденія $\pm$ 47°, здѣсь эта разность равна 13° при средней ошибкѣ отдѣльнаго наблюденія $\pm$ 4°. Для скорости движенія въ первомъ случаѣ мак-

симумъ получился равнымъ 31.9 м., минимумъ 8.7 м. при средней ошибкѣ $\pm$ 7.5 м., здѣсь же максимумъ равенъ 12.4 м., минимумъ 9.9 м. при средней ошибкѣ наблюденія $\pm$ 0.8 м. Сопоставивъ же среднія значенія угла φ и скорости V, найденныя по изложенному способу съ данными, которыя мы получили, принявъ въ разсчетъ первое и послѣднее наблюденія, мы получаемъ полное согласіе, именно: углы, подъ которыми двигался шаръ къ базѣ оказались 26° и 27°, а скорости 11.3 м. и 11.4 м.

Приведемъ еще примѣръ вычисленій скорости и направленія движенія облаковъ по обоимъ способамъ, причемъ всѣ обозначенія оставимъ тѣ же, какими мы пользовались при вычисленіи наблюденій шара зонда.

Наблюденія произведены 21 октября н. с. 1897 г. съ тѣхъ же пунктовъ (Этюпъ и поле), съ которыхъ наблюдался и шаръ зондъ. Были сдѣланы по два снимка облаковъ Cirrus'овъ съ каждаго изъ двухъ пунктовъ, первые снимки произведены въ 4 ч. 3 м. 0 с. р, а вторые въ 4 ч. 3 м. 52 с. р. На каждомъ снимкѣ было взято по шестнадцати соотвѣтственныхъ точекъ, азимуты и угловыя высоты которыхъ приведены въ двухъ слѣдующихъ таблицахъ, гдѣ также даны высоты H_1 и H_2, вычисленные по тѣмъ же формуламъ, какъ и для шара зонда, среднія значенія изъ H_1 и H_2 и разности $H_1 - H_2$.

Время съемки: 21 октября 1897 г. 4 ч. 3 м. 0 с. р.

Точки.	Этюпъ. Столбъ I.		Поле. Столбъ II.		Высота.			$H_1 - H_2$
	a_1	h_1	a_2	h_2	H_1	H_2	ср. H	
1	95°43′	37°22′	101°18′	36°56′	8507м	8495м	8501м	12м
2	104 12	36 9	109 14	35 23	8690	8672	8681	18
3	98 16	31 44	102 50	31 22	8370	8373	8372	3
4	100 39	30 20	104 49	29 57	8605	8612	8608	7
5	94 43	25 18	98 13	25 9	8470	8470	8470	0
6	94 47	23 49	98 1	23 47	8565	8604	8584	39
7	106 37	24 11	109 43	23 51	8640	8656	8648	16
8	108 26	22 41	111 26	22 21	8217	8235	8226	18
9	98 50	20 25	101 28	20 19	8776	8800	8788	24
10	94 3	19 32	96 41	19 32	8477	8512	8494	35
11	93 35	18 30	96 10	18 36	8158	8234	8196	76
12	103 56	18 9	106 11	18 5	8863	8920	8892	57
13	98 32	16 48	100 46	16 47	8413	8458	8436	45
14	103 15	16 11	105 12	16 13	9097	9194	9146	97
15	101 26	16 0	103 26	16 3	8833	8929	8881	96
16	102 38	15 26	104 35	15 28	8679	8768	8724	89

Время съемки: 21 октября 1897 г. 4 ч. 3 м. 52 с. р.

