

**Académie impériale des sciences.
Comptes rendus des séances
de la
Commission sismique permanente.
Tome 6, 1913-1915, Saint-Pétersbourg.**

SOMMAIRE

Livraison I, 1913

*Séance du 24 février 1912	I
*Projet d'organisation d'une expédition géodésique dans le voisinage du lac Issjuk-Kul.....	XIII
*Séance du 28 mai 1912	XXVI
*Rapport sur l'installation des pendules apériodiques à enregistrement galvanométrique du système du Prince B. Galitzine à l'Observatoire physique de Tiflis	XXXII
*Séance du 12 octobre 1912	LIII
* » » 4 décembre 1912	LXI
*Résumé du rapport de M. Abold : « Sur la détermination des constantes des pendules horizontaux installés à Jurjev »	LXVI
*Résumé du rapport de M. Abold : « Sur les expériences faites pour enregistrer sur une plaque photographique le mouvement de pendules horizontaux »	LXX
*Rapport sur les travaux du Bureau Central pour les années 1911 et 1912	LXXII
*Rapport financier pour l'année 1912	LXXXII
*Projet de budget pour l'année 1913.....	LXXXVI

Comptes-rendus des séances de la Commission Centrale Sismique Permanente:

W. Abold. « Bestimmung von Konstanten an den Repsold'schen Horizontalpendeln in Jurjev »	1
W. Abold. « Versuche über Registrirung der Bewegung von Horizontalpendeln vermittelst photographischer Platte »	18
Prof. Bruno Doss. « Seismische Ereignisse in den Ostseeprovinzen vom Juni 1910 bis Ende 1912 »	25
*M. Wilip. « Sur quelques tremblements de terre au printemps de l'année 1912 »	33

Livraison II, 1914

Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ueber einen neuen, einfachen Federseismographen	57
--	----

*M. Musketov. Harry Fielding Reid. « The Elastic-Rebound Theory of Earthquakes ». (Univ. of California Publications, B. Dept. of Geol. Vol. 6, N° 19) (le référé)	155
E. Büss. Eine graphische Methode zur Umwandlung von Koordinaten.....	157
*M. Minèikovskij. Sur les tremblements de terre de Bajkal en 1912	163
J. Wilip. Über ein in Pulkovo registriertes künstliches Erdbeben	173

Livraison III, 1915

*M. M. Bykov et Gureev. Le nivelllement de la péninsule d'Apseron.....	185
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der anfanglichen Intensität eines Bebens.....	197
Rapport sur l'état actuel du service sismologique en Russie	229
*M. Wilip. Sur quelques expériences sur les ébranlements produits par des explosions et chocs artificiels	241
Fürst B. Galitzin (Golicyn). Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung während eines Erdbebens.....	273
*M. Fedorovskij. Sur le tremblement de terre dans le district de Kup'lansk le 8.VIII.1913	299

Le titre désigné par un asterisque * présente la traduction du titre original.

ИМПЕРАТОРСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУКЪ.

ИЗВѢСТИЯ
ОСТОЯННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
КОМИССИИ.

Томъ 6.

Выпускъ III.

ACADEMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.

COMPTES RENDUS DES SÉANCES
DE
LA COMMISSION SISMIQUE PERMANENTE.

Tome 6.

Livraison III.

ПЕТРОГРАДЪ. 1915. PETROGRAD.

Напечатано по распоряжению Императорской Академии Наукъ.
Мартъ 1915 г. За Непремѣнного Секретаря академикъ К. Залеманъ.

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУКЪ.
Вас. Остр., 9 лин., № 12.

Оглавлениe. — Sommaire.

Стр.	Паг.
A. Быковъ и В. Гурьевъ. Нивелировка на Апшеронскомъ полуостровѣ	*M. M. Bykov et Gurëev. Le nivellement de la péninsule d'Apšeron.
185	185
*Князь Б. Б. Голицынъ. Простой приборъ для непосредственного определенія начальной энергіи землетрясенія	Fürst B. Galitzin (Golizyn). Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der anfänglichen Intensität eines Bebens
197	197
*Отчетъ о состояніи сейсмической службы въ Россіи.	Rapport sur l'état actuel du service sismologique en Russie
229	229
И. И. Вилипъ. О нѣкоторыхъ опытахъ надъ сотрясеніями, вызванными искусственными взрывами и ударами	*M. Wilip. Sur quelques expériences sur les ébranlements produits par des explosions et chocs artificiels.
241	241
*Князь Б. Б. Голицынъ. Простой аппаратъ для непосредственного определенія максимального ускоренія движенія почвы во время землетрясенія	Fürst B. Galitzin (Golizyn). Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung während eines Erdbebens
273	273
А. Федоровскій. Землетрясение въ Купянскомъ уѣздѣ 8. VIII. 1913.	*M. Fedorovskij. Sur le tremblement de terre dans le district de Kupiansk le 8. VIII. 1913.
299	299

July 1914.

Juillet 1914.

Заглавіе, отмѣченное звѣздочкой *, является переводомъ заглавія оригинала.

Le titre désigné par un asterisque * présente la traduction du titre original.

Нивеллировка на Апшеронскомъ полуостровѣ 1912 года.

А. Быковъ и В. Гурьевъ.

Гидрометрическія измѣренія на Каспійскомъ морѣ въ послѣдніе годы съ достаточнou убѣдительностью показали, что уровень моря понижается, правда весьма медленно, но систематически, — море какъ бы высыхаетъ, мельетъ. Въ связи съ этимъ нельзя было не обратить вниманіе на такія странныя явленія, какъ внезапное и рѣзкое пониженіе уровня моря на 15 дюймовъ въ теченіе іюня 1910 г. Геологическія изслѣдованія, производимыя нынѣ на Апшеронскомъ полуостровѣ, наиболѣе останавливаются вниманіе на различномъ залеганіи надъ уровнемъ моря его позднѣйшихъ отложенийъ. Залеганія эти, колеблясь отъ 1 до 7 саж. надъ уровнемъ моря на довольно близкихъ разстояніяхъ, даютъ нѣкоторое основаніе предполагать не только о паденіи уровня моря, но и о возможномъ вертикальномъ измѣненіи береговой линіи, измѣненіи неравномѣрномъ, а можетъ быть въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и разнозначащемъ.

Кромѣ сего, возможно также нѣкоторое осѣданіе почвы внутри Апшеронского полуострова, въ промысловыхъ районахъ, вслѣдствіе выкачиванія огромныхъ массъ нефти. Наконецъ нѣкоторое движеніе земной коры можетъ происходить въ области грязевыхъ вулкановъ (Локъ - Батанъ, Отманъ-Базы-Дагъ и др.), часть которыхъ находится въ періодѣ дѣятельности и въ настоящее время, а также по линіямъ сбросовъ, въ изобилии разсѣкающихъ третичныя отложения.

Вопросъ о паденіи уровня моря или медленныхъ колебаніяхъ морскаго дна и береговой полосы могъ бы рѣшиться установлениемъ надлежащаго количества футштоковъ, соединеніемъ марокъ этихъ футштоковъ какъ между собою, такъ и съ точкою, лежащею внутри материка, неизмѣнность которой по высотѣ была бы вѣтъ всякаго сомнѣнія.

Точно также полное и вполне определенное суждение объ измѣненіи рельефа суши внутри полуострова, въ промысловыхъ районахъ, въ предѣлахъ грязевыхъ вулкановъ и на сбросахъ возможно получить, если сравнить высоты однѣхъ и тѣхъ же точекъ, определенныхъ нынѣ, съ таковыми же высотами, определенными черезъ иѣкоторый промежутокъ времени. Между тѣмъ, какихъ либо числовыхъ данныхъ по этому вопросу до сихъ поръ не имѣлось. Поэтому, въ цѣляхъ закрѣпленія и определенія существующихъ высотъ точекъ земной поверхности, подверженной тѣмъ или инымъ колебаніямъ, а также связи этихъ высотъ съ точками, расположеными внутри материка, въ условіяхъ, исключающихъ вѣроятность движенія суши, были командированы лѣтомъ 1912 года капитаны Корпуса военныхъ топографовъ Быковъ и Гурьевъ для производства нивеллировки высокой точности въ предѣлахъ Апшеронского полуострова и прибрежныхъ острововъ.

Произведенная нивеллировка была раскинута по всему полуострову и ограничивалась на западѣ желѣзными дорогами: Закавказской — отъ станціи Черногорки до станціи Баладжары, съ ходами на горы Аташки и Отманъ-Базы-Дагъ, и Владикавказской — отъ станціи Баладжары до станціи Сумгaitъ. Наиболѣе частое определеніе высотъ и закрѣпленіе реперовъ (марокъ) произведено: по береговой полосѣ, въ промысловыхъ районахъ: Балаханахъ, Сураханахъ, Баби-Эйбатъ, Шабанахъ и Бинагадахъ, на островахъ Наргинѣ и Святомъ, на вершинахъ грязевыхъ вулкановъ и на сбросахъ.

Работа началась заложеніемъ прочныхъ, постоянныхъ нивеллярныхъ реперовъ, а также и временныхъ марокъ въ узловыхъ пунктахъ полигоновъ.

Въ цѣляхъ незыблемости и сохранности на долгіе годы нивеллярныхъ марокъ, эти послѣднія закладывались въ желѣзныхъ трубахъ, діаметромъ въ 6 вершковъ, прочно и основательно укрѣпленныхъ въ землю. Для этого трубы замуровывались бутовою кладкой на глубину 3 арш., и лишь въ совершенно сплошной скалѣ труба углублялась на $2\frac{1}{2}$ аршина. Для большей прочности и незыблемости трубы, въ послѣдней дѣлалось двѣнадцать діаметрально расположенныхъ отверстій шириной $1\frac{1}{4}$ дюйма; въ нихъ пропускались 6 крестообразно расположенныхъ стержней, съ которыми труба и опускалась въ заготовленную яму. Въ болѣе мягкому грунту глубина ямы дѣлалась 1,1 саж., при чемъ на высоту 0,1 саж. производилась бутовая кладка основанія, на которое и ставилась труба. Затѣмъ труба выравнивалась по отвѣсу, затуровывалась цементнымъ растворомъ, пережаляемымъ бутовою кладкою изъ крупныхъ камней на жидкой цементной заливкѣ. Внутренность трубы заполнялась такимъ же образомъ и сверху

вкладывалась расширяющимся къ концу отросткомъ б верш. марка съ государственнымъ гербомъ. Въ центрѣ марки наглухо вдѣльвалась стальная шарообразная головка, вершина которой являлась опредѣляемою точкою.

Труба съ маркою накрывалась колпакомъ изъ толстаго листового жалѣза, прикрѣпляемымъ къ трубѣ б-ю большими винтами (шурупами). Съ южной стороны трубы, а также и на колпакѣ, штампомъ выбивался соотвѣтственный № марки. По окончаніи нивеллировки марка закрывалась колпакомъ, завинчивалась шурупами, зарывалась землею, обкладывалась камнями и надъ нею возвышался небольшой курганъ, высотою 2 аршина и шириной въ основаніи 2 сажени.

Полевые работы производились по инструкціи для нивеллировокъ высокой точности, составленной Военно-Топографическимъ Отдѣломъ Главнаго Управлѣнія Генеральнаго Штаба. Наблюденія дѣлались только въ періоды спокойныхъ изображеній — въ ранніе утренніе и вечерніе часы, и перерывались съ повышениемъ температуры и наступленіемъ беспокойныхъ изображеній. Разстояніе отъ реекъ до инструмента (длина взгляда) не превышала 30 саженъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ уменьшалась до 25, 20 и 15 саженъ.

Нивеллировка велась отъ постоянной марки въ одну сторону до слѣдующей постоянной марки, а затѣмъ обратно, опредѣляя какъ въ томъ, такъ и въ другомъ направленияхъ промежуточныя, временные марки. Кромѣ того, нивеллировка смыкалась въ замкнутые полигоны, чѣмъ достигалась возможность судить о точности всей работы. Полигоны впослѣдствіи были уравнены.

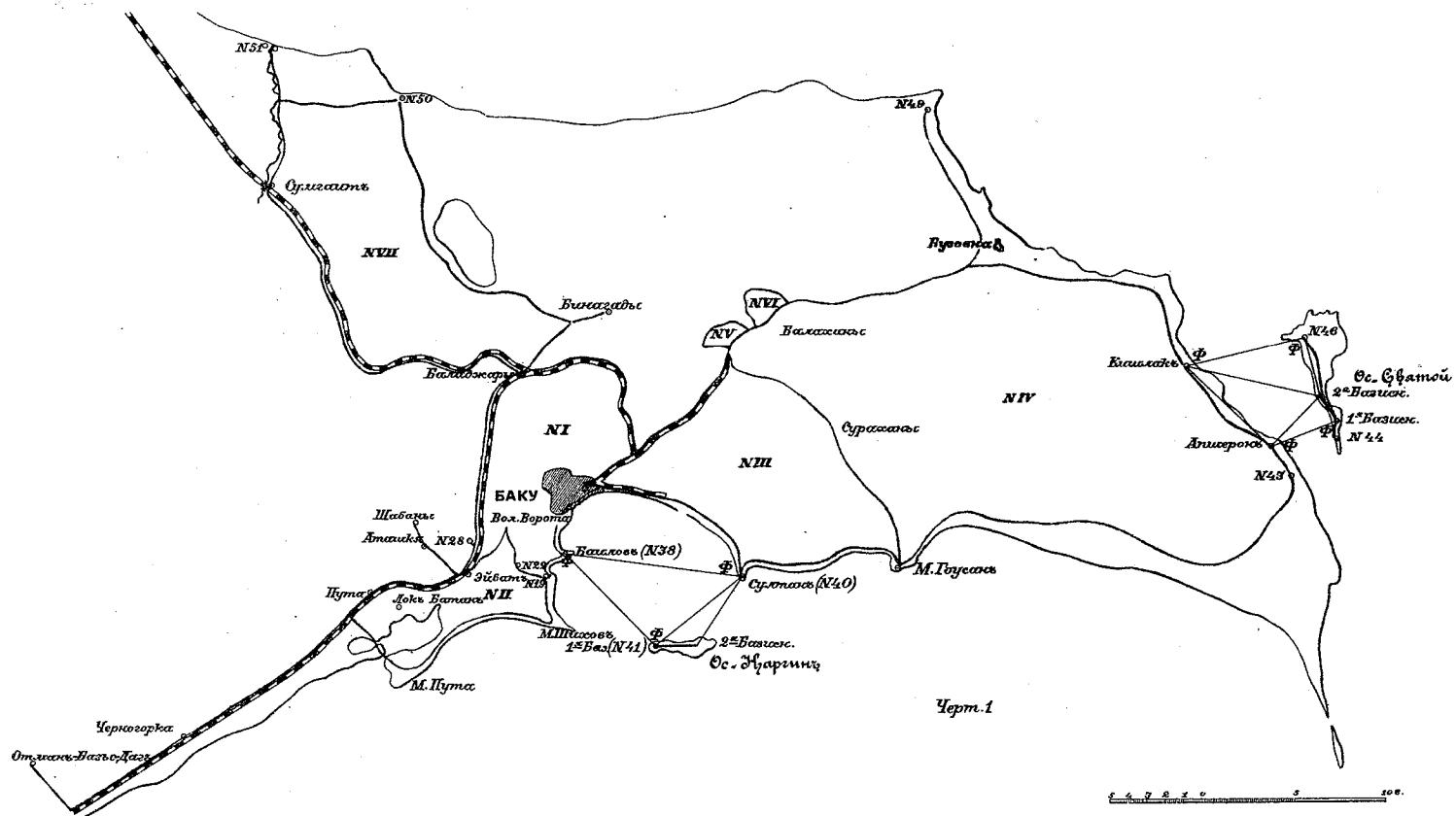
Всего двумя производителями нивеллирныхъ работъ за семь мѣсяцевъ сдѣлано: двойной нивеллировки (туда и обратно) 674 километра, заложено 98 постоянныхъ и 51 временныхъ марокъ, 6303 штатива, не считая штативовъ повторныхъ и опредѣленій инструментальныхъ ошибокъ. Кромѣ того, произведена геодезическая нивеллировка на островахъ Наргинѣ и Святомъ.

Вычисленіе абсолютныхъ высотъ началось отъ марки станціи Черногорки, находящейся за предѣлами Апшеронскаго полуострова, заложенной въ 1910 году и соединенной точною нивеллировкою съ уровнемъ Чернаго моря въ 1904—10 гг. Абсолютная высота ея ниже уровня Чернаго моря на 8,5598 саж. (18,3485 метр.)¹⁾.

¹⁾ Нивеллировка 1904—1910 гг. Поти — Баку, исполненная подполковникомъ Винниковымъ Кавказскаго военно-топографического отдѣла.

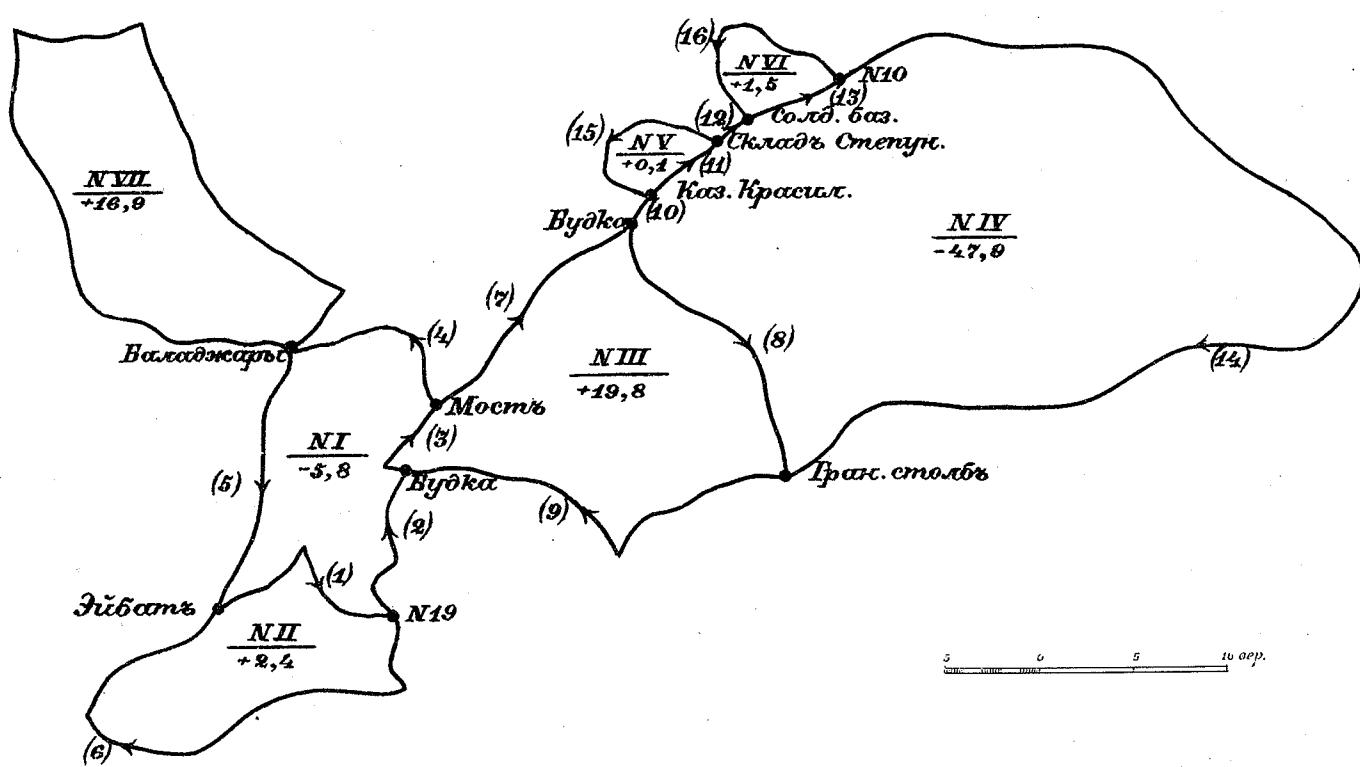
Для суждения о точности произведенной нивелировки были вычислены въроятныя, случайныя и систематическая ошибки на километр нивелировки. Эти ошибки вычислены по формуламъ, принятымъ Международнымъ Геодезическимъ Союзомъ, и получились равными: въроятная, случайная на километр $\pm 0,65$ мм., въроятная систематическая $\pm 0,25$ мм. на километр.

Такъ какъ 17-й Конгрессъ Международнаго Геодезического Союза постановилъ относить къ новой категоріи нивелировокъ высшей точности (*de haute précision*) всякую линію, группу линій или сеть, нивелированныхъ дважды въ противоположныхъ направленихъ, если случайная въроятная ошибка не превышаетъ ± 1 мм., и въроятная систематическая ошибка не превышаетъ $\pm 0,2$ мм. на километръ нивелировки, то произведенная нивелировка Апшеронского полуострова можетъ быть отнесена къ категоріи нивелировокъ высокой точности.