Точки.	Этюпъ. Столбъ I.		Поле. Столбъ II.		Высота.			$H_1'-H_2'$
	a'_1	h'_1	a'_2	h'_2	H_1'	H_2'	ср. H'	
1′	93°13′	36° 5′	98°39′	35°50′	8410м	8414м	8412м	4м
2′	101 27	35 9	106 29	34 36	8506	8516	8511	10
3′	96 9	30 46	100 35	30 32	8368	8384	8376	16
4′	98 27	29 36	102 39	29 18	8365	8375	8370	10
5′	93 13	24 30	96 33	24 33	8606	8668	8637	62
6′	93 20	23 14	96 32	23 15	8445	8491	8468	46
7′	104 54	23 39	107 58	23 25	8606	8645	8626	39
8′	106 52	22 15	109 35	22 0	8989	9015	9002	26
9′	97 30	20 1	100 10	19 58	8519	8555	8537	36
10′	92 56	19 6	95 30	19 9	8508	8558	8533	50
11′	92 34	18 8	94 57	18 15	8672	8754	8713	82
12′	102 43	17 50	105 0	17 47	8621	8678	8650	57
13′	97 32	16 26	99 44	16 31	8370	8462	8416	92
14′	102 8	15 54	104 11	15 56	8604	8622	8613	18
15′	100 27	15 44	102 27	15 47	8712	8802	8757	90
16′	101 39	15 9	103 33	15 13	8775	8879	8827	104

По даннымъ, приведеннымъ въ таблицахъ, были вычислены по обыкновенно примѣняемому способу углы φ, подъ которыми двигались облака по отношенію къ базѣ, и скорости движенія V.

Точки.	φ	v	v^2	V	v	v^2
1— 1′	43°	5°	25	12.2м	— 6.2м	38.44
2— 2′	31	— 7	49	11.6	— 6.8	46.24
3— 3′	53	15	225	14.0	— 4.4	19.36
4— 4′	12	—26	676	10.9	— 7.5	56.25
5— 5′	67	29	841	20.8	2.4	5.76
6— 6′	32	— 6	36	10.8	— 7.6	57.76
7— 7′	51	13	169	13.8	— 4.6	21.16
8— 8′	104	66	4356	45.8	27.4	750.76
9— 9′	— 11	—49	2401	11.1	— 7.3	53.29
10—10′	58	20	400	15.8	— 2.6	6.76
11—11′	81	43	1849	41.3	22.9	524.41
12—12′	— 9	—47	2209	11.9	— 6.5	42.25
13—13′	54	16	256	13.7	— 4.7	22.09
14—14′	— 54	—92	8464	29.1	10.7	114.49
15—15′	24	—14	196	10.5	— 7.9	62.41
16—16′	73	35	1225	21.5	3.1	9.61
	ср. 38°		Σ 23377	ср. 18.4 м.		Σ 1831.04

$$\varepsilon_\varphi = \pm\sqrt{\frac{23377}{15}} = \pm 39°$$

$$\varepsilon_v = \pm\sqrt{\frac{1831.04}{15}} = \pm 11.0\text{м}.$$

Въ третьей графѣ таблицы приведены отклоненія отъ средняго направленія движенія, а въ шестой — отклоненія отъ средней скорости и по нимъ вычислены среднія ошибки наблюденій. Затѣмъ направленія и скорости движенія были вычислены по изложенному пріему въ предположеніи, что каждая точка двигалась горизонтально на высотѣ средней изъ найденныхъ для нея въ первую и во вторую съемки. Результаты приведены въ двухъ слѣдующихъ таблицахъ.

Точки.	φ_I	φ_{II}	$\varphi_I - \varphi_{II}$	ср. φ	v	v^2
1— 1′	51°	51°	0°	51°	—3°	9
2— 2′	50	49	1	50	—4	16
3— 3′	53	52	1	52	—2	4
4— 4′	47	59	—12	53	—1	1
5— 5′	58	51	7	54	0	0
6— 6′	52	52	0	52	—2	4
7— 7′	56	53	3	54	0	0
8— 8′	56	49	7	52	—2	4
9— 9′	51	51	0	51	—3	9
10—10′	55	52	3	54	0	0
11—11′	53	49	4	51	—3	9
12—12′	55	56	— 1	56	2	4
13—13′	61	53	8	57	3	9
14—14′	56	61	— 5	58	4	16
15—15′	57	59	— 2	58	4	16
16—16′	61	58	3	60	6	36

ср. 54° $\quad \Sigma \quad 137$

$$\varepsilon_\varphi = \pm\sqrt{\frac{137}{15}} =$$

$$= \pm\ 3°$$

Точки.	V_I	V_{II}	$V_I - V_{II}$	ср. V	v	v^2
1— 1′	13.9м	13.5м	0.4м	13.7м	—0.6м	0.36
2— 2′	13.9	13.3	0.6	13.6	—0.7	0.49
3— 3′	14.1	13.8	0.3	14.0	—0.3	0.09
4— 4′	13.7	13.2	0.5	13.4	—0.9	0.81
5— 5′	15.9	14.2	1.7	15.0	0.7	0.49
6— 6′	14.2	13.7	0.5	14.0	—0.3	0.09
7— 7′	14.6	14.0	0.6	14.3	0.0	0.00
8— 8′	13.9	14.9	—1.0	14.4	0.1	0.01
9— 9′	14.4	13.4	1.0	13.9	—0.4	0.16
10—10′	14.5	13.9	0.6	14.2	—0.1	0.01
11—11′	13.7	14.4	—0.7	14.0	—0.3	0.09
12—12′	14.7	14.2	0.5	14.4	0.1	0.01
13—13′	15.8	13.4	2.4	14.6	0.3	0.09
14—14′	16.0	15.2	0.8	15.6	1.3	1.69
15—15′	14.7	14.6	0.1	14.6	0.3	0.09
16—16′	16.0	15.3	0.7	15.6	1.3	1.69

ср. 14.3 м. Σ 6.17

$$\varepsilon_v = \pm\sqrt{\frac{6.17}{15}} =$$

$$= \pm 0.6 \text{ м.}$$

Въ первой таблицѣ даны углы между направленіемъ движенія вычисленныхъ точекъ облака и базой: φ_I — углы, вычисленные по наблюденіямъ съ перваго пункта, φ_{II} — по наблюденіямъ со второго пункта, затѣмъ приведены разности $\varphi_I - \varphi_{II}$, углы φ — среднія изъ значеній φ_I и φ_{II} и отклоненія v, составленныя для угловъ φ отъ ихъ средняго значенія.

Во второй таблицѣ даны скорости движенія въ метрахъ въ секунду точекъ облака: V_I — скорости движенія точекъ облака, опредѣленныя съ перваго пункта, V_{II} — по наблюденіямъ со второго пункта, затѣмъ даны разности $V_I - V_{II}$, скорости V — среднія изъ V_I и V_{II} и отклоненія v, составленныя для скоростей V отъ ихъ средняго значенія.

Сопоставимъ результаты, полученные по обоимъ способамъ. По обыкновенно примѣняемому способу разность между крайними величинами направленія движенія равна 158° при средней ошибкѣ наблюденія $\pm$ 39°, тогда какъ по изложенному способу эта разность равна 10° при средней ошибкѣ $\pm$ 3°; максимальная скорость движенія по первому способу получилась 45.8 м., а минимальная 10.5 м. при средней ошибкѣ $\pm$ 11.0 м., по второму же способу максимальная скорость равна 15.6 м., а минимальная 13.4 м. съ средней ошибкой $\pm$ 0.6 м., причемъ, какъ и слѣдовало ожидать,

средняя скорость изъ всѣхъ наблюденій при вычисленіяхъ по первому способу получилась больше, чѣмъ при вычисленіяхъ по второму способу, а именно: по первому — 18.4 м., а по второму — 14.3 м.

Нефоскопъ.

Въ виду того, что даже и при обработкѣ фотограмметрическихъ наблюденій выгоднѣе допускать, что облака движутся горизонтально, мнѣ кажется, слѣдуетъ считать наблюденія по нефоскопу необходимымъ дополненіемъ при облачныхъ измѣреніяхъ, тѣмъ болѣе, что вслѣдствіе быстрыхъ измѣненій нѣкоторыхъ облачныхъ формъ даже чрезъ небольшой промежутокъ времени бываетъ иногда совершенно невозможно на снимкахъ найти соотвѣтственныя точки, между тѣмъ какъ, слѣдя непрерывно по нефоскопу за выбранной точкой, бываетъ возможно въ такихъ случаяхъ сдѣлать желаемое опредѣленіе. Конечно, при этомъ необходимо, чтобы и нефоскопъ былъ приборомъ удобнымъ для наблюденій и точно построеннымъ. Какъ на лучшіе нефоскопы мы можемъ указать на два нефоскопа М. М. Поморцева. Одинъ изъ нихъ описанъ въ первомъ, а другой въ четвертомъ выпускахъ «Воздухоплаванія и изслѣдованія атмосферы».