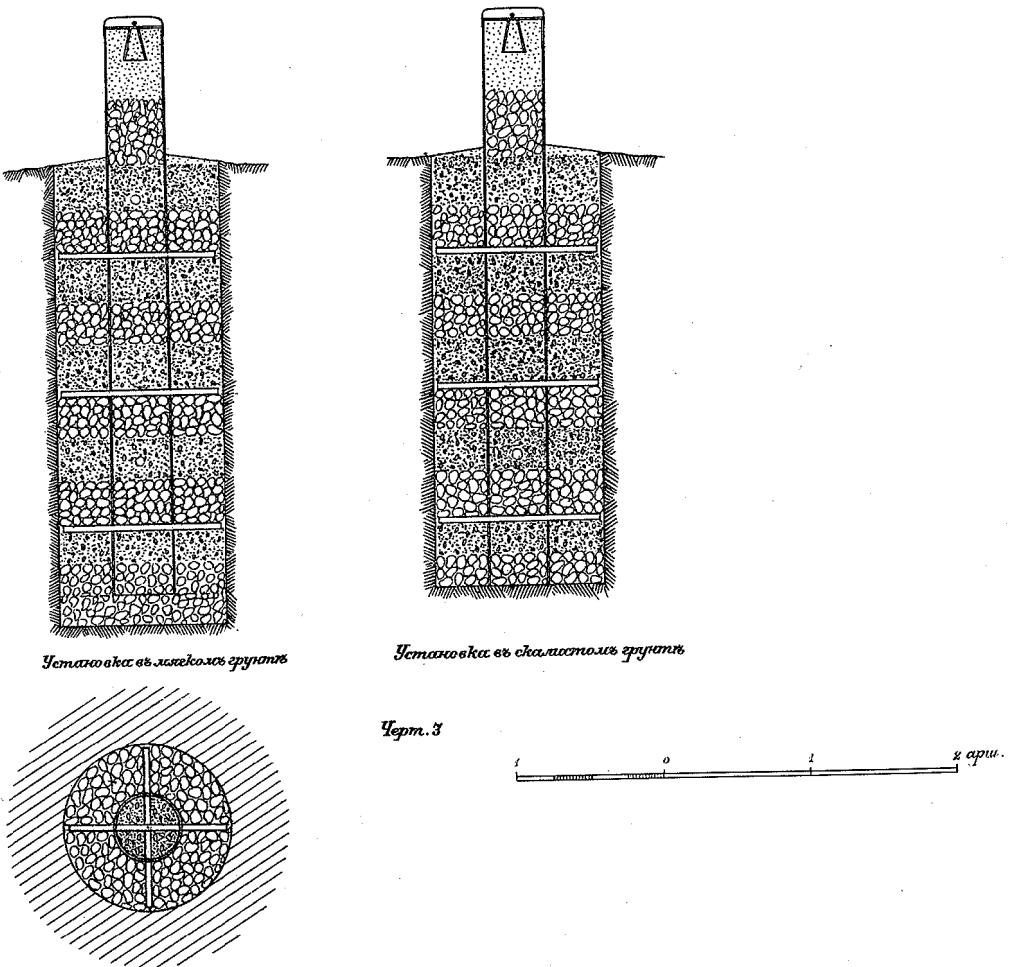
Краснымъ показаны нивеллярные ходы.

Общая схема нивелировокъ



Черт. 2.

Схема полигонов и их связки в миллиметрах.



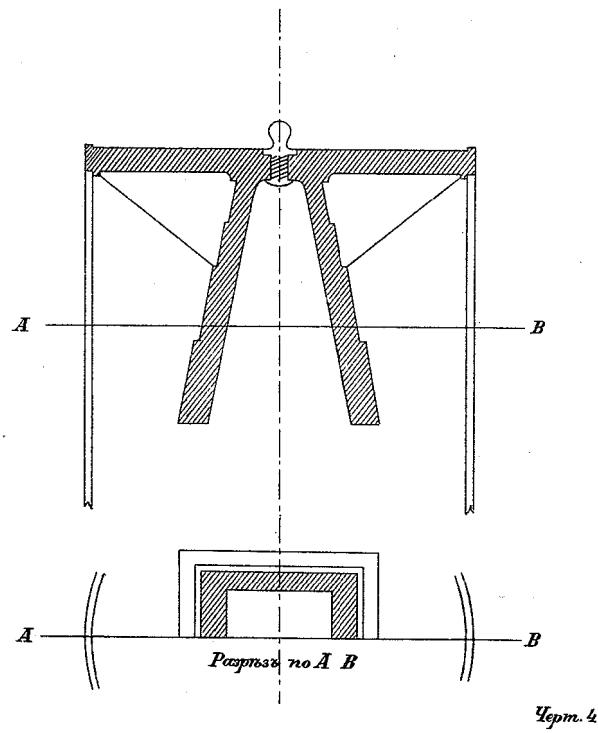
Установка в ложементе грунтов

Установка в скальном грунте

Черт. 3

1 0 1 2
в ари.

Чертежъ репера.



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 сантим.

СПИСОКЪ

абсолютныхъ высотъ марокъ.

№ по порядку.	Наименование и места марокъ.	Метры.	Сажени.
1	Мысъ Султанъ, монолитъ № 1-й, временная марка .	— 14.9719	— 7.0172
2	Вилла Петролеа, стержень въ оградѣ, временная марка	— 17.4716	— 8.1888
3	Контора Т-ва Нобель, стержень въ зданіи, временная марка	— 21.0720	— 9.8763
4	Будка таможенной вѣтки жел. дор., времен. марка .	— 17.7406	— 8.3149
5	Камень трубы у стѣны адмиралтейства, временная марка	— 22.8656	— 10.7169
6	Баку, марка 1910 г. въ зданіи станціи	— 9.1851	— 4.3050
7	Мостъ пересѣч. жел. дор. на Сабунчи и Баладжары, временная марка	+ 8.0049	+ 3.7518
8	Кишли, зданіе полуказармы, марка 1910 г.	+ 20.7577	+ 9.7290
9	Будка 796-й версты, временная марка.	+ 32.2842	+ 15.1079
10	Баладжары, зданіе станціи, марка 1910 г.	+ 51.3137	+ 24.0503
11	Будка 782-й версты, временная марка.	— 10.1165	— 4.7415
12	Станція Эйбатъ, зданіе станціи, марка 1910 г.	— 15.9545	— 7.4777
13	» Пута, зданіе станціи, марка 1910 г.	— 18.9934	— 8.9020
14	Полуказарма на 772-й верстѣ, временная марка . .	— 14.3390	— 6.7206
15	Станція Черногорка, зданіе станціи, марка 1910 г. .	— 18.3485	— 8.5998
16	Полуказарма на 757-й верстѣ, временная марка . .	— 5.5812	— 2.6159
17	Мысъ Пута, временная марка въ развалинахъ каменного дома	— 21.5734	— 10.1118
18	Промыслы Шабаны, временная марка въ нефтяномъ чанѣ	+ 158.9814	+ 74.5132
19	Жилой домъ на Шабанахъ, временная марка	+ 188.8195	+ 88.4981

№ по порядку.	Наименование и места марокъ.	Метры.	Сажени.
20	Марка № 29/I у «Вѣчныхъ огней» при горѣ Аташкя	+ 223.4196	+ 104.7149
21	Марка № 29/II у «Вѣчныхъ огней»	+ 224.8739	+ 105.3965
22	» № 30/II при дорогѣ на С.-З. отъ «Вѣчныхъ огней»	+ 213.5125	+ 100.0715
23	Марка № 30/I при дорогѣ на С.-З. отъ «Вѣчныхъ огней»	+ 214.3310	+ 100.4551
24	«Волчьи Ворота», временная марка верхней скалы .	+ 155.5767	+ 72.9174
25	Канцелярія адмиралтейства въ Баку, марка 1910 г.	— 19.6707	— 9.2195
26	Верхній срѣзъ рейки футштока военного порта . .	— 22.4657	— 10.5295
27	Марка № 38 на мысѣ Баиловѣ	— 22.6358	— 10.6092
28	Уровень моря при маркѣ № 38 1-го июля 1912 г. въ 3 часа дня	— 24.8179	— 11.6319
29	Вершина свай, временная марка	— 10.6113	— 4.9734
30	Марка № 20 въ зданіи электрической станціи промысла Зубалова на мысѣ Нафталанъ на Биби-Эйбатѣ	— 12.7778	— 5.9888
31	Марка № 20 bis въ жиломъ домѣ промысловъ Зубалова	— 9.3563	— 4.3852
32	Марка № 19 на 54 участкѣ Тифлисскаго Товарищества	— 4.8036	— 2.2514
33	Марка № 21 на 7 участкѣ Российскаго Нефтепром. О-ва (Огулевича)	— 9.1894	— 4.8070
34	Марка № 37 на южной оконечности горы Шиховой.	— 19.1408	— 8.9711
35	» № 22/II на обрывѣ противъ 1-го участка Биби-Эйбата	+ 143.7773	+ 67.3872
36	Марка № 22/I на вершинѣ обрыва къ Биби-Эйбату.	+ 150.3730	+ 70.4785
37	» № 22/III на 2-й вершинѣ обрыва къ Биби-Эйбату,	+ 176.7483	+ 82.8404
38	Марка № 23/I на обрывѣ къ Ясамальской долинѣ.	+ 189.1770	+ 88.6656
39	» № 23/II » » » » .	+ 186.0973	+ 87.2222
40	» № 23/III » » » » .	+ 191.6131	+ 89.8074
41	» № 36 на береговой террасѣ у мыса Пута . .	— 18.1844	— 8.5229
42	» № 34/I на берегу моря противъ станціи Черногорки.	— 19.5674	— 9.1711

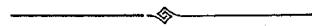
№ по порядку.	Наименование и места марокъ.	Метры.	Сажени.
43	Марка № 34/II противъ станціи Черногорки	— 18.2153	— 8.5374
44	» № 35 на вершинѣ грязеваго вулкана Отманъ-Базы-Дагъ	+ 392.8181	+ 184.1105
45	Камень моста на 774,1 вер., временная марка	— 21.4758	— 10.0655
46	Марка № 31/I противъ будки на 775 вер.	— 21.8970	— 10.2629
47	Марка № 31/II рядомъ съ маркою № 31/I.	— 22.0622	— 10.3404
48	» № 31/III около будки на 775 вер.	— 22.7414	— 10.6587
49	» № 31/IV рядомъ съ маркою № 31/III.	— 22.7192	— 10.6483
50	» № 32 на вершинѣ грязеваго вулкана Локъ-Батанъ.	+ 84.3010	+ 39.5112
51	Пикетный столбикъ съ цифр. 4/5, временная марка .	— 16.6732	— 7.8146
52	Марка № 33/III около будки 772 вер.	— 13.1092	— 6.1442
53	» № 33/IV въ 1/2 вер. къ съверу отъ будки 772 вер.	— 21.0214	— 9.8525
54	Марка № 33/I у подножія вулкана Локъ-Батанъ .	— 17.0653	— 7.9984
55	» № 33/II » » » » .	— 17.5828	— 8.2175
56	» № 28/I у подножія горы Атапкя, противъ будки	— 6.7358	— 3.1570
57	Марка № 28/II рядомъ съ маркою № 28/I	+ 0.8749	+ 0.4101
58	Строющаяся церковь при станціи Баку, марка 1910 г..	— 15.9006	— 7.4525
59	Марка № 39 на участкѣ Т-ва Нобель, противъ виллы Петролеа.	— 19.7591	— 9.2609
60	Временная марка въ скаль къ с. отъ Апшеронскаго маяка	— 10.1591	— 4.7615
61	Верхній центръ сигнала Апшеронъ, временная марка	— 8.0717	— 3.7831
62	Уровень моря противъ временнай марки Апшеронъ 27-го сент. 1912 г. въ 12 час. дня.	— 25.1350	— 11.7806
63	Верхній центръ сигнала на 1-й Базисной на Свя-томъ Островѣ, временная марка	— 19.9104	— 9.3318
64	Тюркяндъ, телеграфный столбъ 2/12, временная марка	— 13.0065	— 6.0960
65	Скала у столбика при дорогѣ въ дер. Зырю, времен-ная марка	— 15.4059	— 7.2206

№ по порядку.	Наименование и мѣста марокъ.	Метры.	Сажени.
66	Скала при деревнѣ Зыря, временная марка	— 12.1956	— 5.7160
67	Камень у кустовъ, временная марка	— 19.7381	— 9.2511
68	Корень дерева при озерѣ, временная марка	— 17.8849	— 8.3591
69	Надгробная плита кладбища, временная марка . . .	— 12.0277	— 5.6378
70	Помостъ пристани при футштокѣ Апшеронъ, временная марка	— 23.4921	— 11.0105
71	Марка № 43 противъ Апшеронскаго маяка	— 20.7733	— 9.7363
72	Верхній срѣзъ рейки футштока военнаго порта . .	— 24.1599	— 11.3230
73	Начало дѣленій рейки футштока военнаго порта (цифра V).	— 22.6869	— 10.6332
74	Будка линейнаго сторожа на 12 верстѣ къ Сабунчамъ, временная марка	+ 17.8988	+ 8.3890
75	Сабунчи, зданія и станціи (малая чугунная марка) .	+ 12.1965	+ 5.7164
76	Марка № 1, соборъ въ Сабунчахъ.	+ 33.6576	+ 15.7750
77	Телефонный столбъ въ Сураханахъ, времен. марка .	+ 54.1541	+ 25.3816
78	Марка № 18/II (участокъ Т-ва Бр. Нобель)	+ 43.0795	+ 20.1910
79	» № 18/I » » »	+ 46.1219	+ 21.6169
80	» № 17/I (у бугра Аташкя)	+ 58.1346	+ 27.2472
81	» № 17/II (на бугрѣ Аташкя)	+ 63.8980	+ 29.9484
82	» № 15, храмъ огнепоклонниковъ	+ 62.5482	+ 29.3158
83	» № 16/I урочище Каракчуръ	+ 56.9055	+ 26.6711
84	» № 16/II » »	+ 61.9193	+ 29.0210
85	» № 16/III » »	+ 68.0794	+ 31.9082
86	» № 16/IV » »	+ 60.2672	+ 28.2467
87	Границый столбъ у сарайа къ Гоусану, временная марка	— 7.1348	— 3.3440
88	Марка № 40 (Султанъ)	— 19.8201	— 9.2895
89	Мостъ на 1215—1216 верстѣ (устой моста), временная марка	+ 72.9969	+ 34.2130
90	Хурдаланъ, новое зданіе разъѣзда (малая чугунная марка)	+ 94.2316	+ 44.1655
91	Гѣздекъ, разъѣздъ, новое зданіе (малая чугунная марка)	+ 63.2579	+ 29.6484

№№ по порядку.	Наименование и места марокъ.	Метры.	Сажени.
92	Марка № 52 на зданії станції Сумгаїтъ (малая чугунная марка).	+ 6.2717	+ 2.9395
93	Сумгаїтъ, пакгаузъ (большая чугунная марка). . .	+ 6.4076	+ 3.0032
94	Караванъ-сарай, временная марка	— 8.0458	+ 3.7710
95	Бинагады, граничный столбъ, временная марка . .	+ 32.3126	+ 15.1446
96	Марка № 25 (Бинагады)	+ 32.8591	+ 15.4008
97	» № 25 bis (Бинагады)	+ 56.0730	+ 26.2809
98	Масазыръ, граничный столбъ (у группы марокъ № 26), временная марка	+ 19.6909	+ 9.2290
99	Марка № 26/ III (Керпюкъ-шарь)	+ 22.7311	+ 10.6539
100	» № 26/ IV » »	+ 21.7276	+ 10.1835
101	» № 26/ I » »	+ 24.6760	+ 11.5654
102	» № 26/ II » »	+ 30.9094	+ 14.4870
103	» № 50 (Джоратъ)	— 14.3160	— 6.7098
104	» № 51	— 12.5003	— 5.8588
105	» № 27/ I (подножье грязеваго вулкана Зигиль-Пири)	+ 105.3017	+ 49.3540
106	Марка № 27/ II (подножье грязеваго вулкана Зигиль-Пири)	+ 91.5926	+ 42.9287
107	Сабунчи, товарная платформа, временная марка . .	+ 11.0542	+ 5.1810
108	Казармы Красильникова, временная марка на фундаментѣ	+ 20.9470	+ 9.8177
109	Складъ Степунина, временная марка на фундаментѣ	+ 27.3234	+ 12.8062
110	Солдатскій базаръ, граничный столбъ, временная марка	+ 29.9857	+ 14.0540
111	Марка № 10 (Каспийско-Черноморского Общества, участокъ 38)	+ 31.7825	+ 14.8962
112	Марка № 9/ IV (Романы)	+ 27.6532	+ 12.9608
113	» № 9/ I »	+ 26.4973	+ 12.4191
114	» № 9/ II »	+ 26.3685	+ 12.3587
115	Скала у колодца съ деревомъ (Бузовна), временная марка	+ 15.8915	+ 7.4482
116	Марка № 9/ III (Романы)	+ 29.2329	+ 13.7012

№№ по порядку.	Наименование и мѣста марокъ.	Метры.	Сажени.
117	Марка № 11 (Манташева, 58 участокъ)	— 21.7350	— 10.1870
118	Скала у колодца съ краномъ (Загульба), временная марка	— 29.4297	— 13.7984
119	Марка № 48 (Загульба).	— 21.2058	— 9.9390
120	» № 49 (Бильгя)	— 20.1903	— 9.4630
121	» № 47 (Шоуланъ)	— 18.1043	— 8.4853
122	Кишилакъ Дюбанды, временная марка на камнѣ . . .	— 17.5174	— 8.2103
123	Ворота промысла Бенкендорфа на фундаментѣ, временная марка	— 42.7719	— 20.0468
124	Марка № 2 (XVII участокъ Бенкендорфа)	— 45.7419	— 21.4388
125	» № 2 (Богъ-Бога, грязевой вулканъ)	— 83.1324	— 38.9634
126	Электрическая станція, временная марка на фундаментѣ	— 26.2707	— 12.3129
127	Марка № 5 (48 участокъ Манташева)	— 29.7761	— 13.9558
128	» № 4 (Касабовскій участокъ 26)	— 37.5515	— 17.6001
129	» № 6 (участокъ Т-ва Бр. Нобель)	— 29.0707	— 13.6252
130	Ворота на Романинскомъ шоссе (на фундаментѣ), временная марка	— 26.8575	— 12.5879
131	Крыльцо дома Каспійского Товарищества, временная марка	— 23.8147	— 11.1617
132	Марка № 14 (участокъ Т-ва Бр. Нобель 171)	— 19.9207	— 9.3367
133	» № 13 (участокъ № 43 Каспійского Товарищества)	— 33.8893	— 15.8836
134	Марка № 12 (Каспійско - Черноморского Общества № 107)	— 16.8514	— 7.8981
135	Марка № 8 (Промыселъ Меликова)	— 27.6388	— 12.9541
136	» № 7 / I (Арало-Каспійского Общества)	— 28.8094	— 13.5027
137	» № 7 / II	— 28.6012	— 13.4051
138	» № 7 / IV (участокъ Арамаздова)	— 31.5317	— 14.7786
139	» № 7 / III »	— 30.6501	— 14.3654
140	» № 42 (мысъ Гоусанъ)	— 19.9078	— 9.3306
141	Фундаментъ сарая, временная марка	— 20.3786	— 9.5489
142	Мюльфрагатъ, каменная глыба, временная марка. .	— 21.1524	— 9.9139

№ № по порядку.	Наименование и мѣста марокъ.	Метры.	Сажени.
143	Скала у колодца и дороги, временная марка	— 15.2408	— 7.1432
144	» у телеграфныхъ столбовъ, временная марка .	— 15.5257	— 7.2768
145	Памятникъ кладбища Тюркяндъ, временная марка .	— 15.0893	— 7.0722
146	Марка № 46 (Святой Островъ)	— 15.0687	— 7.0626
147	» № 45 » »	— 14.1099	— 6.6132
148	» № 44 bis (Святой Островъ)	— 20.2682	— 9.4995
149	» № 44 » »	— 20.8653	— 9.7794
150	» № 41 (Наргенъ).	— 18.7917	— 8.8075
151	Сигналъ при маркѣ № 46 (верхній центръ сигнала), временная марка	— 15.1326	— 7.0925



Juin 1914.

Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der anfänglichen Intensität eines Bebens.

Von Fürst B. GALITZIN.

Denken wir uns einen einfachen Federseismographen, welcher aus einer flachen Stahlfeder besteht, die mit dem einen Ende an einer kleinen Säule befestigt ist, an dem anderen dagegen eine schwere Masse von einigen Kilogrammen Gewicht trägt, ganz ähnlich dem Instrument, welches ich kürzlich in meinem Aufsatz «Über einen neuen, einfachen Federseismographen» beschrieben habe (I-ter Typus)¹⁾. Am Ende dieser Feder möge ein Schreibstift vermittelst einer einfachen Vergrösserungsvorrichtung mit Nadelkoppelung²⁾ angebracht werden, wobei die kleine verbindende Spiralfeder wegleiben soll. Auf diese Weise wird die Schreibfeder, wenn die erste Ablenkung des Apparats in der passenden Richtung erfolgt, ihre maximale Ablenkung erlangen und alsdann, da bei der Rückbewegung der flachen Stahlfeder die verbindende Nadel aus ihrem Nütchen herausfallen wird, in dieser abgelenkten Lage bleiben. Der Schreibstift bewegt sich dabei nicht über einer rotierenden Trommel, sondern über einer kleinen festen, berussten Glasplatte. Die auf derselben gemessene Ablenkung des Schreibstiftes y_m gibt den ersten, maximalen Ausschlag des Instruments, welcher dem Einsetzen eines Bebens in einem Schüttergebiet entsprechen möge. Ist die Nadel herausgefallen, so ist der Apparat schon ausser Tätigkeit gesetzt. Da der erste Ausschlag in entgegengesetzter Richtung erfolgen kann,

¹⁾ Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. VI, Livr. 2, p. 61. Fig. 1.

²⁾ Siehe meine «Vorlesungen über Seismometrie». Leipzig bei Teubner. 1914, p. 195.

wobei die Nadel sofort herausfällt, so müssen für jede Komponente der Bodenbewegung zwei solcher, passend eingerichteter Instrumente vorhanden sein, was, da die Apparate an und für sich sehr einfach und billig sind, keine Schwierigkeiten darbietet. Der Schreibstift muss dabei sehr leicht, gut zentriert sein und mit einer gewissen Reibung über der Glasplatte sich fortbewegen, damit er bei sehr plötzlichen Einsätzen nicht fortgeschleudert wird.

Es ist auch möglich, da die Masse des Instruments ziemlich gross ist, die Verbindung der Vergrösserungsvorrichtung mit dem Instrument selbst mittelst kleiner Kreuzfedern zu bewerkstelligen und statt des Schreibstiftes ein kleines Hækchen oder eine Lamelle zu benutzen, die über einem kleinen, etwas gebogenen Lineal mit Zähnen gleitet. Auf diese Weise wird nach dem erfolgten ersten maximalen Ausschlag die Rückbewegung des Instruments gehemmt und man braucht nur die Anzahl der Zähne zu zählen, um welche das Hækchen abgelenkt wird, wozu eine besondere Teilung dient, um den ersten maximalen Ausschlag des Instruments sofort zu bekommen. Die Berussung der Platte fällt also weg. Um die Genauigkeit der Ablesung zu erhöhen, muss die Entfernung benachbarter Zähne, die als bekannt vorausgesetzt wird, klein sein. Man kann auch in diesem Fall, d. h. bei Anwendung des gezackten Lineals statt der Glasplatte, eine Nadelverbindung anwenden, um den Apparat nach den erfolgten ersten Ausschlag ausser Tätigkeit zu setzen.

Nach erfolgter Ablesung des Instruments kann man es sofort wieder in seine Ruhelage bringen und es ist von neuem zum Gebrauch bereit. Für seismische Gebiete ist dies besonders wichtig, da erfahrungsgemäss Erdbeben in solchen Gebieten sich meistenteils durch eine Reihe zeitlich getrennter Stösse kundgeben.

Wollen wir nun jetzt sehen, was aus einem solchen gemessenen ersten maximalen Ausschlag des Instruments y_m gefolgert werden kann und welchen Bedingungen ein solcher Apparat Genüge leisten muss.

Die allgemeine Theorie eines solchen einfachen Federseismographen auf einem beweglichen Untergrund habe ich schon in meinem früher zitierten Aufsatz (l. c.) gegeben.

Bedeute nun y die zum Zeitmoment t stattfindende Ablenkung des Schreibstiftes von seiner Ruhelage und z die entsprechende Bodenverrückung senkrecht zur Federlänge, so kann die Differentialgleichung für y auf die übliche kanonische Form gebracht werden:

$$y'' + 2\epsilon y' + n^2 y + \sigma z'' = 0 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

ϵ — die Dämpfungskonstante

wo T die Eigenperiode des Apparates bei Abwesenheit irgend welcher Dämpfung und σ das normale Vergrösserungsverhältnis darstellt¹⁾, d. h. die Vergrösserung des Instrumentes für harmonische Bodenverrückungen unendlich kleiner Periode.

Wenn keine Vergrösserungsvorrichtung angebracht ist und die schwere Masse am Ende der Feder sich befindet, so unterscheidet sich σ wenig von der Einheit.

Die Dämpfung dieses Instrumentes ist erfahrungsgemäss äusserst gering.

Setzen wir

so wird h eine sehr kleine Grösse sein.

Nehmen wir nun an, dass der Apparat in Ruhe ist und eine Erdbebenwelle irgend welcher Art denselben zum Zeitmoment $t = 0$ trifft.

Für die entsprechende Komponente der Bodenbewegung können wir also setzen

wo z_m die maximale Amplitude und

die entsprechende Periode der Bodenbewegung bedeutet.

Setzen wir noch

so lässt sich, bei Zugrundelegung der Beziehung (4), das allgemeine Integral der Gleichung (1) in folgender Form schreiben²⁾:

$$y = e^{-\varepsilon t} \left[\Gamma_1 \cos \sqrt{n^2 - \varepsilon^2} \cdot t + \Gamma_2 \sin \sqrt{n^2 - \varepsilon^2} \cdot t \right] + \frac{\sigma z_m}{U} \sin p(t - \tau) \dots (7)$$

1) Die wahre Eigenperiode des Instrumentes ist $T' = \frac{2\pi}{\sqrt{\nu_0^2 - \epsilon^2}}$.

²⁾ Siehe «Vorlesungen über Seismometrie», l. c. Kapitel V, § 3.

Hierin haben U und τ folgende Bedeutung:

$$\tau = T_p \frac{\operatorname{arctg} \left\{ h \frac{2u}{u^2 - 1} \right\}}{2\pi} \dots \dots \dots \quad (9)$$

Γ_1 und Γ_2 sind zwei Integrationskonstanten, welche von den Anfangsbedingungen der Bewegung unmittelbar abhängen.

Wenn, wie in unserem Falle, ϵ sehr klein ist, so können wir, speziell für kleine Werte von t , wie diejenigen, welche hier in Betracht kommen, einfach setzen:

$$e^{-\varepsilon t} = 1$$

$$\sqrt{n^2 - \varepsilon^2} = n$$

und

$$\tau = 0$$

In dem Ausdrucke für U kann $h^2 = \frac{\varepsilon^2}{n^2}$ bei eingetreterener Resonanz ($u = 1$) sich geltend machen. Ist aber u nur ein wenig von der Einheit verschieden, so kann $4h^2 u^2$, welches das Quadrat einer äusserst kleinen Grösse enthält, im Ausdrucke von U vernachlässigt werden.

Mit diesem Vorbehalt können wir also, mit Bezug auf die Beziehung (6), die Gleichung (7) in folgender Form schreiben:

$$y = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \sin \frac{n}{u} t. \dots \dots \dots \quad (10)$$

Daraus erhält man durch einmalige Differentiation

$$y' = -n\Gamma_1 \sin nt + n\Gamma_2 \cos nt + \frac{n}{u} \cdot \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \cos \frac{n}{u} t. \dots \dots \dots (11)$$

Die Anfangsbedingungen der Bewegung sind die folgenden:

für $t = 0$ wird

$$z_0 = 0, \quad z'_0 = \frac{n}{m} z_m \quad \text{und} \quad y_0 = 0.$$

Den anfänglichen Wert von y' bekommt man in üblicher Weise durchgliedweise Integration der Gleichung (1) zwischen 0 und einem in Limes verschwindend kleinen Zeitwert t_0 .

Es wird

$$y_0' = -\sigma \frac{n}{u} z_m.$$

Setzen wir in den Gleichungen (10) und (11) $t = 0$, so wird bei Zu-

$$\Gamma_1 = 0$$

$$\Gamma_2 = -\frac{1}{n} \cdot \sigma \frac{n}{u} z_m \left[1 + \frac{1}{u^2 - 1} \right] = -\sigma z_m \frac{u}{u^2 - 1}.$$

Bringen wir diese Werte von Γ_1 und Γ_2 in die Gleichung (10) ein, so ergibt sich folgende definitive Gleichung für y :

Wollen wir nun das erste Maximum y_m für y aufsuchen; der entsprechende Zeitmoment sei t_m .

Diese Grösse muss folgender Gleichung genügen:

$$\frac{1}{u} \cos \frac{nt_m}{u} - u \cos nt_m = 0.$$

Setzen wir der Einfachheit wegen

so muss x die kleinste positive Wurzel der folgenden Gleichung sein:

In diesem Ausdruck ist u als eine gegebene Grösse zu betrachten.

Es sei hier bemerkt, dass, wenn wir für ein bestimmtes u das zugehörige x gefunden haben, sich sofort der Wert von x_1 , welcher $x_1 = \frac{1}{u}$ entspricht, angeben lässt.

Es muss nämlich sein

$$\frac{\cos \frac{x_1}{u_1}}{\cos x_1} = u_1^2 = \frac{1}{u^2},$$

oder

$$\frac{\cos x_1}{\cos ux_1} = u^2.$$

Vergleicht man diese Gleichung mit (14), so sieht man, dass

wird.

Diese Beziehung reduziert die Aufgabe des Aufsuchens der verschiedenen x auf die Hälfte.

x ist also als eine zahlenmässig bekannte Funktion von u zu betrachten.

Führen wir diese Grösse $x = nt_m$ in die Gleichung (12) ein und bezeichnen den ersten maximalen Ausschlag des Instruments durch y_m , so ergibt sich

wo der Einfachheit wegen

$$f(u) = \frac{1}{u^2 - 1} \left[\sin \frac{x}{u} - u \sin x \right] \dots \dots \dots \quad (17)$$

gesetzt wird.

Ist $u_1 = \frac{1}{u}$, also nach der Beziehung (15) $x_1 = \frac{x}{u}$, so ergibt sich

$$f(u) = \frac{1}{\frac{1}{|u_1|^2} - 1} \left[\sin x_1 - \frac{1}{u_1} \sin \frac{x_1}{|u_1|} \right]$$

oder

$$f(u) = \frac{u_1^2}{u_1^2 - 1} \left[\frac{1}{u_1} \sin \frac{x_1}{u_1} - \sin x_1 \right],$$

also

$$f(u) = u_1 f(u_1),$$

oder

Es handelt sich also darum x und $f(u)$ zu berechnen.

Für einige ausgewählte Werte von u lassen sich die Wurzeln der Gleichung (14) sehr leicht angeben, wie aus folgenden Beispielen ersichtlich ist.

$$u = \frac{1}{2} = 0,500$$

Die Gleichung (14) liefert

$$4 \cos 2x = \cos x$$

oder

$$4(2 \cos^2 x - 1) = \cos x$$

$$\cos^2 x - \frac{1}{8} \cos x - \frac{1}{2} = 0.$$

Daraus folgt

$$\cos x = \frac{1 + \sqrt{129}}{16},$$

also

$$x = 39^\circ 25' 9'' \quad \text{und} \quad f(u) = -0,8848.$$

Auf Grund der Beziehungen (15) und (18) ergibt sich noch für

$$u = 2,000 \quad x = 78^\circ 51' 8'' \quad f(u) = -0,4424.$$

$$u = \frac{1}{3} = 0,333$$

$$9 \cos 3x = \cos x$$

oder

$$9 \cos x [1 - 4 \sin^2 x] = \cos x,$$

also

$$\sin x = \frac{\sqrt{2}}{3}.$$

Daraus folgt

$$x = 28^\circ 7' 5'' \quad \text{und} \quad f(u) = -0,9428$$

und ausserdem für

$$u = 3,000 \quad x = 84^\circ 22' 5'' \quad f(u) = -0,3143.$$

$$u = \frac{1}{5} = 0,200$$

$$25 \cos 5x = \cos x$$

oder

$$25 \cos x [1 - 12 \sin^2 x + 16 \sin^4 x] = \cos x.$$

Folglich wird $\sin^2 x$ die Wurzel folgender quadratischer Gleichung sein:

$$\sin^4 x - \frac{3}{4} \sin^2 x + \frac{3}{50} = 0.$$

Daraus folgt

$$\sin x = \sqrt{\frac{3}{8}} - \sqrt{\frac{129}{1600}},$$

'also

$$x = 17^\circ 33' 75 \quad \text{und} \quad f(u) = -0,9781$$

und ausserdem für

$$u = 5,000, \quad x = 87^\circ 48' 75'' \quad \text{und} \quad f(u) = -0,1956.$$

Mit wachsendem u nähert sich x an 90° und für $u = \infty$ wird nach der Beziehung (14) $x = 90^\circ$, also

$$f(u) = \frac{1}{u^2 - 1} [-u \sin 90^\circ]_{u=\infty} = 0.$$

Nach der Beziehung (15) wird, wenn $u = 0$ ist, $x = 0$ und $\frac{x}{u} = 90^\circ$,
also

$$f(u) = -1.$$

Wollen wir noch den *Resonanzfall* $u = 1$ betrachten.

Die Gleichungen (14) und (17) nehmen dann eine unbestimmte Form an. Setzen wir $u = 1 + \xi$, wo ξ eine verschwindend kleine Grösse ist.

Dann wird

$$\frac{x}{y} = x - \xi x$$

$$\cos \frac{x}{y} = \cos x + \xi x \sin x$$

$$\sin \frac{x}{u} = \sin x - \xi x \cos x$$

$$u^2 = 1 + 2\xi,$$

also nach der Beziehung (14)

$$1 + \xi \cdot x \operatorname{tg} x = 1 + 2\xi.$$

x ist also die Wurzel folgender transzendornter Gleichung:

Daraus ergibt sich

$$x = 61^\circ 41' 4.$$

Es folgt weiter aus der Gleichung (17) für $u = 1 + \xi$

$$f(u) = \frac{1}{2\xi} [\sin x - \xi x \cos x - \sin x - \xi \sin x] \\ = -\frac{1}{2} [\sin x + x \cos x],$$

oder mit Rücksicht auf die Beziehung (19)

$$f(u) = -\frac{1 + \cos^2 x}{2 \sin x} = -0,6956.$$

Hat man also die Werte von x für einige ausgewählte u gefunden, so kann man ohne Schwierigkeit den Wert von x für ein beliebiges u berechnen.

Man bilde die Gleichung (siehe die Formel (14))

und suche durch sukzessive Annäherungen zwei benachbarte, sich wenig von einander unterscheidende Werte von x auf, für welche für den einen $\varphi(x) > 0$ und für den anderen $\varphi(x) < 0$ wird. Durch lineare Interpolation erhält man dann den Wert von x , wo $\varphi(x)$ genau gleich Null wird. Mit diesem Werte von x lässt sich $f(u)$ nach der Formel (17) berechnen.

Nach den Beziehungen (15) und (18) bekommt man alsdann die Werte von x_1 und $f(u_1)$ für $u_1 = \frac{1}{u}$.

In der folgenden Tabelle I sind die auf diese Weise von mir *direkt* berechneten Werte von x und $f(u)$ zusammengestellt.

Auf Grund der Zahlen dieser Tabelle ist die folgende II durch einfache Interpolation erhalten worden. Sie enthält die Werte der Funktion $f(u)$, auf eine Einheit der dritten Dezimale abgerundet, für verschiedene Werte des Arguments u , wobei zwischen $u = 0$ und $u = 1$ der Zuwachs von $u - 0,05$ und zwischen $u = 1$ und $u = 5 - 0,1$ beträgt.

Diese Tabelle II entspricht nicht nur dem Fall eines einfachen Federseismographen, sondern sie hat eine allgemeine Gültigkeit, da sie für die verschiedensten Typen ungedämpfter Seismographen Anwendung finden kann.

Tabelle I.

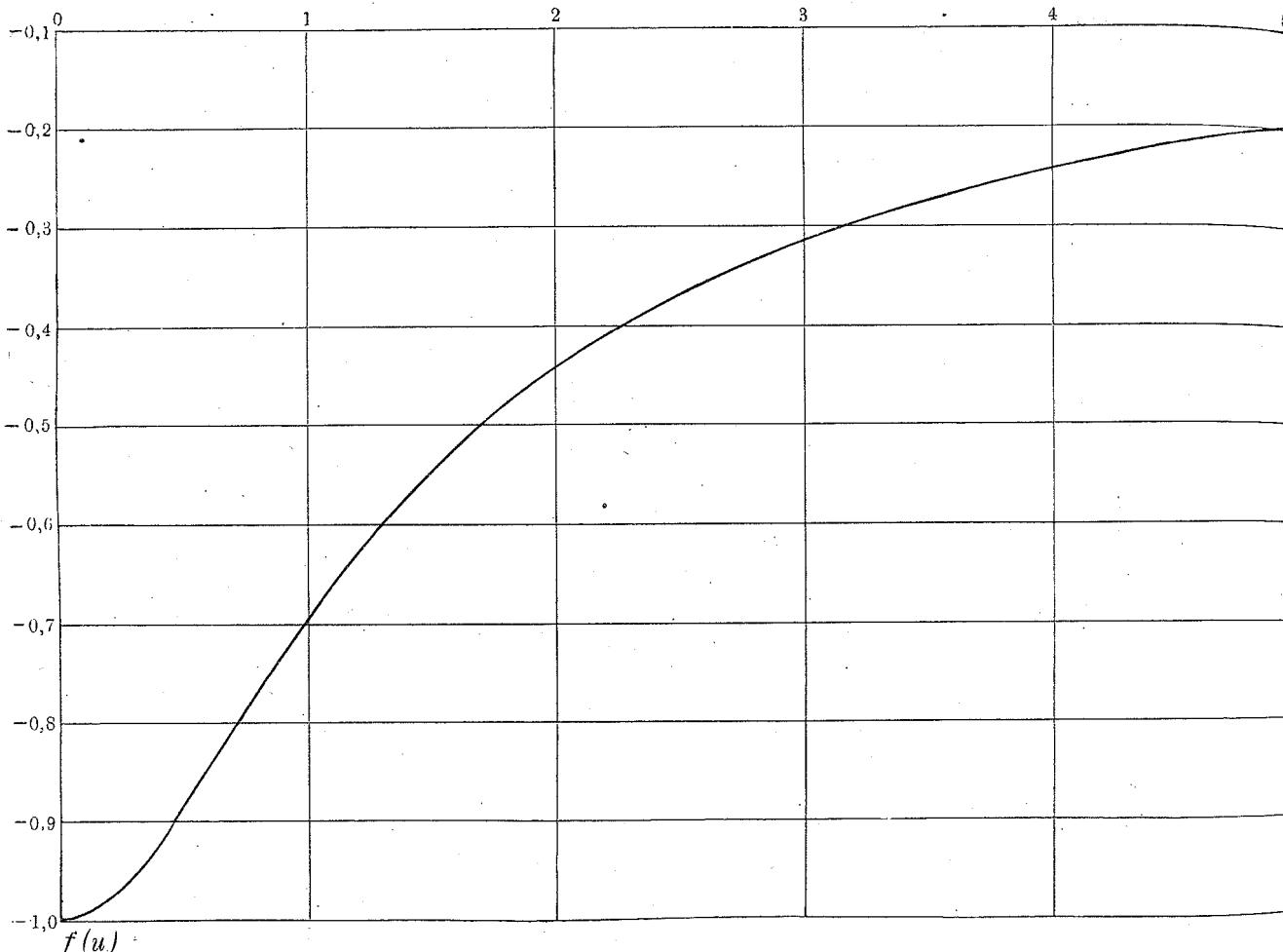
u	x	$f(u)$	u	x	$f(u)$
0,0000	0° 0,0	— 1,0000	1,0000	61° 41,4	— 0,6956
0,1000	8 56,6	— 0,9943	1,1000	64 35,1	— 0,6617
0,1250	11 8,4	— 0,9912	1,2000	67 5,7	— 0,6300
0,1667	14 44,6	— 0,9845	1,2500	68 18,75	— 0,6149
0,1818	16 2,0	— 0,9817	1,3000	69 17,3	— 0,6003
0,2000	17 33,75	— 0,9781	1,4000	71 13,0	— 0,5726
0,2083	18 15,5	— 0,9763	1,5000	72 54,6	— 0,5468
0,2174	19 0,5	— 0,9742	1,6000	74 24,1	— 0,5229
0,2273	19 49,3	— 0,9720	1,6667	75 18,2	— 0,5078
0,2381	20 42,3	— 0,9694	1,7000	75 43,3	— 0,5006
0,2500	21 40,1	— 0,9664	1,8000	76 53,6	— 0,4798
0,2632	22 43,3	— 0,9630	1,9000	77 56,2	— 0,4604
0,2778	23 52,6	— 0,9590	2,0000	78 51,8	— 0,4424
0,2941	25 8,9	— 0,9545	2,2000	80 26,9	— 0,4098
0,3125	26 33,5	— 0,9492	2,4000	81 43,8	— 0,3813
0,3333	28 7,5	— 0,9428	2,6000	82 46,8	— 0,3562
0,3571	29 52,5	— 0,9353	2,8000	83 39,0	— 0,3340
0,3846	31 50,3	— 0,9262	3,0000	84 22,5	— 0,3143
0,4167	34 3,2	— 0,9152	3,2000	84 59,3	— 0,2966
0,4545	36 34,1	— 0,9016	3,4000	85 30,5	— 0,2807
0,5000	39 25,9	— 0,8848	3,6000	85 57,2	— 0,2664
0,5263	41 1,1	— 0,8748	3,8000	86 20,3	— 0,2534
0,5556	42 43,1	— 0,8636	4,0000	86 40,2	— 0,2416
0,5882	44 32,5	— 0,8510	4,2000	86 57,6	— 0,2308
0,6000	45 10,9	— 0,8464	4,4000	87 12,9	— 0,2209
0,6250	46 30,1	— 0,8366	4,6000	87 26,3	— 0,2118
0,6667	48 36,4	— 0,8202	4,8000	87 38,3	— 0,2034
0,7143	50 52,1	— 0,8017	5,0000	87 48,75	— 0,1956
0,7692	53 17,9	— 0,7804	5,5000	88 10,8	— 0,1785
0,8000	54 35,0	— 0,7687	6,0000	88 27,6	— 0,1641
0,8333	55 54,8	— 0,7560	8,0000	89 7,3	— 0,1239
0,9091	58 42,9	— 0,7278	10,0000	89 26,0	— 0,0994
			∞	90 0,0	0

Tabelle II.

u	$f(u)$	Δ	u	$f(u)$	Δ	u	$f(u)$	Δ
0	-1,000		1,0	-0,696		3,1	-0,305	
0,05	-0,998	+ 0,002	1,1	-0,662	+ 0,034	3,2	-0,297	+ 0,008
0,10	-0,994	4	1,2	-0,630	32	3,3	-0,289	8
0,15	-0,987	7	1,3	-0,600	30	3,4	-0,281	8
0,20	-0,978	9	1,4	-0,573	27	3,5	-0,273	7
0,25	-0,966	12	1,5	-0,547	26	3,6	-0,266	7
0,30	-0,953	13	1,6	-0,523	24	3,7	-0,259	6
0,35	-0,938	15	1,7	-0,501	22	3,8	-0,253	6
0,40	-0,921	17	1,8	-0,480	21	3,9	-0,247	5
0,45	-0,903	18	1,9	-0,460	20	4,0	-0,242	6
0,50	-0,885	18	2,0	-0,442	18	4,1	-0,236	5
0,55	-0,866	19	2,1	-0,425	17	4,2	-0,231	5
0,60	-0,846	20	2,2	-0,410	15	4,3	-0,226	5
0,65	-0,827	20	2,3	-0,395	14	4,4	-0,221	5
0,70	-0,807	19	2,4	-0,381	13	4,5	-0,216	4
0,75	-0,788	19	2,5	-0,368	12	4,6	-0,212	5
0,80	-0,769	19	2,6	-0,356	11	4,7	-0,207	4
0,85	-0,750	19	2,7	-0,345	11	4,8	-0,203	4
0,90	-0,731	18	2,8	-0,334	10	4,9	-0,199	3
0,95	-0,713	17	2,9	-0,324	10	5,0	-0,196	
1,00	-0,696		3,0	-0,314	9	5,5	-0,178	
						6,0	-0,164	
						8,0	-0,124	
						10,0	-0,099	

Mit Hilfe derselben kann man immer, wenn die normale Vergrösserung des Instruments σ bekannt ist und man ausserdem die Periode T_p der betreffenden Erdbebenwelle kennt ($u = \frac{T_p}{T}$), aus dem gemessenen ersten maximalen Ausschlage y_m des Instruments in sehr einfacher Weise nach der Formel (16) die maximale Amplitude der wahren Bodenbewegung z_m bestimmen.

Fig. 1.



Solche Fälle kommen in der Praxis ziemlich oft vor. Man vergleiche z. B. die Beobachtungen von Herrn Wilip über die Erschütterungen von Gebäuden durch fallende Geschützkugeln¹⁾.

Auf der beigegebenen Fig. 1 ist der Gang der Funktion $f(u)$ in ihrer Abhängigkeit von u graphisch dargestellt.

¹⁾ Protokolle der Sitzungen der Seismologischen Kommission. Oktober 1912.

Diese Kurve hat in der Nähe von $u = 0,6 - 0,7$ einen Wendepunkt (siehe die Zahlen der Kolumne Δ der Tabelle II).

Wollen wir nun aus den hier angeführten Formeln und der Tabelle II weitere Schlüsse ziehen.