Если въ распоряженіи у насъ имѣется фотограмметръ, то очень простой и точный нефоскопъ легко можно устроить, пользуясь пріемомъ М. М. Поморцева. Въ фотограмметрѣ, принадлежащемъ Константиновской обсерваторіи, такой нефоскопъ устроенъ слѣдующимъ образомъ. На матовомъ стеклѣ фотографической камеры выгравированы двѣ концентрическія окружности радіусовъ такой длины, что радіусъ меньшей окружности видѣнъ изъ оптическаго центра объектива подъ угломъ въ 2°, а радіусъ большей — подъ угломъ въ 4°. Чрезъ центръ окружностей проведены два перпендикулярныхъ діаметра, изъ которыхъ одинъ совпадаетъ съ вертикальною плоскостью, проходящею чрезъ оптическую ось объектива. Окружности раздѣлены отъ 10° до 10°, причемъ 0 дѣленій находится на нижней части діаметра, совпадающаго съ вертикальною плоскостью, проходящею чрезъ оптическую ось объектива, и дѣленія возрастаютъ въ направленіи обратномъ движенію часовой стрѣлки. Наблюденія при помощи такого прибора производятся такъ: наводятъ центръ круговъ на какую нибудь рѣзко очерченную точку облака и, не сдвигая фотограмметра, слѣдятъ за этой точкой, пока она не дойдетъ до окружности круга (если облака движутся не очень быстро, то до окружности меньшаго круга, при быстромъ же движеніи до окружности большого круга). Въ этотъ моментъ замѣчаютъ, сколько секундъ прошло отъ начала движенія, а также отмѣчаютъ тотъ градусъ на кругѣ, къ которому подошла наблюдаемая точка; такъ какъ

круги раздѣлены до 10°, то, оцѣнивая на глазъ десятыя части, можно уголъ опредѣлить съ точностью приблизительно до 1°. Затѣмъ остается только сдѣлать отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругамъ фотограмметра. Изложимъ, какимъ образомъ по этимъ даннымъ опредѣляется направленіе и скорость движенія облаковъ. Предположимъ, что мы поставили фотограмметръ подъ угломъ h къ горизонту; пусть будетъ (см. черт. 3) Oo направленіе оптической оси, I — оптическій центръ объектива, $adbc$ — кругъ съ центромъ въ точкѣ o, начерченный на матовомъ стеклѣ камеры, причемъ діаметры ab и cd перпендикулярны между собою, и кромѣ того ab находится въ вертикальной плоскости, проходящей чрезъ оптическую ось. Построимъ два конуса: одинъ, имѣющій вершину въ точкѣ I, а основаніемъ кругъ $adbc$, а другой съ такимъ же угломъ между образующими и съ вершиной въ той же точкѣ I; осью послѣдняго пусть служитъ IO — продолженіе линіи Io, а перпендикулярное къ оси сѣченіе будетъ кругъ $A'CB'D$ съ центромъ въ точкѣ O. Чрезъ точку O проведемъ плоскость параллельную горизонту, которая пересѣчетъ конусъ по эллипсу $ACBD$. Линія пересѣченія плоскостей $A'CB'D$ и $ACBD$ будетъ параллельна горизонтальной линіи cd; плоскость, проходящая чрезъ линію ab перпендикулярную cd и точку I, пересѣчетъ плоскости $ACBD$ и $A'CB'D$ по линіямъ AB и $A'B'$ перпендикулярнымъ къ CD.