Setzen wir zuerst voraus, dass die Eigenperiode des Instruments T im Vergleich zu der Periode der Erdbebenwellen T_p gross ist, was z. B. bei Horizontalpendeln bei der ersten Vorphase eines Bebens zutrifft. Dann wird u klein sein und $f(u)$ sich wenig von der Einheit unterscheiden.

Dann ergibt sich in erster Annäherung nach der Formel (16), unabhängig vom Vorzeichen

Ist z. B. $T = 20^s$ und $u < 0,45$, also $T_p < 9^s$, so wird man nach der Tabelle II bei Anwendung der einfachen Formel (21) einen prozentischen Fehler in der Bestimmung von z_m kleiner als 10% begehen. Für praktische Zwecke in seismischen Gebieten wird diese Genauigkeit vollkommen ausreichend sein, speziell, wenn man bedenkt, dass die besten, verschiedenen, auf einer und derselben Station aufgestellten Seismographen bei der Bestimmung der maximalen Amplituden der wahren Bodenbewegung in der maximalen Phase eines Bebens zur Zeit noch Unterschiede von der Größenordnung von 15% aufweisen.

Für unseren Zweck bietet der andere extreme Fall besonderes Interesse, nämlich der, wo die Eigenperiode des Instruments T im Verhältnis zu T_p klein, also u gross ist, was speziell bei Federseismographen, von denen hier hauptsächlich die Rede ist, zutrifft.

Ist aber u gross, so wird nach den Zahlen der Tabelle I $\sin x$ sich wenig von der Einheit unterscheiden und $\sin \frac{x}{u}$ sehr klein sein.

Dann ergibt sich in erster Annäherung aus der Formel (17)

Um ein Urteil zu gewinnen, welchen Fehler man beim Ersetzen von $f(u)$ durch $-\frac{1}{u}$ begeht, mögen folgende Zahlen angeführt werden.

$u =$	8,0	6,0	4,0	3,2	2,4	2,2
$f(u) =$	-0,124	-0,164	-0,242	-0,297	-0,381	-0,410
$\frac{1}{u} =$	-0,125	-0,167	-0,250	-0,313	-0,417	-0,455
$\frac{\frac{1}{u} - f(u)}{f(u)} =$	0,8%	1,8%	3,3%	5,4%	9,4%	11%

Ist also $u > 2,2$, so wird beim Ersetzen von $f(u)$ durch $-\frac{1}{u}$ der dadurch begangene prozentische Fehler kleiner als 11% sein.

Ist z. B. $T = 0^{\circ}3$, eine Eigenperiode, welche bei Federseismographen sehr leicht zu bewerkstelligen ist, so kann, wenn die Periode der Bebenwellen $T_p > 0^{\circ}66$ ist, was bei Erdbeben meistens zutrifft, die strenge Formel (16) innerhalb der angegebenen Genauigkeitsgrenze von 11% durch die folgende angenäherte ersetzt werden:

$$y_m = -\sigma \frac{z_m}{u} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (23)$$

Nun ergibt sich nach der Formel (4) für die anfängliche Geschwindigkeit v_0 der wahren Bodenbewegung

$$v_0 = p z_m,$$

oder nach der Beziehung (6)

$$v_0 = n \frac{z_m}{u}, \dots \dots \dots \dots \dots \quad (24)$$

wo $n = \frac{2\pi}{T}$ ist.

Vergleicht man diese Formel mit der Gleichung (23), so folgt

$$v_0 = -\frac{n}{\sigma} \cdot y_m \dots \dots \dots \dots \dots \quad (25)$$

Hierin ist $\frac{n}{\sigma}$ eine instrumentelle Konstante, welche ein für alle Male bestimmst zu werden braucht.

Sind also die Bedingungen bezüglich der Kleinheit der Eigenperiode des Instruments erfüllt, so ersieht man sofort aus der Gleichung (25), dass innerhalb der angeführten Genauigkeitsgrenze die erste gemessene maximale Amplitude des Ausschlages des Instruments y_m einfach proportional zu der anfänglichen Bodengeschwindigkeit v_0 ist.

Bedeute nun ρ die Densität der obersten Erdschichten im Beobachtungsort, so wird die entsprechende anfängliche Energie der Bodenbewegung in der gegebenen Richtung proportional zu ρv_0^2 sein.

Hat man also drei ähnliche Paare von Instrumenten, ein Paar (für beide entgegengesetzte Richtungen) für jede Komponente der Bodenbewegung N , E und Z und bedeute k einen Proportionalitätsfaktor, so kann man aus den drei gemessenen anfänglichen maximalen Ausschlägen dieser Instrumente y_N , y_E und y_Z die totale anfängliche Intensität der Bodenbewegung oder, anders ausgesprochen, die anfängliche Stärke eines Bebens I nach

folgender sehr einfachen Formel berechnen:

$$I = k \left(\frac{n}{\sigma} \right)^2 \cdot \rho [y_N^2 + y_E^2 + y_Z^2]. \dots \dots \dots \quad (26)$$

Da es hier nur auf eine *Vergleichung* der Bebenstärke an verschiedenen Orten ankommt, so können wir in der vorigen Formel den Proportionalitätsfaktor k einfach gleich der Einheit setzen.

Nach erfolgtem ersten Ausschlag kann man die Instrumente in ihre respektive normale Lage zurückbringen und dann sind dieselben zur Registrierung des nächsten Bebenstosses fertig.

Wir sehen also, dass diese Art ganz einfacher und billiger Instrumente mit sehr kurzer Eigenperiode uns ein sehr bequemes und einfaches Mittel an die Hand gibt direkt die anfängliche Erdbebenstärke an verschiedenen Orten in wirklichem dynamischen Maass zu bestimmen und auszudrücken. Die Bedienung solcher Instrumente, speziell wenn sie, statt mit einer berussten Platte, mit einem gezackten Lineal versehen sind, ist ungemein einfach und jedermann zugänglich. Jedes Uhrwerk fällt dabei gänzlich weg.

Wenn an verschiedenen Orten eines Schüttergebietes solche Intensitätsmesser aufgestellt wären, so könnte man die wirklichen, rein dynamischen Isoseisten durchziehen, was für das Studium von Nahbeben äusserst wichtig wäre. Alle empirischen Stärkeskalen, die so viel willkürliches in sich enthalten und welchen man sehr geringen dynamischen Wert beilegen kann, würden dann gänzlich überflüssig sein. In dieser Hinsicht glaube ich wohl, dass diese hier beschriebenen, äusserst einfachen und billigen Instrumente in seismischen Gebieten sehr gute Dienste zu leisten imstande wären.

Die früher abgeleitete Formel (25) behält ihre Gültigkeit auch für plötzliche Ausschläge des Bodens, die keinen wellenartigen Charakter aufweisen und welche in seismischen Gebieten sehr wohl zustande kommen können.

Es soll nämlich zum Zeitmoment $t = 0$ nur eine anfängliche Geschwindigkeit v_0 dem Boden erteilt werden. Da eine Rückbewegung des Bodens nicht sofort eintritt, so wird dieser Fall einem grossen Wert von u entsprechen, was direkt auf die Formel (25) führt.

Es lässt sich aber die Richtigkeit der Formel (25) für einen plötzlichen Ausschlag (v_0) streng beweisen.

Zu diesem Zweck kehren wir zu der Differentialgleichung (1) zurück.

Die Anfangsbedingungen für y bei $t = 0$ sind

$$y_0 = 0 \quad \text{und} \quad y'_0 = -\sigma v_0.$$

Bei der Integrierung der Gleichung (1) müssen wir im jetzigen Fall, wo nur ein plötzlicher Anstoss erfolgt, $\dot{z}'' = 0$ setzen.

Unter Vernachlässigung der Dämpfungskonstante ϵ , wie früher, erhält man:

$$y = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt,$$

also

$$\dot{y}' = -n\Gamma_1 \sin nt + n\Gamma_2 \cos nt.$$

Aus den Anfangsbedingungen folgt:

$$\Gamma_1 = 0$$

und

$$\Gamma_2 = -\frac{\sigma}{n} v_0,$$

also

$$y = -\frac{\sigma}{n} v_0 \sin nt.$$

Das erste Maximum von y erfolgt, wenn $nt = \frac{\pi}{2}$ wird.

Es ist also

$$v_0 = -\frac{n}{\sigma} y_m,$$

was mit der Formel (25) identisch ist. Dieselbe hat also in diesem Falle eine strenge Gültigkeit.

Um die Leistungsfähigkeit dieses einfachen Intensitätsmessers einer experimentellen Prüfung zu unterziehen, wurde derselbe auf einer kleinen, auf Schienen beweglichen Plattform aufgestellt, welche man in schnelle oder plötzliche Bewegungen versetzen konnte. Ein mit dieser Plattform starr verbundener Schreibstift zeichnete die Plattformbewegung auf einer mit berusstem Papier bekleideten, schnell rotierenden Trommel auf, wobei die einzelnen Sekunden von einer guten Uhr mit Sekundenkontakten markiert wurden. Aus den so erhaltenen Kurven konnte man die anfänglichen Geschwindigkeiten der Plattformbewegung v_0 bestimmen.

Bei einer Versuchsreihe wurde die Plattform mittelst einer langen Stange exzentrisch mit einem Rade verbunden, welches man mit der Hand rascher oder langsamer drehen konnte. Auf diese Weise erhielt man eine sinusartige Bewegung der Plattform.

Bei einer anderen Versuchsreihe wurden der Plattform mittelst einer Art feststehender Federpistole, die man mehr oder weniger stark spannen konnte, ganz plötzliche Ausschläge erteilt.

Eine ganz genaue Ermittlung der anfänglichen Geschwindigkeit v_0 der Plattformbewegung bot jedoch gewisse Schwierigkeiten dar, insbesondere, da eine kleine Rückwirkung der schweren beweglichen Masse des Instruments auf die verhältnismässig leichte Plattform nicht ganz ausgeschlossen war.

Das betreffende Instrument hatte eine kleine, leichte Vergrösserungsvorrichtung mit Nadelverbindung und zeichnete auf einer berussten Glasplatte.

Für die Eigenperiode des Instruments ohne Dämpfung ergab sich

$$T = 0^{\circ}449,$$

also

$$n = 14,0.$$

Wegen der Kürze der Eigenperiode des Instruments wies die Nulllage desselben eine sehr grosse Konstanz auf, was in der Praxis sehr bequem ist.

Zur Bestimmung der anderen Konstante des Instrumentes σ kann man sich derselben beweglichen Plattform und der Formel (25) bedienen.

Man bestimmt aus direkten Versuchen v_0 und das zugehörige y_m und da n bekannt ist, so ergibt sich unabhängig vom Vorzeichen

Auf diese Weise ergab sich im Mittel

$$\sigma = 2,25.$$

Man kann auch σ aus den Dimensionen der einzelnen Teile des Instruments und aus der Verteilung der Massen in demselben berechnen.

Die dazu nötigen Formeln habe ich in meinem früher zitierten Aufsatz «Über einen neuen, einfachen Federseismographen» (l. c.) angegeben.

Es ist aber immer besser die Konstante σ aus direkten Versuchen zu bestimmen. Die hier verwendete Methode ist freilich wegen der Schwierigkeit der genauen Ermittlung von v_0 nicht völlig dazu geeignet. Ich werde weiter eine andere, viel bessere Methode zur Bestimmung von σ beschreiben, für welche man nicht eine auf Schienen sich bewegende, sondern eine freischwingende Plattform mit Seitenführungen, um eine konstante Bewegungsrichtung zu sichern, zu verwenden braucht.

In den folgenden Tabellen sind nun für die erste Versuchsreihe die nach der Formel (25) aus dem ersten maximalen Ausschlag y_m des Instru-

ments bei Zugrundelegung der früher angegebenen Werte der Konstanten n und σ berechneten Werte von v_0 mit den direkt aus der Plattformbewegung ermittelten zusammengestellt.

v_0	
<i>Beobachtet.</i>	<i>Berechnet.</i>
25 mm/Sek.	24 mm/Sek.
15	12
18	18
31	29
31	31

v_0	
<i>Beobachtet.</i>	<i>Berechnet.</i>
19 mm/Sek.	23 mm/Sek.
15	12
13	13
22	21
13	10
23	21
29	28
12	11
20	21

v_0	
<i>Beobachtet.</i>	<i>Berechnet.</i>
18 mm/Sek.	23 mm/Sek.
18	20
40	39
22	20
16	12
34	38

Bei der zweiten Versuchsreihe wurden der Plattform plötzliche Anstösse erteilt und es wurde eine etwas schwächere Vergrösserung verwendet. Bei diesen Versuchen war die Eigenperiode des Instruments

$$T = 0,361,$$

also

$$n = 17,4.$$

Aus direkten Versuchen ergab sich jetzt im Mittel

$$\sigma = 1,29.$$

In der folgenden Tabelle sind die direkt beobachteten und die, bei Zugrundelegung der angegebenen Konstanten des Instruments, berechneten Werte von v_0 zusammengestellt.

v_0	
<i>Beobachtet.</i>	<i>Berechnet.</i>
$26^{\text{mm}}/\text{Sek.}$	$28^{\text{mm}}/\text{Sek.}$
27	27
40	37
40	46
44	39
45	45
57	53
60	65
78	77

Diese Tabellen zeigen, dass die Unterschiede zwischen den direkt gemessenen und aus dem ersten Ausschlag y_m des Instruments nach der Formel (25) abgeleiteten Werte der anfänglichen Geschwindigkeit v_0 der Bodenbewegung im allgemeinen klein sind, wobei diese Differenzen einen ganz zufälligen Charakter aufweisen, da sie teils positiv, teils negativ sind. Sie sind wahrscheinlich hauptsächlich durch die Schwierigkeit einer einigermassen genauen Bestimmung der anfänglichen Geschwindigkeit der Plattformbewegung bedingt. Im ungünstigsten Fall beträgt der Unterschied zwischen dem berechneten und direkt beobachteten Wert von v_0 nur $6^{\text{mm}}/\text{Sek.}$,

welche Genauigkeit für seismische Gebiete als völlig ausreichend zu bezeichnen ist.

Wir sehen also, dass dieses ganz einfache und rohe Instrument wohl imstande ist ziemlich genaue Auskünfte über die anfängliche Stärke eines Bebens zu geben. Auf jeden Fall wird man mit demselben viel genauere Resultate, denen man einen wahren dynamischen Wert beilegen kann, erhalten, als bei Anwendung irgend welcher gebräuchlicher Stärkeskalen.

Die mit diesem Instrument ausgeführten Beobachtungen haben also die volle Anwendbarkeit dieses Instruments für praktische seismische Zwecke bewiesen.

Nach diesen Auseinandersetzungen wollen wir zu der Frage der Bestimmung der Konstante σ zurückkehren.

Man kann, wie wir es gesehen haben, diese Konstante auf Grund der Formel (25) resp. (27) bestimmen. Da es aber recht schwierig ist die anfängliche Geschwindigkeit v_0 der Bewegung der Plattform, *wenn dieselbe aus ihrer Ruhelage ausrückt*, zu bestimmen, so empfiehlt es sich folgenden Weg einzuschlagen.

Man benutze eine grosse ziemlich schwere Plattform, für welche keine Rückwirkungen des Instruments zu befürchten sind, und hänge dieselbe mittelst 4 Stahlbändern an der Lage auf. Dann wird die Plattform eine konstante Schwingungsperiode

$$T_p = \frac{2\pi}{p} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (28)$$

haben.

Um seitliche Bewegungen der Plattform zu vermeiden, lege man auf beiden Seiten derselben zwei flache Schienen, längs welchen kleine, mit der Plattform verbundene Rollen gleiten. Die dadurch zustande kommende Reibung wird erfahrungsgemäss sehr klein sein und die Plattformbewegung nur ganz schwach gedämpft. Wenn die Plattform aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, so wird sie ein wenig gehoben, indem sie noch immer horizontal bleibt, wenn aber die Stahlbänder, auf welchen die Plattform hängt, genügend lang und die Amplituden der Ausschläge klein sind, so kann man von dieser Hebung völlig absehen und dementsprechend annehmen, dass die Plattform in erster Annäherung wirklich harmonische Schwingungen parallel zu der gegebenen Richtung ausführt.

Eine solche Plattform ist vom Herrn Mechaniker Masing für verschiedene Versuchszwecke konstruiert worden. Sie hat sich als sehr praktisch und bequem erwiesen.

Nun denke man sich, dass diese Plattform mittelst einer Schnur um eine kleine Strecke z_m , die man mittelst eines festen geteilten Lineals und

eines mit der Plattform verbundenen Zeigers genau messen kann, zur Seite abgelenkt ist und in dieser abgelenkten Lage fest gehalten wird.

Wird nun diese Schnur plötzlich durchgeschnitten oder durchgebrannt, so wird die Plattformbewegung, wenn man von der schwachen Dämpfung absieht, folgender Gleichung entsprechen:

wobei die anfängliche Geschwindigkeit $z'_0 = 0$ wird.

Diese Bewegung wird eine ganz ruhige und regelmässige sein, wobei beide Konstanten z_m und p sehr genau ermittelt werden können.

Man stelle auf diese Plattform das zu untersuchende Instrument, wobei dasselbe bei dem Anfang der Plattformbewegung in seiner Ruhelage sich befinden soll.

Die Anfangsbedingungen der Bewegung des Instrumentes werden

$$y_0 = 0 \quad \text{und} \quad y'_0 = 0$$

sein, und als allgemeines Integral der Differentialgleichung (1), bei Vernachlässigung des Einflusses des Dämpfungsgliedes mit ϵ und mit demselben Vorbehalt inbezug auf das Eintreten der *genauen* Resonanz, ergibt sich mit Bezugnahme auf die Beziehung (6)

$$y = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cos \frac{n}{u} t,$$

also

$$y' = -n\Gamma_1 \sin nt + n\Gamma_2 \cos nt - \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \frac{n}{u} \cdot \sin \frac{n}{u} t.$$

Aus den Anfangsbedingungen folgt

$$\Gamma_1 = -\frac{\sigma z_m}{u^2 - 1}$$

und

$$\Gamma_2 = 0.$$

Es wird also

$$y = \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \left[\cos \frac{n}{u} t - \cos nt \right] \dots \dots \dots \quad (30)$$

Es soll nun in der früher beschriebenen Weise der erste maximale Ausschlag des Instruments y_m gemessen werden. Dieses Maximum soll etwa bei $t = t_1$ eintreten.

Setzen wir

so muss x_1 die kleinste positive Wurzel folgender Gleichung sein:

$$\frac{\sin \frac{x_1}{u}}{\sin x_1} = u \quad \dots \dots \dots \quad (32)$$

x_1 ist also eine bestimmte Funktion von u . Die einzelnen Werte x_1 können also, wie früher, entweder direkt für ausgewählte Werte von u oder durch sukzessive Annäherungen ermittelt werden.

Sind nun die verschiedenen x_i bekannt und setzen wir

$$f_1(u) = \frac{1}{u^2 - 1} \left[\cos \frac{x_1}{u} - \cos x_1 \right], \dots \dots \dots \quad (33)$$

so wird

$$y_m = \sigma z_m f_1(u),$$

also

Für die Funktion $f_1(u)$ könnte man eventuell eine Tabelle ähnlich der Tabelle II für $f(u)$ aufstellen. Es ist aber freilich überflüssig eine solche *vollständige* Tabelle auszurechnen, da es sich bei der Bestimmung von σ für jedes Instrument nur um ein einzelnes bestimmtes $u = \frac{T_p}{T}$ handelt, da die Eigenperiode T_p der Plattformbewegung eine gegebene *Konstante* ist, und jedermann sich selbst die entsprechende *eine* Wurzel x_1 der Gleichung (32) ausrechnen kann. Zur Erleichterung dieser Rechnungen sind jedoch in der folgenden Tabelle III einige zusammengehörige Werte von u , x_1 und $f_1(u)$ zusammengestellt.

Die Rechnungen sind an und für sich ganz einfach. Für einige Werte von u lässt sich x_1 nach strengen Formeln berechnen, für andere dagegen muss man die Methode der sukzessiven Annäherungen anwenden.

Man findet ohne Schwierigkeit in ähnlicher Weise wie früher, dass bei $u' = \frac{1}{u}$ das zugehörige x'_1 gleich $\frac{x_1}{u}$ sein wird.

Ausserdem ist

Für $u = 2$ ist $\cos \frac{x_1}{2} = \frac{1}{4}$, also $x_1 = 151^\circ 2'7''$

$$\Rightarrow u = 3 \Rightarrow \cos \frac{x_1}{3} = \frac{1}{\sqrt[3]{3}}, \quad \Rightarrow x_1 = 164^\circ 12' 4''$$

$$\Rightarrow u = 5 \quad \Rightarrow \sin \frac{x_1}{5} = \sqrt{\frac{5 - \sqrt{5},8}{8}}, \quad \Rightarrow x_1 = 173^\circ 27' 80''$$

Für $u = \frac{3}{2}$ ist $\cos \frac{x_1}{3} = \frac{1 + \sqrt{10}}{6}$, also $x_1 = 138^\circ 13' 6''$

$$\Rightarrow u = \frac{5}{3} \Rightarrow \sin \frac{x_1}{5} = \sqrt{\frac{1,1 - \sqrt{0,41}}{2}}, \Rightarrow x_1 = 143^\circ 14' 1''$$

Für den Fall der Resonanz $\omega = 1$ muss x_1 die Wurzel folgender Gleichung sein

und es wird

wodurch man erhält

$$x_1 = 116^\circ 14' 35$$

und

$$f_1(1) = 0,9099.$$

Auf den beigegebenen Figuren 2 und 3 ist der Gang der Funktionen x_1 und $f_1(u)$ in ihrer Abhangigkeit von u graphisch dargestellt.

Die letzte Kurve weist in der Nähe von $u = 0,5$ einen Wendepunkt auf.

Mit Hilfe dieser Kurven und der Tabelle III kann man immer die ange- näherte Wurzel der Gleichung (32) und den Wert von $f_1(u)$ (siehe die Formel (33)) bestimmen.

Die genaue Ermittlung von x_1 und $f_1(u)$ wird alsdann keine Schwierigkeiten darbieten. In manchen Fällen wird man wohl sich mit einer einfachen Interpolation nach der Tabelle III begnügen können.

Wir sehen also, dass die Zugrundelegung der Tabelle III die genaue Ermittlung des normalen Vergrösserungsverhältnisses σ des Instrumentes eine ganz einfache Aufgabe ist.

Zum Schluss wollen wir noch auf folgende allgemeinere Aufgabe aufmerksam machen.

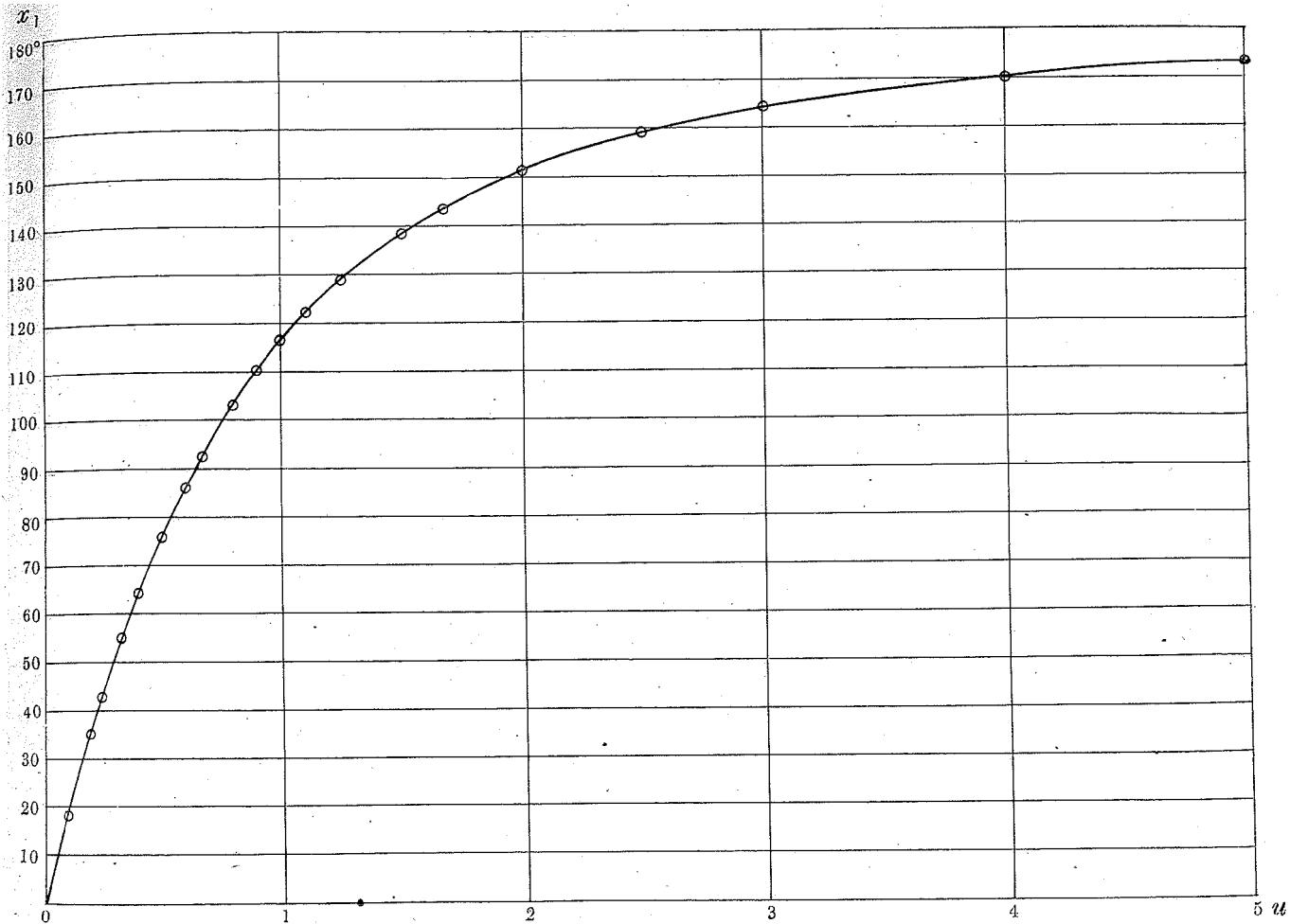
Die Anwendung dieses einfachen Instruments zur *direkten* Bestimmung der anfänglichen Geschwindigkeit der Bodenbewegung v_0 , resp. der anfänglichen Intensität eines Bebens in seismischen Gebieten setzt, wie wir früher gesehen haben, voraus, dass $u > 2,2$ wird. Dann kann man die einfache Formel (25) in Anwendung bringen, wobei der dabei begangene Fehler im ungünstigsten Fall nicht 11% übersteigen wird.

Man kann jedoch jede Voraussetzung über die Grösse von u fallen lassen und in ganz strenger Weise verfahren; dazu braucht man nur zwei ganz ähnliche Instrumente, aber mit möglichst verschiedenen Eigenperioden zu verwenden.

Tabelle III.

u	x_1	$f_1(u)$
0	0° 0',0	+ 2,0000
0,1	17 49,5	1,9712
0,2	34 41,56	1,8914
0,25	42 34,0	1,8369
0,3333	54 44,1	1,7820
0,4	63 36,1	1,6407
0,5	75 31,35	1,5000
0,6	85 56,5	1,3623
0,6667	92 9,1	1,2749
0,8	103 2,2	1,1138
0,9	110 8,0	1,0063
1	116 14,35	0,9099
1,1111	122 16,7	0,8151
1,25	128 47,8	0,7129
1,50	138 13,6	0,5666
1,6667	143 14,1	0,4904
2,0	151 2,7	0,3750
2,5	159 0,3	0,2625
3,0	164 12,4	0,1925
4,0	170 15,84	0,1148
5,0	173 27,80	0,0757
10,0	178 14,75	0,0197
∞	180 0,0	0

Fig. 2.



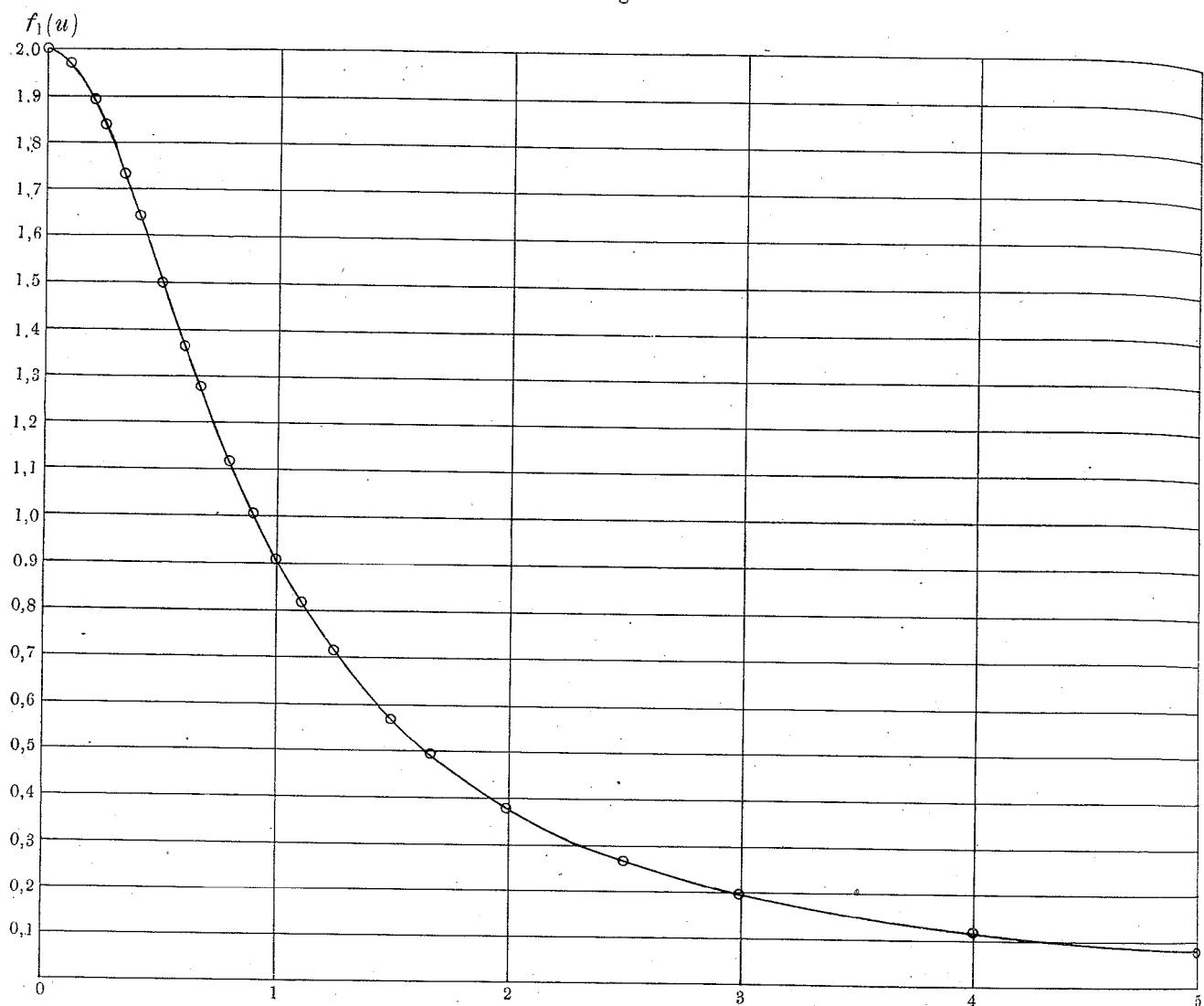
Die Bodenbewegung sei wie früher eine reine harmonische, der Formel (4) entsprechende

Dann wird die anfängliche (maximale) Bodengeschwindigkeit

und die maximale Bodenbeschleunigung (unabhängig vom Vorzeichen)

sein.

Fig. 3.



Sei nun die Eigenperiode und das normale Vergrösserungsverhältnis für das eine Instrument T und σ und für das andere T_1 und σ_1 , wobei

$$T_1 = kT$$

ist. k ist eine gegebene und bekannte Zahl.

Die gemessenen ersten maximalen Ausschläge dieser Instrumente seien resp. y_m und y_{m_1} .

Es sei weiter

$$u = \frac{T_p}{T}$$

und

$$u_1 = \frac{T_p}{T_1},$$

also

Setzen wir noch

und

wo q und q_1 zwei aus den Beobachtungen zu entnehmende Größen sind.

Dann ergeben sich auf Grund der Formel (16) folgende zwei Beziehungen:

und

Wir haben also zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten u und z_m ; die erste Grösse gibt sofort die Periode der betreffenden Erdbebenwelle $\bar{T}_p = uT$.

Sind nun beide Elemente der Bodenbewegung z_m und T_p einmal bekannt, so kann man aus ihnen die maximale Bodengeschwindigkeit v_0 und die maximale Bodenbeschleunigung w_m nach den Formeln (39) und (40) sofort berechnen.

Diese Aufgabe der Bestimmung von z_m und T_p aus den Gleichungen (44) und (45) lässt sich zwar nicht analytisch durchführen, aber auf Grund der früher angegebenen allgemeinen Tabelle der Werte der Funktion $f(u)$ kann man sich in sehr einfacher Weise für jedes gegebene Paar der Instrumente zwei Tabellen herstellen, aus welchen man mit den Argumenten q und q_1 die gesuchten Werte von T_p und z_m entnehmen kann.

Die Anwendbarkeit dieser Methode, die an und für sich sehr einfach ist und nur ganz rohe Instrumente erfordert, wollen wir am folgenden Zahlenbeispiel erläutern.

Die Eigenperiode des ersten Instruments setzen wir gleich

$$T = 0^{\circ}3$$

und ausserdem

$$k = 10.$$

Dann wird

$$T_1 = 3;0$$

und

$$u_1 = \frac{1}{10} u.$$

Wir wollen uns dabei nur auf diejenigen Perioden der Erdbebenwellen T_p beschränken, die zwischen $0^{\circ}2$ und $2^{\circ}0$ liegen. Diese Perioden pflegen hauptsächlich bei Nahbeben aufzutreten.

Dividieren wir nun die Gleichung (44) durch (45) und setzen dabei

$$\mu = \frac{q}{q_1},$$

so ergibt sich

Man nehme alsdann eine Reihe von Werten von T_p mit Intervallen von $0^{\circ}1$, bestimme die zugehörigen Werte von u und u_1 , entnehme alsdann aus der Tabelle II die entsprechenden Werte von $f(u)$ und $f(u_1)$ und bilde für jedes T_p den entsprechenden Quotienten μ .

Diese Werte befinden sich in der folgenden Tabelle IV

Den Gang von μ als Funktion von ψ kann man auch graphisch darstellen.

Man nehme alsdann einzelne Werte von q etwa von $q = 0,5^{\text{m}}/\text{m}$ beginnend, wie z. B. $q = 0,5; 1,0; 1,5$ u. s. w. und für jedes q nehme man eine Reihe von Werten von q_1 , mit demselben Intervall von $0,5^{\text{m}}/\text{m}$ und bilde den Quotienten μ . Will man für T_p zwischen den Grenzen $0,2$ und $2,0$ verweilen, so muss man darauf Acht geben, dass die so gebildeten Werte von μ zwischen den Grenzen $\mu = 0,822$ und $\mu = 0,180$ liegen.

Für jedes solches μ kann man alsdann auf Grund der Zahlen der Tabelle IV das entsprechende T_μ finden.

Auf diese Weise ist die Tabelle V hergestellt worden, wobei ich teils rechnerisch, teils nach der Methode der graphischen Interpolation verfahren habe. In dieser Tabelle variiert das Argument q zwischen $0,5^m/m$ und $5,0^m/m$ und q_1 zwischen $1,0^m/m$ und $27,5^m/m$.

Ist nun für jedes Paar der Werte von q und $q_1 T_p$ einmal bestimmt, so kann man, entweder nach der Formel (44), oder nach der Formel (45), das entsprechende z_m berechnen. Die zweite Rechnung dient zur Kontrolle.

Auf diese Weise ist die folgende Tabelle VI berechnet worden. Die Grenzen für q und q_1 sind dieselben geblieben, während z_m zwischen $1,0^m/m$ und $33,4^m/m$ variiert.

Es ist sehr einfach für jedes andere gegebene Paar von Instrumenten zwei ähnliche Tabellen, wie die Tabellen V und VI, zu konstruieren.

Aus ihnen erhält man sofort mit den Argumenten q und q_1 die zugehörigen Werte von T_n und z_m , aus denen v_n und w_m sich sofort berechnen lassen.

Tabelle IV.

T_p	u	u_1	μ	Δ
0,2	0,667	0,067	0,822	
0,3	1,000	0,100	0,700	- 0,122
0,4	1,333	0,133	0,599	101
0,5	1,667	0,167	0,516	83
0,6	2,000	0,200	0,452	64
0,7	2,333	0,233	0,402	50
0,8	2,667	0,267	0,363	39
0,9	3,000	0,300	0,329	34
1,0	3,333	0,333	0,303	26
1,1	3,667	0,367	0,280	23
1,2	4,000	0,400	0,263	17
1,3	4,333	0,433	0,247	16
1,4	4,667	0,467	0,233	14
1,5	5,000	0,500	0,221	12
1,6	5,333	0,533	0,211	10
1,7	5,667	0,567	0,202	9
1,8	6,000	0,600	0,194	8
1,9	6,333	0,633	0,187	7
2,0	6,667	0,667	0,180	

Tabelle V.

$$T_p \ (0^s, 2 - 2^s, 0).$$

Tabelle VI.

$$= z_m^{\text{m}} / \text{m}.$$

Im jetzigen Fall findet der kleinste Wert von $v_0 = 10,5 \text{ mm./sek.}$ bei $q = 0,5 \text{ m/m}$ und $q_1 = 2,5 \text{ m/m}$ und der grösste $v_0 = 173 \text{ mm./sek.}$ bei $q = 4,5 \text{ m/m}$ und $q_1 = 5,5 \text{ m/m}$ statt.

Es können also mit diesen Instrumenten Erdbeben, für welche das Verhältnis ihrer anfänglichen Intensitäten zwischen 1 und 271 variiert, untersucht werden.

Der kleinste Wert der maximalen Bodenbeschleunigung $w_m = 38,3 \text{ mm./sek.}^2$ trifft bei $q = 0,5 \text{ m/m}$ und $q = 2,5 \text{ m/m}$ und der grösste $w_m = 5430 \text{ mm./sek.}^2$ bei $q = 4,5 \text{ m/m}$ und $q = 5,5 \text{ m/m}$ zu. Es sind dieselben q und q_1 , wie im vorigen Falle. Die maximale Bodenbeschleunigung liefert uns ein dynamisches Maass für die Stärke der während einer Bodenerschütterung hervorgerufenen Kräfte.

Für praktische Zwecke in seismischen Gebieten wird es wohl vollkommen ausreichend sein q bis auf $0,1 \text{ m/m}$ und q_1 bis auf $0,25 \text{ m/m}$ genau zu bestimmen. Dann wird der bei T_p begangene Fehler nicht etwa $0,1\text{--}0,2$ Sekunden und bei z_m nicht etwa $0,3\text{--}0,4$ Millimeter übersteigen.

Dementsprechend wähle man $\sigma = 10$ und $\sigma_1 = 4$; dann braucht man, den Beziehungen (42) und (43) gemäss, y_m und y_{m_1} nur bis auf 1 m/m genau zu bestimmen, was sehr leicht zu bewerkstelligen ist. Dabei wird y_m zwischen 5 und 50 und y_{m_1} zwischen 4 und 110 Millimeter variieren. In diesem Fall kann man auch das früher erwähnte gezahnte Lineal in Anwendung bringen; es muss nur die Entfernung benachbarter Zähne gleich 1 m/m gewählt werden. Dadurch werden die Beobachtungen selbst wesentlich vereinfacht, da es sich dabei nur darum handeln wird, zwei ganze Zahlen direkt abzulesen.

Wir sehen also, dass zwei, oder wenn man die entgegengesetzte Bewegungsrichtung berücksichtigen will, vier solcher ganz einfacher, kompakter und billiger Instrumente, die jedem ganz ungeübten Beobachter zugänglich sind, wohl imstande sind, alle anfänglichen Elemente der wahren Bodenbewegung, wie Periode, maximale Amplitude, anfängliche Geschwindigkeit, resp. Intensität des Bebens, und maximale Bodenbeschleunigung mit vollkommen genügender Genauigkeit zu liefern.

Würde man einen Satz solcher Instrumente¹⁾ in verschiedenen Orten eines Schüttergebietes aufstellen, so könnte man eventuell wohl ganz interessante Daten über die stattgefundene Bodenbewegung sammeln, denen man einen wahren dynamischen Wert beilegen kann.

Juni 1914.

¹⁾ Diese Apparate werden von dem Mechaniker bei dem Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg Herrn Masing angefertigt.

RAPPORT

sur l'état actuel
du service sismologique en Russie.

La direction du service sismologique en Russie est confiée à la Commission Sismique centrale permanente de l'Académie Impériale des Sciences de Pétrograd. Cette Commission s'occupe en outre de recherches sur différents problèmes de sismométrie, tant théoriques que pratiques, tels que par exemple: la construction de nouveaux types de sismographes, l'étude de nouvelles méthodes d'observation, etc.

La Commission se compose de membres de l'Académie des Sciences et des représentants de différents établissements intéressés à ce genre de recherches, tels que l'Observatoire Physique Centrale, les Universités russes, la Société Géographique russe, etc. Le président de la Commission est le directeur de l'Observatoire Astronomique de Pulkovo, M. Backlund.

Le budget de la Commission est de 45,440 roubles par an. Cette somme est destinée à l'entretien du réseau sismique, aux recherches scientifiques, frais de publication, etc. Il faut y ajouter 1472 roubles pour les frais de participation à l'Association internationale de sismologie.

La direction immédiate du réseau sismique ainsi que la gestion des affaires financières et administratives de la Commission sont confiées au Bureau central, composé de trois membres de la Commission permanente. Le président du Bureau central est le Prince B. B. Galitzine.

Une des principales attributions du Bureau central est la formation du personnel nécessaire pour le service des stations sismiques de 1^{er} ordre.

A cet effet, au printemps et à l'été de 1911, le Prince Galitzine a fait au Laboratoire Physique de l'Académie des Sciences un cours suivi de sismométrie, et M. Gerasimoff a traité les phénomènes des tremblements de terre du point de vue géologique. Ensuite la Commission Sismique a

publié les cours du Prince Galitzine, à 1500 exemplaires¹⁾. Ce cours sert de base aux études sismologiques des travailleurs qui veulent occuper un poste d'observateur aux stations sismiques de 1^{er} ordre ou prendre part aux recherches et calculs du Bureau central. Ces travailleurs doivent en outre suivre un cours pratique de sismométrie expérimentale et avoir fait préalablement des études physico-mathématiques supérieures.

Le Bureau central s'occupe aussi de la préparation des rapports pour les séances de la Commission Sismique permanente et de différentes recherches théoriques et pratiques (voir les Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente et le Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de Pétrograd).

Les différents sismographes et appareils enregistreurs employés en Russie sont construits à l'atelier mécanique du Laboratoire de Physique de l'Académie des Sciences, qui se trouve sous la direction du mécanicien M. Masing. Cet atelier a acquis un développement considérable dans ces dernières années et pourvoit d'instruments non seulement les stations russes, mais aussi quelques stations à l'étranger. Des sismographes apériodiques à enregistrement galvanométrique ont été déjà livrés aux stations suivantes: Strasbourg, Paris, Uccle, Francfort, Bucarest, De-Bilt, Eskdalemuir et Zik-ka-Wei (sismographe vertical).

Un pendule horizontal à enregistrement galvanométrique est aussi installé provisoirement à la station de Laibach.

Le Bureau central s'occupe aussi du dépouillement des sismogrammes des stations de 2^{me} ordre et de l'étude critique des renseignements macrosismiques sur les tremblements de terre de Russie. En vue d'obtenir ces renseignements sur une plus vaste échelle, le Bureau central a fait imprimer un grand nombre de cartes postales contenant une série de questions et les a largement distribuées dans différentes régions sismiques.

Par l'intermédiaire du Ministère des affaires étrangères, de semblables cartes ont été envoyées aux consuls russes à l'étranger dans les régions exposées aux sismes.

L'agence télégraphique de Pétrograd transmet aussi au Bureau central tous les télégrammes concernant les tremblements de terre.

Pendant ces trois dernières années, les travaux de la Commission et du Bureau central ont tendu à la réalisation du nouveau plan du service sismologique en Russie; ce plan a été déjà présenté à l'Association au Congrès Sismologique de Manchester en 1911.