Пусть въ плоскости $ACBD$ отъ точки O къ точкѣ M движется наблюдаемая нами точка облака. Наблюдая за этой точкой по матовому стеклу, мы замѣтимъ, что она перемѣстится изъ точки o въ точку m. Положимъ, что мы опредѣлили по матовому стеклу уголъ aom, равный углу $A'OM'$. Обозначимъ этотъ уголъ, названный М. М. Поморцевымъ «угломъ положенія» чрезъ p, уголъ AOM — чрезъ a и уголъ AOA', равный зенитному разстоянію, — чрезъ z. Принявъ точку O за центръ, опишемъ произвольнымъ радіусомъ сферу, тогда изъ прямоугольнаго сферическаго треугольника, образованнаго трехграннымъ угломъ $OMDM'$ будемъ имѣть:

$$\operatorname{tang} a = \operatorname{tang} p \cos z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Обозначивъ уголъ MOM' чрезъ ω, изъ того же сферическаго треугольника мы получимъ:

$$\operatorname{tang} \omega = \operatorname{tang} z \cos p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) позволяютъ намъ по наблюденнымъ угламъ p и z опредѣлить углы a и ω[1]). Уголъ a даетъ направленіе движенія облака по

1) Формулы (1) и (2) выведены М. М. Поморцевымъ въ его статьѣ «Приборъ для опредѣленія направленій и угловыхъ скоростей движеній облаковъ», стр. 7 и 10. С.-Петерб. 1896 г.

отношенію къ вертикальной плоскости, проходящей чрезъ оптическую ось камеры. Если мы знаемъ уголъ этой послѣдней плоскости съ плоскостью меридіана, то легко опредѣлимъ и азимутъ движенія наблюденной точки облака.

Найдемъ теперь длину пути OM, пройденнаго наблюденной точкой. Обозначимъ уголъ OIM чрезъ q; $\angle MOM' = \angle\omega$ — опредѣленъ выше; уголъ $M'OI$ прямой, слѣдовательно $\angle MOI = 90° - \omega$. Изъ треугольника MOI мы имѣемъ:

$$\frac{MO}{IO} = \frac{\sin q}{\sin(q + 90° - \omega)} = \frac{\sin q}{\cos(q - \omega)}, \quad \text{или} \quad MO = \frac{IO \sin q}{\cos(q - \omega)}.$$

Разстояніе OL наблюденной точки до горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ точку I, обозначимъ чрезъ H — это будетъ, съ достаточнымъ для нашихъ цѣлей приближеніемъ, высота тѣхъ же облаковъ, опредѣляемая при помощи теодолитовъ или фотограмметровъ съ двухъ пунктовъ. Такимъ образомъ $IO = \frac{H}{\cos z}$, слѣдовательно:

$$MO = \frac{H \sin q}{\cos z \cos(q - \omega)}.$$

Уголъ q, какъ было сказано, для малаго круга равенъ 2°, а для большого 4°; при наблюденіяхъ намъ рѣдко приходилось пользоваться большимъ кругомъ.

Раздѣливъ найденную длину MO на измѣренный промежутокъ времени, въ который наблюденная точка облака прошла отъ центра до окружности, мы получимъ искомую скорость движенія.

Приведемъ примѣръ наблюденій, произведенныхъ по изложенному способу.

Наблюденія въ Константиновской обсерваторіи произведены 27 августа н. с. 1897 г. надъ слоисто-кучевыми облаками *(SCu)*; въ 4 ч. 39 м. р. была измѣрена фотограмметрически высота облаковъ, а отъ 4 ч. 42 м. р. до 4 ч. 55 м. р. сдѣлано десять наблюденій по нефоскопу. Высоты облаковъ для шести точекъ оказались слѣдующія: 1298 м., 1282 м., 1220 м., 1098 м., 1132 м. и 1058 м., средняя изъ этихъ величинъ, принятая въ разсчетъ при вычисленіяхъ скорости движенія облаковъ равна 1181 м.

Данныя наблюденій по нефоскопу приведены въ слѣдующей таблицѣ.

Наблюденія.	Время.	t	p	z	a'
1	$4^{ч}42^{м}$ р.	23°	300°	68°	64°
2	44	10	280	58	97
3	46	10	270	57	110
4	47	12	265	65	120
5	48	16	273	71	101
6	49	14	277	67	85
7	50	12	278	64	88
8	52	11	280	64	95
9	54	10	272	61	111
10	55	12	270	64	115

Здѣсь въ третьемъ столбцѣ приведено время (t), въ которое наблюдаемая точка успѣла пройти отъ центра до окружности меньшаго круга, въ четвертомъ столбцѣ приведены углы положенія (p), въ пятомъ — зенитныя разстоянія (z) и въ шестомъ азимуты (a') (отсчитанные отъ точки сѣвера въ направленіи часовой стрѣлки) наблюдаемыхъ точекъ, когда они находились въ центрѣ круга.