1) Vient de paraître (1914) la traduction allemande de cet ouvrage, éditée par Teubner à Leipzig.

D'après ce plan, le réseau sismologique russe se divise en trois catégories de stations.

- 1) Station centrale de Pulkovo.
- 2) 7 stations de 1^{er} ordre dans les villes suivantes: Baku, Vladivostok, Ekaterinbourg, Irkutsk, Makejevka, Taškent et Tiflis.
- 3) 17 stations de 2^e ordre:
 - 1) Port Alexandrovskij (Sachalin).
 - 2) Petropavlovsk (Kamtchatka).
 - 3) Kabansk } Voisinage du lac Bajcal.
 - 4) Marituj }
 - 5) Barnaul (Altaj).
 - 6) Wěrnyj }
 - 7) Oš } Turkestan russe.
 - 8) Samarkand }
 - 9) Kašgar (Turkestan chinois).
 - 10) Zurnabat }
 - 11) Šemacha }
 - 12) Pjatigorsk } Caucase.
 - 13) Boržom }
 - 14) Balachany }
 - 15) Nižni-Olčedajevo (Podolie).
 - 16) Tomsk }
 - 17) Omsk }

Ci-joint quelques brefs renseignements sur ces stations.

I. La Station centrale de Pulkovo.

Cette station s'occupe des problèmes suivants:

- 1) Observations sismométriques régulières et continues sur les trois composantes du mouvement de la terre, au moyen de plusieurs sismographes.
- 2) Etude comparative des différents systèmes d'instruments, et méthodes d'observations.
- 3) Elle fournit en outre aux diverses stations différentes indications concernant les observations sismiques et le dépouillement des sismogrammes, basées sur l'expérience de la station même de Pulkovo.

Depuis décembre 1911, la station est installée dans un nouveau bâtiment souterrain en ciment armé.

Cette construction, longue de 28 m. et large de 13 m., repose sur un fondement à la profondeur de $7\frac{1}{2}$ m. sous terre et contient 4 chambres. Dans la 1^{ère} sont installés les instruments de grande sensibilité à enregistrement galvanométrique; les murs et le plancher de cette chambre sont entièrement isolés des autres chambres. La 2^e chambre contient les galvanomètres des instruments susdits et les appareils enregistreurs. La 3^{me} contient l'horloge à contact, les batteries électriques, et les appareils auxiliaires; cette chambre sert aussi de vestibule à la station et a une sortie directe. Dans la 4^{me} chambre sont placés les sismographes à enregistrement mécanique; elle sert en même temps pour différentes expériences.

L'article de M. J. Wilip «Die zentrale seismische Station in Pulkovo» (Bulletin de la Commission sismique permanente, T. V, livr. 2 pp. 133—170), donne une description détaillée de cette station.

Près de la station se trouve le corps de logis, qui contient la salle pour le dépouillement des sismogrammes, le laboratoire pour l'étude préliminaire des instruments, l'archive, les ateliers photographique et mécanique, les logements du personnel de la station centrale et 2 chambres pour les visites. La maison est entourée d'un parc. Une petite station électrique spéciale fournit l'énergie électrique nécessaire pour le fonctionnement de la station sismique et pour l'éclairage de la maison.

Les observations à Pulkovo se font au moyen des instruments suivants:

- 1) 4 pendules horizontaux apériodiques à enregistrement galvanométrique;
- 2) 2 sismographes apériodiques pour la composante verticale à enregistrement galvanométrique, et
- 3) 2 paires de pendules horizontaux lourds à enregistrement mécanique de différente sensibilité.

Ainsi chaque type d'instrument se trouve en double et de deux différentes sensibilités, ce qui donne la possibilité de dépouiller l'un ou l'autre des deux sismogramme obtenu à Pulkovo.

Depuis le 1^{er} janvier 1912, la station publie ses bulletins hebdomadaires, rédigés par M. J. Wilip.

En 1912, la station de Pulkovo a enregistré 671 tremblements de terre, pour lesquels dans 137 cas on a pu déterminer les coordonnées géographiques ou les azimuts de l'épicentre d'après la méthode du Prince Galitzine.

En 1913, le nombres de sismes observés a été de 576; les coordonnées géographiques ou les azimuts ont été déterminés dans 103 cas.

Outre les observations régulières, la station de Pulkovo s'occupe encore de recherches scientifiques spéciales. Ainsi on y a fait des expériences d'en-

registrement de la composante verticale avec deux sismographes apériodiques identiques, installés à angle droit l'un par rapport à l'autre.

Cette recherche avait pour but l'élucider la question de savoir si effectivement les sismographes apériodiques pour la composante verticale n'enregistrent que les mouvements verticaux, et ne réagissent pas aux mouvements horizontaux du sol.

Les résultats de ces observations ont été publiés par le Prince B. B. Galitzine dans le Bulletin de l'Académie des Sciences; elles ont confirmé les bonnes qualités des sismographes pour la composante verticale employés en Russie.

On a fait en outre des recherches spéciales pour étudier le rapport entre la longueur réduite d'un pendule horizontal à suspension bifilaire système Zöllner et la période totale d'oscillation du pendule.

Sans insister plus longtemps sur les recherches expérimentales de la station de Pulkovo, nous remarquerons seulement qu'elle a fourni déjà d'abondants matériaux pour l'étude de différentes questions théoriques importantes de la sismologie moderne, concernant: la détermination de l'angle d'émergence des rayons sismiques, la vitesse de propagation des différentes ondes sismiques, l'absorption de l'énergie sismique, la polarisation des rayons sismiques, etc.

Depuis la réorganisation de la station de Pulkovo, on y fait aussi des observations météorologiques régulières.

On y enregistre à l'aide d'appareils automatiques: la direction et la vitesse du vent, la pression atmosphérique, l'humidité et la température de l'air (thermographe électrique système Hartmann & Braun).

Le Budget annuel de la Station s'élève à 8500 rbls.

La station se trouve sous la direction immédiate de M. J. Wilip. Son personnel se compose de deux observateurs (deux dames), d'un mécanicien et d'un aide.

II. Les Stations de 1^{er} ordre.

Les stations de 1^{er} ordre ont pour but l'enregistrement des tremblements de terre éloignés; la grande étendue de l'Empire russe favorise bien les observations de ce genre.

Des 7 stations énumérées plus haut, 6 fonctionnent actuellement, savoir: Baku, Ekaterinburg, Irkutsk, Makéevka, Taškent et Tiflis.

La septième, celle de Vladivostok, n'est pas encore ouverte.

En raison de leur destination, ces stations sont munies d'appareils de haute sensibilité: un complet de sismographes apériodiques à enregistrement galvanométrique pour les trois composantes du mouvement du sol (à la sta-

tion de Taškent seulement le sismographe vertical n'est pas encore installé, mais le sera probablement vers la fin de cette année). Les sismographes horizontaux avaient au début une période d'oscillation comparativement longue, de 20 à 25 sec.; plus tard, quand les sismographes verticaux, ayant une période de 12 à 13 sec., ont été installés, on a trouvé plus avantageux de réduire la période des pendules horizontaux et de synchroniser tous les instruments.

Ce synchronisme des appareils donne la possibilité de déterminer aisément l'angle d'émergence des rayons sismiques; en outre, par suite de la diminution de la période des sismographes horizontaux, la première phase des sismes ressort plus nettement sur les sismogrammes.

Les stations de Tiflis et d'Irkutsk possèdent encore deux pendules horizontaux lourds ($M = \text{env. } 110 \text{ kgr.}$) à amortissement magnétique et enregistrement mécanique. On se sert des diagrammes de ces appareils pour les sismes très forts, quand les appareils galvanométriques dans la phase maximale sortent déjà des limites de l'échelle.

Ces stations possèdent en outre quelques autres instruments sismiques peu employés en Russie.

Toutes les stations de premier ordre publient des bulletins hebdomadiers. On y trouve, outre les différentes données sur les tremblements de terre, encore des données quotidiennes sur le mouvement microsismique du sol.

Il faut remarquer que dans les bulletins des stations russes les moments des différents maxima dans la phase principale sont toujours donnés en introduisant la correction pour le retard des instruments; ils correspondent donc aux moments des maxima du *mouvement vrai du sol*. Les amplitudes représentent aussi les amplitudes vraies du sol et non les amplitudes des instruments.

Les bulletins sont tirés à 300 exemplaires, dont 100 sont immédiatement expédiés aux stations sismiques intéressées à un prompt échange de communications; les 200 autres exemplaires sont répartis, une fois brochés, parmi les autres stations à la fin de l'année.

Toutes les stations de 1^{er} ordre sont pourvues de schémas imprimés et de cahiers spéciaux pour les calculs; elles possèdent en outre une petite bibliothèque de différents ouvrages nécessaires aux études sismologiques.

Les stations de Makěevka et de Baku, construites et entretenues aux frais de particuliers, ont, outre le but commun des stations de 1^{er} ordre, d'autres affectations spéciales: la première s'occupe de recherches sur la dépendance du grisou des tremblements de terre et la seconde (Baku) étudie l'influence des sismes sur les sources de naphte.

Les 4 autres stations de 1^{er} ordre sont entretenues aux frais de la Commission sismique; le budget de chaque station s'élève à 3300 Rbls par an.

III. Les Stations de 2^e ordre.

Les stations sismiques de 2^e ordre ont pour but d'enregistrer les tremblements de terre peu éloignés, locaux; elles sont pour la plupart distribuées dans les régions sismiques.

Les régions sismiques principales en Russie sont: le Caucase, le Turkestan, l'Altai, le Bajkal; la péninsule de Kamčatka et l'île de Sachalin. C'est donc dans ces régions que se trouvent les stations de la Commission sismique. De plus, grâce à l'initiative privée, d'autres stations ont été installées dans le gouvernement de Podolie à Nižni Olčedajevo et dans la Sibérie occidentale à Omsk et à Tomsk.

Des 17 stations mentionnées plus haut, 14 fonctionnent à l'heure actuelle, savoir:

- *1) Kabansk } Bajkal.
 - 2) Marituj }
 - *3) Vérnyj }
 - *4) Oš }
 - *5) Samarkand }
 - *6) Kašgar (Turkestan chinois).
 - *7) Zurnabat }
 - 8) Pjatigorsk }
 - *9) Šemacha }
 - 10) Boržom }
 - 11) Balachany }
 - 12) Nižni-Olčedajevo (Podolie).
 - 13) Tomsk }
 - 14) Omsk }
- Sibérie occidentale.

Doivent encore entrer en activité les stations de Barnaul, de Petro-pavlovsk (au Kamčatka) et de Port-Alexandrovsck à l'île de Sachalin. A Barnaul on est en train d'installer les instruments; au Kamčatka et à Sachalin on construit déjà les pavillons sismiques, et dès l'année prochaine le réseau russe des stations de 2^e ordre fonctionnera en entier.

Toutes les stations de 2^e ordre, à l'exception de celles de Marituj et de Balachany, sont munies de pendules horizontaux lourds ($M = \text{env. } 110 \text{ kgr.}$) à amortissement magnétique relativement faible et à enregistrement mécanique. On a pris particulièrement soin de munir toutes ces stations de bons

appareils enregistreurs; la longueur d'une minute sur le cylindre tournant est de 30 mm. comme aux stations de 1^{er} ordre.

A la station de Marituj fonctionne encore l'ancien appareil, un petit pendule astatique de Wichert, mais prochainement cette station sera complètement réorganisée à l'exemple des autres stations de 2^e ordre.

A la station de Balachany, on a laissé les pendules légers de Zöllner à enregistrement optique.

L'heure exacte est transmise aux stations du réseau du Caucase et du Turkestan, ainsi qu'à Kabansk, par les observatoires voisins de Tiflis, Taškent et Irkutsk; les autres stations déterminent elles-mêmes la correction de l'heure à l'aide de cercles solaires ou de petites lunettes méridiennes.

Presque toutes ces stations possèdent des pavillons spéciaux à moitié souterrains.

Les stations marquées d'un astérisque sont entretenues aux frais de la Commission Sismique; leur budget s'élève à 450 roubles par an.

Le dépouillement des sismogrammes des stations de 2^e ordre se fait au Bureau central de la Commission Sismique Pétrograd. Les moments P , S , L ainsi que la distance épcentrale Δ sont publiés avec ceux des stations de 1^{er} ordre dans le bulletin annuel complet du réseau sismique russe.

Ce bulletin pour l'année 1911 a déjà paru; celui de 1912 est imprimé et va être distribué prochainement; celui de 1913 est en préparation.

Dans ces bulletins complets on trouve, outre les données instrumentales, aussi des renseignements macroismiques pour la plus grande partie des sismes observés en Russie; ces renseignements sont puisés aux différentes communications envoyées à la Commission Sismique.

Des données plus détaillées, fournies par le dépouillement des sismogrammes des stations de 2^e ordre (différents maxima, etc.) seront publiées dans un bulletin général des stations de 2^e ordre. Un pareil Bulletin pour l'année 1912 paraîtra prochainement.

Autres recherches scientifiques.

Le service sismologique en Russie ne se borne pas uniquement à l'enregistrement et à l'étude des tremblements de terre moyennant les observations fournies le réseau sismique; il a encore pour tâche l'étude d'autres questions importantes tant théoriques que pratiques.

Outre les recherches spéciales mentionnées plus haut, dont s'occupent les stations de Makéevka et de Baku, savoir sur le rapport entre l'apparition du grisou et les tremblements de terre, et sur l'influence des sismes sur

les sources de naphte, on procède actuellement à Tomsk sous la direction du professeur Orlov à des études spéciales sur les marées de la croûte terrestre.

A cet effet, on a construit, en partie aux frais de l'Association Internationale de Sismologie, un petit observatoire spécial dans l'intérieur d'une colline près de Tomsk. Dans cet observatoire, éclairé à l'électricité et chauffé au gaz, ont été installés 4 légers pendules horizontaux système Zöllner dans quatre azimuts différents, variant de 45 degrés. Une paire de ces appareils enregistre sur du papier photographique, l'autre sur des plaques photographiques en verre; pour ce dernier but on a construit un appareil enregistreur spécial.

Cette année même, de semblables recherches ont été entreprises aux bords de la Mer Noire à Nikolaev dans la magnifique cave de l'Observatoire astronomique de cette ville.

Les observations sur l'intermittence et en général sur le régime des sources minérales dans leur rapport avec l'activité sismique, dont le programme fut déjà présenté au congrès de Manchester, ont été entreprises à Borzom. Malheureusement les données recueillies jusqu'à présent sont encore très insuffisantes, et c'est seulement à partir de cette année qu'on espère organiser des observations régulières, qui donneront peut-être avec le temps un moyen pour la prévision des tremblements de terre.

En 1912, on a exécuté aux frais de M. E. Nobel le niveling de la presqu'île d'Apsheron le long de la Mer Caspienne et dans les régions de l'exploitation du naphte.

Ce travail était nécessaire par l'abaissement lent, mais continu, du niveau de la Mer Caspienne. Afin de décider à quelles causes il fallait attribuer ce phénomène, à l'élévation du rivage ou à l'abaissement de la mer, on dut aussi relier par un niveling spécial la Mer Caspienne à la Mer Noire. Il va sans dire que la hauteur des repères installés devra être redéterminée dans un certain laps de temps, par exemple dans dix ans.

Enfin, l'année prochaine, en 1915, le gouvernement russe doit mettre à la disposition de la Commission Sismique une somme de 89.700 roubles pour une expédition géodésique (d'une durée de 3 années) dans la région du tremblement de terre de Wernyj du 4 janvier 1911.

L'expédition aura à exécuter un niveling exact et dresser un réseau trigonométrique dans la région dudit tremblement de terre. Si l'on renouvelle les mêmes travaux après un nouveau grand sisme dans la même localité, on sera en état de déterminer les déplacement résiduels de l'écorce terrestre tant dans la direction horizontale que dans la direction verticale.

De plus on se propose de faire des observations spéciales en plusieurs points dans le voisinage de certaines lignes tectoniques avec la variomètre

gravimétrique du Baron Eotvös. Grâce à l'extrême sensibilité de cet appareil, il y a lieu d'espérer que ces mesures, répétées après un nouveau grand tremblement de terre, donneront la possibilité de déterminer le déplacement des masses internes dans les couches superficielles de l'écorce terrestre.

Un tel appareil a été acquis par la Commission Sismique chez le mécanicien Fechner à Potsdam, et minutieusement étudié au Laboratoire de physique de l'Académie Impériale des Sciences. Vu les difficultés de transport au Turkestan, on a dû à l'atelier mécanique du Laboratoire de physique apporter à l'appareil quelques changements, afin de mieux l'apprécier au transport.

Pour mieux juger du développement des stations sismiques du réseau russe dans ces dernières années, on peut consulter les trois tableaux suivants.

La colonne α donne le nombre de cas où l'azimut de l'épicentre a été déterminé d'après les diagrammes *d'une seule* station.

La colonne P et S donne le nombre de cas où les deux phases préliminaires ont été déterminées (séparément de α).

La colonne P donne le nombre de cas où seulement la phase P , et la colonne L le nombre de ceux où le commencement des ondes longues, ont été déterminés.

Enfin la colonne Σ contient le nombre total de sismes observés, entre autres ceux aussi pour lesquels on n'a pu déterminer les différentes phases.

1911.

	Stations	α	P et S	P	L	Σ
	Pulkovo	53	98	10	104	383
Instr. anciens.	Tiflis	—	54	11	64	219
	Irkutsk	—	94	43	11	243
	Baku ¹⁾	—	59	19	49	189

1912.

	Stations	α	P et S	P	L	Σ
	Pulkovo	137	132	34	209	671
Instr. aperiodiques.	Tiflis ²⁾	6	101	3	169	474
	Irkutsk ³⁾	29	147	24	305	714
	Baku ⁴⁾	—	70	10	167	476
	Taškent ⁵⁾	13	15	19	31	183

1) 7 mois d'observations.

2) Observations interrompues.

3) 9 $\frac{1}{2}$ mois d'observations.

4) 9 mois d'observations.

5) 3 $\frac{1}{2}$ mois d'observations.

1913.

Stations	α	P et S	P	L	Σ
Instr. apériodiques	Pulkovo	103	122	21	162
	Tiflis	23	95	23	130
	Irkutsk	92	136	25	261
	Baku ¹⁾	—	54	12	54
	Taškent	48	95	33	107
					954

Ces chiffres montrent clairement le progrès qu'ont fait les stations sismiques russes de 1^{er} ordre, après leur réorganisation et l'installation des sismographes apériodiques à enregistrement galvanométrique du même type que ceux de Pulkovo.

Le grand nombre de tremblements de terre enregistrés prouve la haute sensibilité de ce genre d'appareils.

Le second fait intéressant est la possibilité de déterminer l'azimut de l'épicentre d'après les données d'une seule station. Ainsi, en 1912, la station de Pulkovo a déterminé α dans 137 cas et P et S dans 132, soit un total de 269 cas.

En 1913, les nombres correspondants ont été: pour α 103, pour P et S 122, soit un total de 225 cas.

A Irkutsk, pour la même année 1913, nous avons pour α 92, pour P et S 136, soit un total de 228 cas.

On peut donc constater que l'introduction aux stations sismiques russes de 1^{er} ordre des sismographes apériodiques de grande sensibilité et à enregistrement galvanométrique s'est révélée pratique et extrêmement utile.

Le nombre des tremblements de terre enregistrés s'est non seulement accru, mais aussi les différentes phases des sismes, notamment les phases P et S , ressortent bien plus nettement et clairement sur les sismogrammes fournis par ce genre d'appareils.

Il y a certes encore bien d'autres perfectionnements à introduire dans le réseau sismique russe, qui, il faut l'espérer, ne se feront pas trop longtemps attendre, et qui mettront ce réseau vraiment en état d'entreprendre une étude détaillée et suivie des mouvements vrais de l'écorce terrestre, ce qui est un des problèmes principaux de la sismologie moderne.

Septembre 1914.

¹⁾ 4 mois.

О нѣкоторыхъ опытахъ падъ сотрясеніями, вызванными искусственными взрывами и ударами.

И. И. Вилиа.

Вопросъ объ искусственныхъ сотрясеніяхъ почвы представляеть для сейсмологовъ большой интересъ, такъ какъ при такихъ опытахъ можно сконцентрировать центръ, вызывающій сотрясенія, на весьма маломъ пространствѣ и разматривать его слѣдовательно какъ точку, что является весьма важнымъ условіемъ для получения надежныхъ результатовъ при опредѣленіи физическихъ константъ поверхностныхъ слоевъ земли.

Этотъ вопросъ тѣсно связанъ съ изученіемъ сотрясеній разныхъ построекъ, что имѣть важное практическое значеніе, особенно если принять во вниманіе то обстоятельство, что ежегодно въ сейсмическихъ областяхъ страдаютъ тысячи людей отъ разваливающихся, благодаря сотрясеніямъ, зданій. Въ виду этого вопросъ о колебаніяхъ зданій несомнѣннымъ образомъ долженъ интересовать архитекторовъ, и строителей-инженеровъ. Здѣсь, конечно, не мѣсто освѣщать эту тему съ точки зрѣнія строительного искусства; я ограничусь только изложеніемъ результатовъ обработки записей приборовъ, полученныхъ при паденіи снарядовъ, какъ на самую постройку, такъ и въ ближайшемъ ея сосѣдствѣ.

Литература, относящаяся къ подобнымъ явленіямъ, очень скучная. Самые извѣстные въ этомъ отношеніи опыты были произведены проф. O. Hecker'омъ на полигонѣ въ Куммердорфѣ въ 1897 и 1899 годахъ, гдѣ, между прочимъ, былъ произведенъ взрывъ 1500 кг. взрывчатой желатины, причемъ были зарегистрированы 3 составляющія смещенія почвы (2 горизонтальная и 1 вертикальная¹⁾.

Настоящее изслѣдованіе относится только къ одной вертикальной составляющей.

¹⁾ Gerlands Beiträge zur Geophysik, VI Bd. 1904.

Соответствующие приборы были спроектированы академиком кн. Б. Б. Голицыным и построены механиком при Физической Лаборатории Императорской Академии Наукъ Мазингомъ. На фиг. 1-ой представлены эти приборы въ томъ положеніи, въ какомъ они функционировали (приблизительно въ $\frac{1}{12}$ натуральной величины).

Они представляютъ изъ себя три типа вертикальныхъ сейсмографовъ. Для двухъ приборовъ имѣются особые штативы и регистрирные части съ вращающимися валами съ особыми приспособленіями для отмѣтки времени.

Второй типъ можетъ быть замѣненъ третьимъ, представленнымъ на фигуру на скамейкѣ. Онъ можетъ быть привинченъ въ случаѣ надобности къ подставкѣ часового механизма второго типа.

Устройство этихъ приборовъ слѣдующее.

Подъ выступающей у подошвы ниши подставкой находится еще вторая массивная чугунная плита, которая прямо соединяется на цементѣ съ мѣстомъ, где желаютъ изслѣдовать характеръ сотрясеній. Къ этой плите привинчивается крѣпко подставка, на которой находятся всѣ главныя части прибора. Этимъ способомъ достигается при колебаніяхъ съ весьма короткимъ періодомъ большая прочность установки и приборъ не можетъ отскакивать отъ пола.

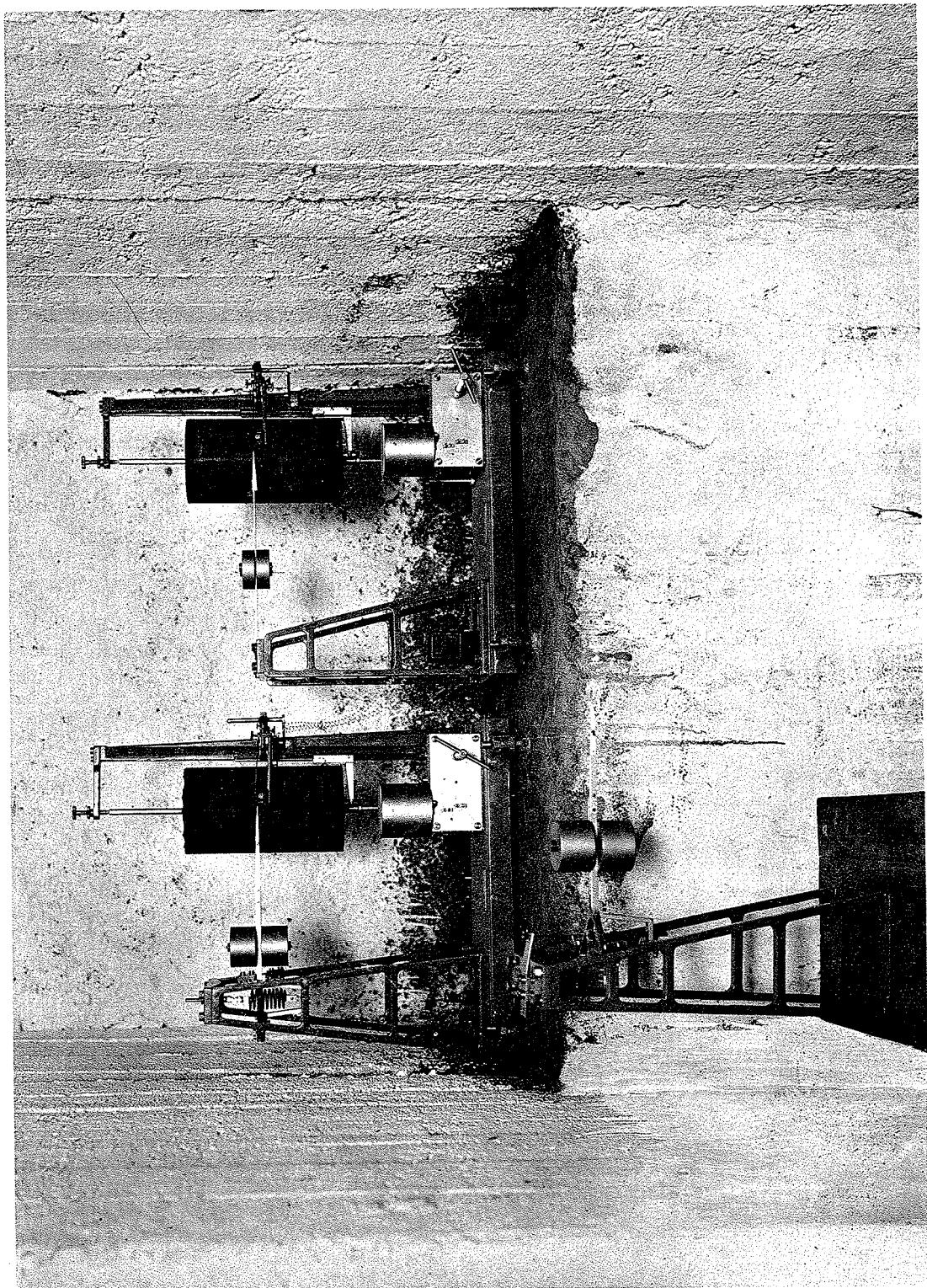
Первый типъ расположенья на рисункѣ въ углу нальво и главная его часть, приходящая въ движение при прохожденіи волнъ упругости или, что то же, при поднятіи и опусканіи почвы, состоить изъ простого одноплечаго рычага съ тяжелою массою, которую можно по желанію передвигать и такимъ образомъ менять величину момента, по отношенію къ горизонтальной оси вращенія. Этотъ рычагъ поддерживается спиралеобразною стальною пружиною, нижняя точка опоры которой находится ниже центра тяжести системы всѣхъ движущихся массъ. При измѣненіи момента рычага и положенія его равновѣсія, можно, посредствомъ особаго винта и гайки, поднимать или опускать по желанію верхнюю точку прикрепленія спирали и такимъ образомъ сохранить всегда опредѣленное положеніе равновѣсія.

Этотъ принципъ конструкціи, примѣненный уже кн. Голицынымъ въ его вертикальномъ сейсмографѣ для сейсмическихъ станцій 1-го разряда¹⁾, даетъ возможность даже при короткихъ спиралахъ значительно удлинить періодъ движущейся системы и дѣлаетъ примѣненіе длинныхъ спиралей, которые во многихъ отношеніяхъ невыгодны, излишнимъ.

Причина, почему періодъ колебаній такого прибора увеличивается, когда нижній конецъ пружины находится ниже центра тяжести, явствуетъ

¹⁾ Извѣстія Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи. Т. IV, вып. 2, 1910 г., также «Лекціи по сейсмометріи» 1912 г.

Фиг. 1



непосредственно изъ теоріи этого прибора. Продолженіе рычага прибора образуетъ удлиненный стержень съ перомъ для записи движенія прибора при колебаніяхъ почвы.

Регистрирная часть состоитъ изъ часового механизма, сообщающаго регистрирному валу два движенія, вращательное и поступательное вдоль оси вала; это послѣднее движение въ данномъ случаѣ всегда направлено сверху внизъ, для каковой цѣли использовано дѣйствіе силы тяжести. Вращеніе вала происходитъ всегда въ направленіи оси пишущаго пера. Скорость вращенія барабана была очень велика, а именно $52-55 \text{ м/секунду}$, причемъ, вслѣдствіе опусканія вала, разстояніе между соѣднными линіями, вычерчиваемыми перомъ, составляетъ 3 м/секунду . Заводъ у часового механизма расчитанъ на 10—15 мин. хода.

Для опредѣленія относительного времени пользуются здѣсь, какъ часто и въ физіологии, электромагнитными камертонами съ опредѣленнымъ числомъ колебаній въ секунду, приводимыми въ движение однимъ или двумя сухими элементами или другимъ какимъ-либо источникомъ электрической энергіи. Кривая колебаній каммертона записывается рядомъ съ кривой прибора.

Чтобы въ случаѣ надобности отмѣтить абсолютные моменты, къ штативу каммертона придаѣланъ маленький электромагнитъ, притягивающій при пропусканиі тока жельзный якорь со штифтомъ, который можетъ ударять о перо каммертона, вслѣдствіе чего получается маленькое отклоненіе въ сторону на кривой каммертона. Это приспособленіе важно, когда имѣется въ виду опредѣлить скорость распространенія упругихъ волнъ, для чего два или нѣсколько такихъ приборовъ устанавливаются въ различныхъ разстояніяхъ отъ источника колебаній. Тогда можно все эти электромагниты включить въ одну общую цѣль и моментальнымъ замыканіемъ тока въ электромагнитикахъ фиксировать на діаграммахъ любой моментъ времени.

Второй типъ представляеть изъ себя простую стальную линейку, привинченную однимъ концомъ къ прочному штативу и имѣющую на другомъ концѣ перо для записыванія колебаній. На этой стальной пластинкѣ находится кроме того передвижной грузъ, который можетъ быть привинченъ на любомъ дѣленіи къ линейкѣ, что даетъ возможность регулировать собственный periodъ колебаній и чувствительность прибора. Этотъ аппаратъ вполнѣ аналогиченъ тому, посредствомъ котораго кн. Голицынъ производилъ свои наблюденія надъ сотрясеніями зданій Морского Корпуса и Морской Академіи подъ вліяніемъ работы мотора Дизеля.

Всѣ остальные части прибора, необходимыя для записи движенія колеблющейся системы, вполнѣ тождественны съ тѣми, которыя имѣются у первого типа этихъ приборовъ.

Третій типъ представляетъ изъ себя комбинацію предыдущихъ двухъ приборовъ. У этого типа имѣется по прежнему рычагъ съ передвижнымъ грузомъ, но для уравновѣшиванія дѣйствія силы тяжести на рычагъ, примѣняется здѣсь другой пріемъ. Наверху, вмѣсто спиральной пружины на штативѣ закрѣплена стальная линейка. Свободный конецъ ея связанъ съ рычагомъ посредствомъ стальной проволоки, нижній конецъ которой находится также ниже центра тяжести всей подвижной системы. При этомъ типѣ можно нижнюю точку опоры перемѣщать вверхъ или внизъ по желанию при помощи винта или гайки и такимъ образомъ измѣнять по произволу періодъ собственного движенія прибора.

Этотъ приборъ по своему принципу вполнѣ тождественъ съ первымъ типомъ; здѣсь только вмѣсто растянутой спиральной пружины примѣнена слегка изогнутая стальная пластинка. Въ виду этого и теорія этого прибора не отличается отъ таковой для первого типа. Этотъ третій типъ примѣняется тогда, когда желательно имѣть два вертикальныхъ сейсмографа съ болѣе длиннымъ періодомъ одновременно въ дѣйствіи. Тогда этотъ приборъ вмѣстѣ съ первымъ типомъ можетъ быть очень полезнымъ.

Теорія двухъ первыхъ типовъ прибора дана достаточно подробно кн. Голицынымъ¹⁾, въ виду чего можно этого вопроса здѣсь вовсе и не касаться. Но, чтобы сдѣлать дальнѣйшее изложеніе болѣе яснымъ, я приведу здѣсь главныійшия формулы, выведенныя кн. Голицынымъ для этихъ аппаратовъ.

На Фиг. 2-ой представленъ схематический чертежъ первого типа прибора; рисунокъ заимствованъ изъ трудовъ кн. Голицына.

Здѣсь изображены два положенія движущейся части сейсмографа — первоначальное и отклоненное на уголъ θ . A есть верхняя точка закрѣплѣнія пружины, B и C нижнія, въ двухъ положеніяхъ, въ H и H_1 находится главная масса, въ E и E_1 конецъ пишущаго пера, а въ O_1 горизонтальная ось вращенія. Кромѣ того введемъ еще слѣдующія обозначенія:

$AB = L_0$ длина пружины въ нормальномъ положеніи прибора,

$AC = L$ та-же величина въ отклоненномъ положеніи,

$O_1 D = a$ разстояніе центральной оси пружины до оси вращенія,

$BD = h$ разстояніе нижней точки опоры отъ горизонтальной плоскости, проходящей черезъ ось вращенія и центръ тяжести,

$O_1 E = O_1 E_1 = L'$ разстояніе отъ оси вращенія до пишущаго пера.

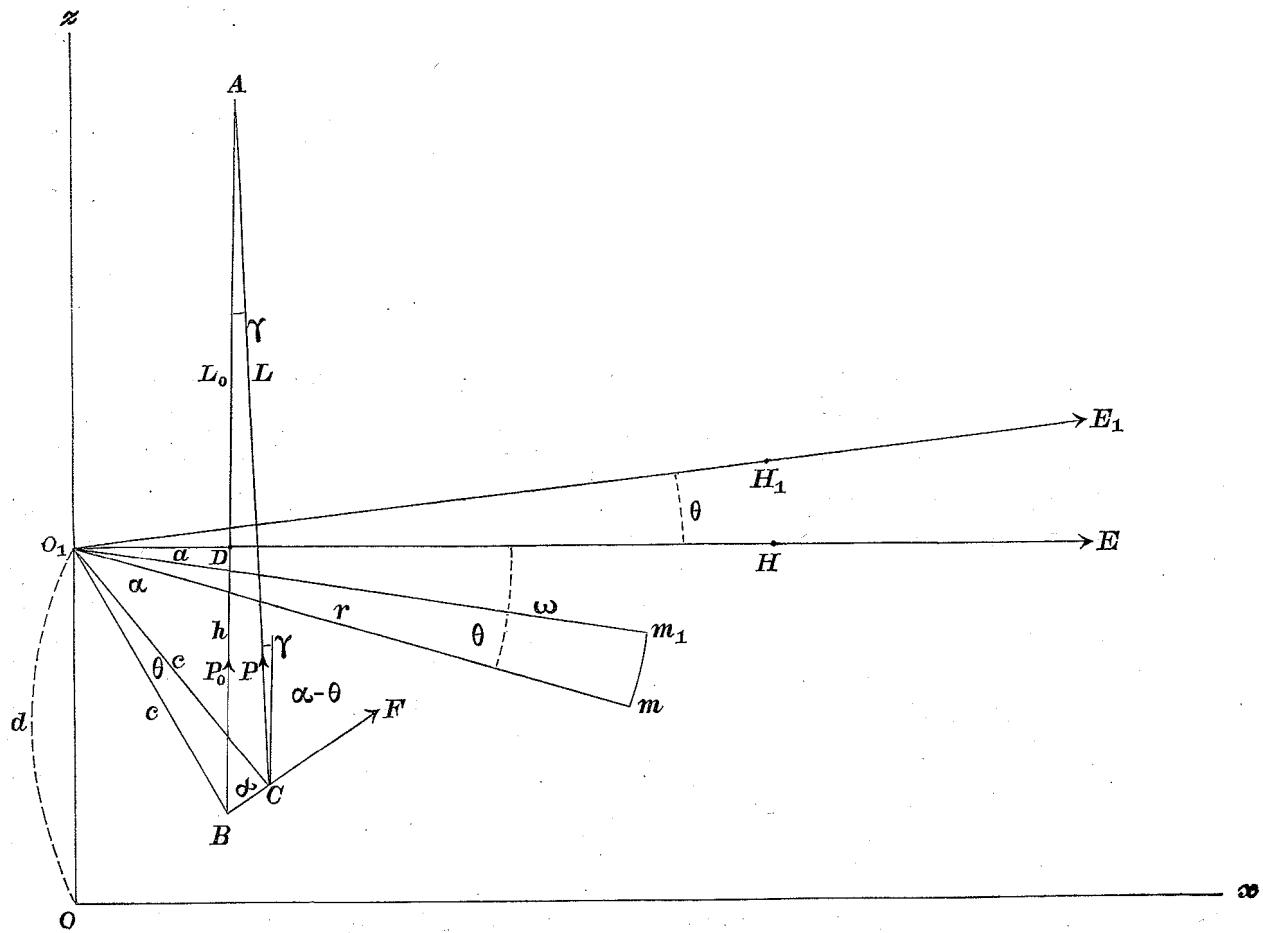
¹⁾ Fürst B. Galitzin (Golicyn). Über einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung.

Извѣстія Постоянной Центральной Сейсмической Комиссіи. Т. IV, вып. 2. 1910.

Кн. Б. Б. Голицынъ. Къ вопросу объ изслѣдованіи колебаній зданій. Л. с. Т. III, вып. 2, № 2. 1909.

Тоже: Кн. Б. Б. Голицынъ. «Лекціи по сейсмометрії». 1912 г.

Фиг. 2.



На основанії принциповъ теоретической механики можно вывести слѣдующее дифференциальное уравненіе движенія сейсмографа при вертикальномъ смѣщеніи почвы z :

$$\theta'' + \left[\frac{\beta}{K} a^2 - \frac{g}{a} \cdot \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \right] \theta + \frac{z''}{l} = 0,$$

гдѣ буквы, неуказанныя выше, имѣютъ слѣдующія значенія:

$$\beta = \frac{P - P_0}{L - L_0},$$

гдѣ P и P_0 представляютъ собою натяженія пружины, соотвѣтствующія двумъ ея длинамъ L и L_0 ,

$$K = \Sigma m r^2$$

моментъ инерціи всей движущейся системы,

$$l = \frac{\Sigma mr^2}{\Sigma mr \cos \omega}$$

длина математического маятника, соответствующая данной системѣ массъ, а g ускореніе силы тяжести.

Обозначивъ множитель у θ черезъ n^2 , т. е. положивъ

$$n^2 = \frac{b}{K} a^2 - \frac{g}{a} \cdot \frac{h}{l} \left(1 - \frac{h}{L_0} \right)$$

и вводя въ уравненіе членъ, зависящій отъ затуханія прибора, который принимается пропорциональнымъ угловой скорости движенія, т. е. $2\epsilon\theta'$, такъ какъ начальный выводъ сдѣланъ для прибора, неподверженаго никакому тренію, получимъ основное дифференціальное уравненіе движенія этого прибора въ слѣдующемъ видѣ:

$$\theta'' + 2\epsilon\theta' + n^2\theta + \frac{z''}{l} = 0 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

Если T обозначаетъ собственный періодъ колебанія прибора (безъ затуханія), то имѣеть мѣсто слѣдующее соотношеніе:

$$n = \frac{2\pi}{T}.$$

Теперь ясно, почему при перенесеніи нижней точки опоры спиральной пружины ниже центра тяжести, періодъ прибора возрастаетъ. Если h увеличивается отъ 0, то n^2 или n уменьшается, а, слѣдовательно, T становится больше.

Въ предыдущія формулы можно еще ввести поправки на массу пружины, которая тоже принимаетъ участіе въ колебаніяхъ движущейся системы. Если M полная масса движущейся части прибора, а M_1 масса спиральной пружины, то въ уравненіи (1) вместо l и n , надо ввести слѣдующія болѣе точныя величины:

$$l' = l \left[1 - \frac{M_1}{M} \left(\frac{1}{2} \frac{a}{r_0} - \frac{1}{3} \frac{c^2}{\rho^2} \right) \right]$$

и

$$n'^2 = n^2 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{c^2 M_1}{\rho^2 M} \right],$$

гдѣ

$$\rho^2 = r_0 l$$

и

$$r_0 = \frac{P_0}{g} \cdot \frac{a}{M}$$

Эти поправки для l и n^2 обыкновенно весьма малы и рѣдко имѣютъ какое-либо практическое значеніе.

Вертикальное смещение почвы z есть некоторая функция отъ времени,

$$z = f(t),$$

тогда

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta = -\frac{f''(t)}{l}.$$

Общій интегралъ этого уравненія можно написать въ слѣдующемъ видѣ:

$$\theta = e^{-\varepsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \\ + \frac{e^{-\varepsilon t}}{l\gamma} \left[\cos \gamma t \int e^{\varepsilon t} \sin \gamma t f''(t) dt - \sin \gamma t \int e^{\varepsilon t} \cos \gamma t f''(t) dt \right],$$

гдѣ $\gamma = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$, а Γ_1 и Γ_2 суть двѣ произвольныя постоянныя, зависящія отъ начальныхъ условій движенія.

При условіи гармонического движенія почвы, когда именно

$$z = z_m \sin(pt + \delta),$$

интегралъ принимаетъ слѣдующій видъ:

$$\theta = e^{-\varepsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \frac{z_m}{l} \cdot \frac{1}{(1 + u^2)\sqrt{1 - \mu^2} f(u)} \sin \{p(t - \tau) + \delta\}, \dots (2)$$

гдѣ для простоты введены слѣдующія обозначенія:

$$p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$u = \frac{T_p}{T}$$

$$\mu^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{n^2}$$

$$f(u) = \left(\frac{2u}{1 + u^2} \right)^2$$

$$\tau = \frac{\Delta}{p}$$

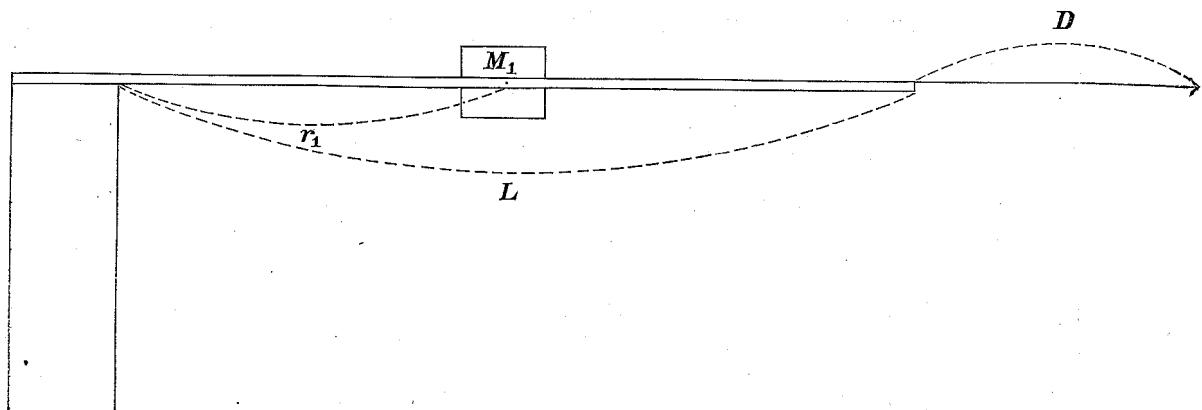
$$\Delta = \arctg \left\{ \sqrt{1 - \mu^2} \cdot \frac{2u}{u^2 - 1} \right\},$$

причём δ обозначает начальную фазу движений.

Прежде чёмъ примѣнять формулу (1) къ нашему случаю, приведемъ самыя необходимыя соотношения, относящіяся къ другимъ приборамъ.

Теорія второго типа изложена кн. Б. Б. Голицынымъ въ статьѣ «Къ вопросу объ изслѣдованіи колебаній зданій»¹⁾.

Фиг. 3.



Основное дифференціальное уравненіе этого прибора слѣдующее:

$$y'' + 2\varepsilon y' + n^2 y + \sigma z'' = 0, \dots \dots \dots \quad (3)$$

гдѣ y здѣсь уже не уголъ отклоненія, но отклоненіе пишущаго пера на регистрирномъ валѣ отъ положенія равновѣсія, а z вертикальное смѣщеніе почвы. ε , n и σ суть три характерныя постоянныя прибора.