По этимъ даннымъ вычислены направленія (A) и скорости (V) движенія наблюденныхъ точекъ.

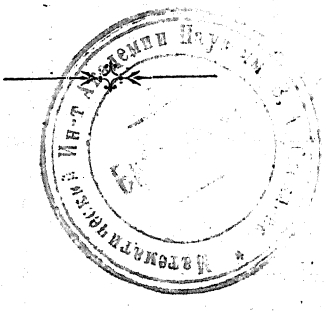
Наблюденія.	A	v	v^2	V	v	v^2
1	31°	9°	81	$7.3^{м}$	$-0.7^{м}$	0.49
2	26	4	16	8.0	0.0	0 00
3	20	— 2	4	7.6	—0.4	0.16
4	18	— 4	16	8.3	0.3	0.09
5	20	— 2	4	8.0	0.0	0.00
6	12	—10	100	7.8	—0.2	0.04
7	16	— 6	36	8.1	0.1	0.01
8	27	5	25	9.0	1.0	1.00
9	26	4	16	8.5	0.5	0.25
10	25	3	9	7.8	—0.2	0.04

ср. 22° Σ 307 ср. 8.0 м. Σ 2.08

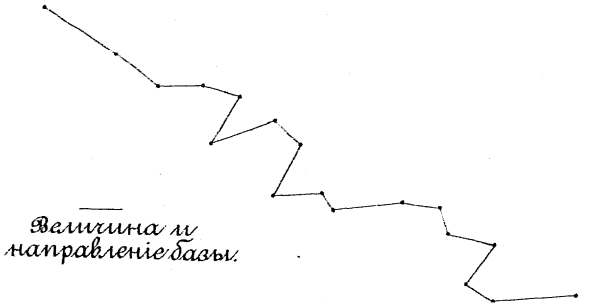
$$\varepsilon_A = \pm\sqrt{\frac{307}{9}} = \pm 6°$$

$$\varepsilon_v = \pm\sqrt{\frac{208}{9}} = \pm 0.5 \text{ м.}$$

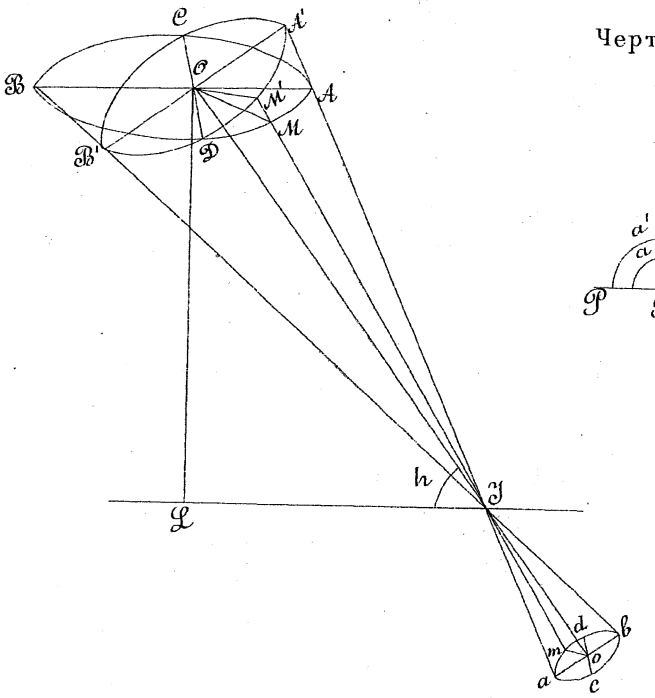
Въ третьемъ столбцѣ даны отклоненія отъ средняго направленія движенія, а въ шестомъ—отклоненія отъ средней скорости движенія и по нимъ найдены среднія ошибки наблюденій, оказавшіяся для направленія движенія $\pm 6°$, а для скорости движенія ± 0.5 м.; точность, какъ видно по приведеннымъ числамъ, получилась вполнѣ достаточная для цѣлей метеорологіи.



Черт. 1.



Черт. 3.



Черт. 2.