Въ этомъ случаѣ имѣютъ мѣсто слѣдующія соотношенія:

$$T = \frac{2\pi}{n} \text{ (собственныйный периодъ прибора безъ затуханія)}$$

$$n^2 = \frac{Eab^3}{9L^3 H_2}$$

$$\sigma = \frac{2}{3} s \cdot \frac{H_1}{H_2},$$

¹⁾ L. c.

гдѣ a , b и L ширина, толщина и длина стальной линейки, а E ея модуль продольной упругости. Если M масса стальной линейки, M_1 добавочный грузъ въ разстоянії r_1 отъ мѣста закрѣпленія полоски и D длина пишущаго пера (фиг. 3), то s , H_1 и H_2 выразятся слѣдующимъ образомъ:

$$s = 1 + \frac{3}{2} \frac{D}{L}$$

$$H_1 = \Sigma m \varphi = \frac{1}{4} M + M_1 \varphi_1$$

$$H_2 = \Sigma m \varphi^2 = \frac{11}{105} M + M_1 \varphi_1^2,$$

гдѣ

$$\varphi_1 = \left(\frac{r_1}{L} \right)^2 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{r_1}{L} \right].$$

Дифференціальное уравненіе (3) вполнѣ похоже на (1), ввиду того, въ предположеніи гармонического движенія почвы, и интеграль его соотвѣтствуетъ вполнѣ уравненію (2), а именно мы будемъ имѣть:

$$y = e^{-\epsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \sigma z_m \frac{1}{(1+u^2)\sqrt{1-\mu^2 f(u)}} \sin \{p(t-\tau)+\delta\}, \dots (4)$$

Входящія сюда величины имѣютъ то же значеніе, что и раньше.

Теорія третьяго типа прибора въ сущности не отличается отъ теоріи первого; остается только доказать, что работа выражается такою же формuloю, какъ и для первого типа; для этого надо найти выраженіе:

$$F \cdot c \cdot d\theta = c \cdot P \cdot \cos(\alpha - \theta + \gamma).$$

Найдемъ, пользуясь фиг. 4, выраженія для P и γ .

На фиг. 4 представлено два положенія движущейся системы, нормальное и отклоненное. Продолжимъ A_0B и AC (направленія проволоки, связывающей линейку съ нижней точкой опоры) до пересѣченія въ A' .

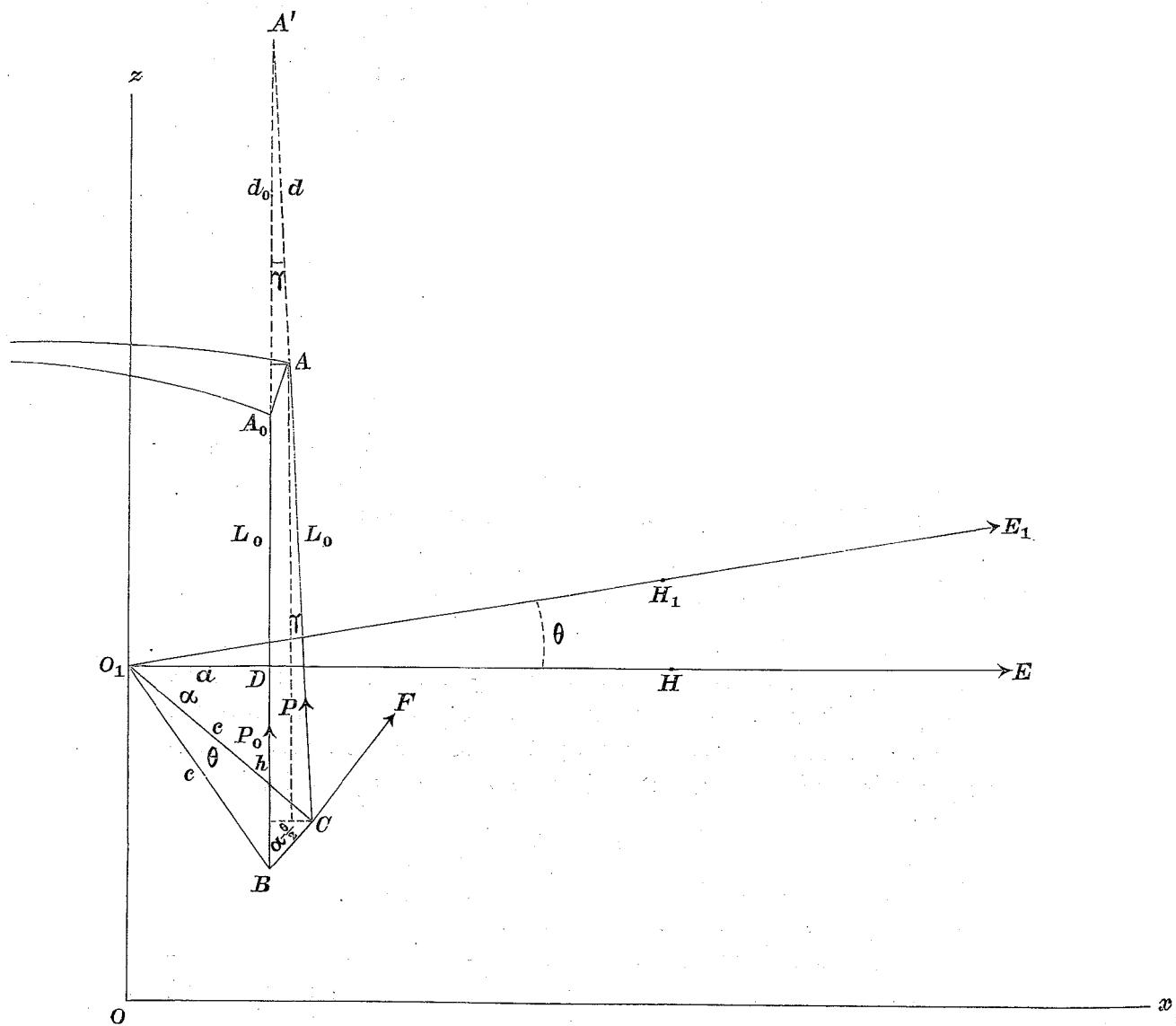
Пусть при нормальному положеніи прибора натяженіе проволоки равно P_0 ; тогда при измѣненіи положенія равновѣсія пластинка отогнется вѣсколько вверхъ или внизъ и, по законамъ теоріи упругости, разность разстояній d_0 и d конца линейки до точки A' связана съ разностью натяженій слѣдующей простой формулой:

$$P - P_0 = \beta'(d - d_0) = \beta' \Delta d,$$

откуда

$$\beta' = \frac{P - P_0}{\Delta d}.$$

Фиг. 4.



Изъ Фиг. 4 слѣдуетъ, что

$$L_0 + d_0 - L_0 - d = \Delta d = c\theta \cdot \cos\left(\alpha - \frac{\theta}{2}\right) - c\theta \sin\left(\alpha - \frac{\theta}{2}\right) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

Пренебрегая членами порядка θ^2 , имѣемъ:

$$P = P_0 - \beta' c\theta \cos \alpha = P_0 - \beta' a\theta.$$

Далѣе имѣемъ изъ Фиг. 4

$$L_0 - c\theta \cos\left(\alpha - \frac{\theta}{2}\right) + c\theta \cos\left(\alpha - \frac{\theta}{2}\right) - c\theta \cdot \sin\left(\alpha - \frac{\theta}{2}\right) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = L_0 \cos \gamma,$$

откуда, пренебрегая членами порядка θ^2 , слѣдуетъ, что

$$\gamma = \frac{h\theta}{L_0}.$$

Пользуясь этими выраженими, можно работу представить въ слѣдующемъ видѣ:

$$Fcd\theta = \left[aP_0 + hP_0 \left(1 - \frac{h}{L_0} \right) \theta - \beta' a^2 \theta \right] d\theta,$$

съ точностью до членовъ порядка θ^2 .

Вполнѣ такое же выраженіе работы дано кн. Б. Б. Голицынымъ для первого типа прибора; тамъ только, вмѣсто β' , стоитъ β .

Тамъ β представляетъ собою коеффиціентъ растяженія спиральной пружины, здѣсь β' есть коеффиціентъ гнутія стальной линейки.

Что касается постоянныхъ этихъ приборовъ, то одна часть ихъ была опредѣлена до отправки аппаратовъ въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ, другая же часть на мѣстѣ наблюденій.

Приведенная длина l маятниковъ первого и третьаго типовъ опредѣляется проще всего по методу, употребляемому вообще для вертикальныхъ сейсмографовъ системы кн. Б. Б. Голицына, установленныхъ на первоклассныхъ сейсмическихъ станціяхъ.

Поворачиваются приборы на 90° , предварительно разъединивъ рычаги отъ пружины или пластинки; затѣмъ заставляютъ систему качаться, какъ простой вертикальный физическій маятникъ, и опредѣляютъ помощью секундомѣра періодъ качанія T_0 , причемъ наблюдаютъ подрядъ 100 періодовъ. Эти наблюденія повторяютъ нѣсколько разъ. Вводя поправку для секундомѣра, длина l вычисляется тогда по известной формулѣ маятника:

$$l = \frac{T_0^2}{4\pi^2} \cdot g,$$

гдѣ g есть ускореніе силы тяжести въ мѣстѣ наблюденій.

Такимъ образомъ опредѣлили для первого и третьаго типа l при трехъ положеніяхъ главнаго груза, на 40, 70 и 100 дѣленій рычага.

Въ слѣдующей табличкѣ сопоставлены результаты этихъ наблюденій:

Дѣленіе	l (1-ый типъ)	l (3-ий типъ)
40	129,9 $\text{м}/\text{м}$	131,8 $\text{м}/\text{м}$
70	158,0	159,8
100	186,7	188,5

Что касается поправки на спиральную пружину или стальную линейку, то она, въ виду малости массы ихъ M_1 , совершенно незначительна. Она оказалась при этихъ трехъ положеніяхъ груза для первого типа заключенной между 0,1 и $0,2^{\text{м}}/\text{м}$; для такихъ приборовъ подобная поправка, конечно, никакого практическаго значенія не имѣеть. Для третьяго типа эта поправка, вслѣдствіе малой массы соединительной проволоки и пластиинки, еще меньше. Въ виду этого этими поправками можно совершенно пре-небречь.

Далѣе я привожу значенія другихъ величинъ для этихъ сейсмографовъ, причемъ я присоединю уже здѣсь значенія всѣхъ тѣхъ постоянныхъ, которые были опредѣлены на мѣстѣ наблюденій. Такъ какъ третій типъ не былъ въ дѣйствіи, то излишне приводить здѣсь его постоянныя.

Для первого типа:

Масса рычага съ грузомъ	$M = 5460$ гр.
Масса пружины	$M_1 = 74$ гр.
Коэффиціентъ	$\beta = 4079$
Разстояніе пера отъ оси вращенія .	$L' = 414^{\text{м}}/\text{м}$
Приведенная длина прибора	$l = 129,8^{\text{м}}/\text{м}$
Собственный періодъ прибора	$T = 0,704$
Коэффиціентъ затуханія	$\epsilon = 0,031$

Для второго типа:

Масса стальной линейки	$M = 232$ гр.
Масса цилиндрическаго груза . . .	$M_1 = 2352$ гр.
Діаметръ его	$d = 75^{\text{м}}/\text{м}$
Длина стальной линейки	$L = 317^{\text{м}}/\text{м}$
Ширина	$a = 31^{\text{м}}/\text{м}$
Толщина	$b = 3,03^{\text{м}}/\text{м}$
Длина пера	$D = 63^{\text{м}}/\text{м}$
Увеличеніе прибора	$\sigma = 3,84$
Собственный періодъ прибора	$T = 0,096$
Коэффиціентъ затуханія	$\epsilon = 0,120$

Постоянную прибора σ желательно определять всегда изъ опыта, но при этомъ весьма важно, чтобы при такихъ определеніяхъ періодъ платформы, на которой испытывается приборъ, соотвѣтствовалъ періодамъ, дѣйствительно встрѣчающимся при тѣхъ сотрясеніяхъ, для которыхъ приборъ записываетъ движеніе. При весьма короткихъ періодахъ сотрясеній, какъ напримѣръ въ настоящемъ случаѣ ($T = 0^{\circ}012$), весьма возможно, что σ , вычисленное по формулѣ

$$\sigma = \frac{2}{3} s \frac{H_1}{H_2},$$

нѣсколько отличается отъ того значенія, которое получилось бы экспериментальнымъ путемъ, еслибы мы поставили приборъ на платформу и сообщили ей ритмическая колебанія короткаго періода вверхъ и внизъ, амплитуды которыхъ записывались бы на отдѣльномъ регистрирующемъ валѣ. Это явствуетъ изъ того обстоятельства, что, при колебаніяхъ съ короткими періодами, нѣкоторыя части прибора, при недостаточной твердости системы, могутъ имѣть обратное дѣйствіе на ту часть прибора, которая одна единственю должна была бы воспринимать движеніе почвы, отчего амплитуды колебанія прибора могутъ нѣсколько измѣниться.

Но, такъ какъ пока еще не выработанъ подходящій методъ для проверки этого обстоятельства, то здѣсь я воспользовался величинами, полученными изъ вычисленій.

Коэффиціентъ затуханія зависитъ отъ логарифмического декремента Λ и періода T . Зависимость выражается слѣдующей формулой:

$$\varepsilon = 4,6052 \frac{\Lambda}{T}.$$

Λ и T были определены изъ кривой собственного движенія приборовъ, причемъ оказалось для первого типа $\Lambda = 0,0047$, для второго $\Lambda = 0,0026$.

Камертоны для измѣренія времени были выписаны отъ фирмы Циммерманъ въ Лейпцигѣ и были подробно изслѣдованы въ Физической Лабораторіи Академіи Наукъ. Требовалось именно определить ихъ періодъ колебанія.

Для этой цѣли камертоны приводились въ дѣйствіе, причемъ колебанія ихъ записывались на закопченной бумагѣ, надѣтой на вращающейся регистрируемый валъ, приведенный въ движение часовыми механизмомъ. Рядомъ съ кривыми отъ камертоновъ снимали одновременно слѣдъ пера отъ контактнаго хронометра той же фирмы, оставлявшаго каждую секунду особую отметку на бумагѣ. Опытъ производился при малыхъ и большихъ ампли-

тудахъ колебаний камертоновъ, причемъ получилась для обоихъ камертоновъ маленькая разность въ періодахъ колебаний въ обоихъ этихъ случаяхъ.

Изъ многихъ произведенныхъ измѣреній получились слѣдующія данные:

	Мал. ампл.	Больш. ампл.	Среднее
Камертонъ № 350	0,01002	0,00998	0,01000
Камертонъ № 374	0,00997	0,00995	0,00996

При большихъ амплитудахъ періодъ немного меньше, какъ-бы обратно-тому, что слѣдовало бы ожидать. Это свойство объясняется, по всей вѣ-роятности, тѣмъ обстоятельствомъ, что при усиливаніи тока ребро камертона сильнѣе ударяетъ о контактный штифтъ электромагнита, находящагося вблизи основанія камертона, что равносильно тому, что какъ будто прибавляется небольшая добавочная масса къ камертону. Для періода камертона можно взять среднее значеніе для большихъ и малыхъ амплитудъ.

Посмотримъ теперь, какимъ образомъ слѣдуетъ пользоваться уравненіями (2) и (4), чтобы получить изъ нихъ истинное вертикальное смѣщеніе почвы z_m .

На кривыхъ, полученныхъ при паденіи снарядовъ, замѣчается два характерныхъ движенія, одно большею частью съ періодомъ около 0,1, второе съ періодомъ около 0,01.

Первая группа движеній большею частью не вполнѣ синусоидальнаго характера и обнаруживаетъ при затуханіи движенія довольно правильный ходъ. Она хорошо выражена на записи первого типа прибора; второй же приборъ записываетъ всегда однообразную плавную синусоиду, не дающую ни какого другого періода кроме своего собственнаго, ни яснаго представліенія о ходѣ явленія. Такъ какъ этотъ послѣдній приборъ очень часто находится вблизи резонанса съ движениемъ почвы, то онъ для періодовъ около 0,1 даетъ очень значительныя отклоненія пишущаго пера; для другихъ же періодовъ, напримѣръ въ 0,2 или 0,3, запись весьма слабая, совсѣмъ не со-ответствующая истинному движенію почвы. Но зато этотъ приборъ передаетъ весьма отчетливо вторую группу волнъ съ періодомъ около 0,01, которая имѣетъ большею частью гораздо болѣе правильный характеръ и болѣе слабое затуханіе. Для изслѣдованія этихъ короткихъ волнъ первый типъ прибора совсѣмъ не пригоденъ; въ немъ обнаруживаются сильныя гори-зонтальные движенія, которые совсѣмъ искажаютъ явленіе.

Изъ этого явствуетъ, что горизонтальная составляющая этихъ дви-женій довольно значительная и подвижная система прибора и регистри-рующей части недостаточно прочны для изслѣдованія такихъ мелкихъ дро-

жаній, иначе говоря, система не обладаетъ достаточной твердостью и неизменностью.

Въ виду изложенного обработку движений съ длиннымъ періодомъ колебаний можно выполнить только по первому типу приборовъ, а съ короткими по второму.

Несмотря на то, что кривыя, соотвѣтствующія колебаніямъ постройки, обнаруживаются нѣкоторое затуханіе движенія, мы для простоты будемъ всетаки считать ихъ синусоидальными, какъ это до сихъ поръ дѣлается въ сейсмометрії, слѣдовательно, мы и никакихъ поправокъ на затуханіе вводить не будемъ.

Уравненіе, относящееся къ первому прибору, а именно

$$\theta = e^{-\varepsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \frac{z_m}{l} \frac{1}{(1+u^2) \sqrt{1-\mu^2} f(u)} \sin \{p(t-\tau) - \delta\} \dots (2)$$

состоитъ изъ двухъ частей. Первая часть представляетъ собою затухающую синусоиду и выражаетъ собственное движение прибора. Вторая часть даетъ синусоидальную кривую и относится къ движению почвы. Здѣсь слѣдуетъ отдѣлить движение почвы отъ собственного движения прибора. Эта задача въ общемъ случаѣ довольно сложная. На практикѣ поступаютъ лучше всего такъ: вводятъ у прибора сильное затуханіе, т. е. увеличиваютъ ε ; тогда первые два члена въ уравненіи (2) скоро исчезаютъ и задача значительно упрощается. Но въ нашемъ случаѣ ε какъ разъ мало и даже мало отличается отъ нуля. Кроме того, при опредѣленіи максимальнаго смыщенія почвы z_m , мы имѣемъ здѣсь дѣло съ малыми промежутками времени, въ виду малости періода волнъ, гдѣ $\frac{T}{4}$ болѣею частью всего только около 0°03.

Въ виду этого можно въ первомъ приближеніи положить $e^{-\varepsilon t} = 1$, μ^2 , въ виду малости $\frac{\varepsilon^2}{n^2}$, равныи 1, τ по этой причинѣ исчезаетъ, а δ мы можемъ положить равнымъ нулю и $\gamma = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$ равнымъ n .

Тогда уравненіе (2) приметъ слѣдующій упрощенный видъ:

$$\theta = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \frac{z_m}{l} \cdot \frac{1}{u^2 - 1} \cdot \sin pt \dots \dots \dots (5)$$

Теперь нужно опредѣлить изъ начальныхъ условій движенія значеніе произвольныхъ постоянныхъ Γ_1 и Γ_2 .

При $t = 0$ почва въ покой и, слѣдовательно, уравненіе (5) даетъ

$$\theta_0 = \Gamma_1 = 0.$$

Въ этотъ моментъ движение почвы сообщаетъ сейсмографу нѣкоторую начальную скорость θ'_0 , которую можемъ опредѣлить изъ уравненія (5).

Имѣемъ

$$\theta' = n\Gamma_2 \cos nt + \frac{pz_m}{l} \frac{1}{u^2 - 1} \cos pt,$$

и при $t = 0$

$$\theta'_0 = n\Gamma_2 + \frac{pz_m}{l} \cdot \frac{1}{u^2 - 1}.$$

Съ другой стороны можно получить θ'_0 изъ дифференциального уравнения (1), интегрируя его почленно въ предѣлахъ отъ 0 до чрезвычайно малаго промежутка времени, что даетъ:

$$\theta'_0 = -\frac{z'_0}{l}.$$

При нашемъ предположеніи гармонического движенія почвы

$$z = z_m \sin pt;$$

отсюда имѣемъ:

$$z' = pz_m \cos pt;$$

следовательно, для $t = 0$,

$$z'_0 = pz_m$$

и

$$\theta'_0 = -\frac{pz_m}{l}.$$

Тогда

$$-\frac{pz_m}{l} = n\Gamma_2 + \frac{pz_m}{l} \cdot \frac{1}{u^2 - 1},$$

откуда

$$\Gamma_2 = -\frac{p}{n} \frac{z_m}{l} \cdot \frac{u^2}{u^2 - 1} = -\frac{z_m}{l} \cdot \frac{u}{u^2 - 1}.$$

Уравненіе движенія прибора (5) принимаетъ тогда слѣдующій простой видъ

$$\theta = \frac{z_m}{l} \cdot \frac{1}{u^2 - 1} [\sin pt - u \sin nt].$$

Для малыхъ значеній θ , съ которыми мы только и имѣемъ дѣло,

$$\theta = \frac{y}{L'},$$

гдѣ y есть отклоненіе пера на копченной бумагѣ отъ положенія равновѣсія, а L' разстояніе пера отъ оси вращенія прибора.

Въ нашемъ случаѣ u^2 очень малая величина; вводя вместо $n = pu$ и принимая во вниманіе только первый членъ разложенія $\sin pt$ въ рядъ,

можемъ написать

$$y = -z_m \mathfrak{V}_0 (\sin pt - u^2 pt) (1 + u^2),$$

гдѣ $\mathfrak{V}_0 = \frac{L'}{l}$ есть нормальное увеличение прибора (для волнъ безконечно малаго периода), или, пренебрегая членами порядка u^4 ,

$$y = -z_m \mathfrak{V}_0 \{\sin pt + u^2 (\sin pt - pt)\}.$$

Такъ какъ u малая величина, то T_p можно опредѣлить прямо изъ кривой. Также наступленіе первого максимума или минимума мало отличается отъ $\frac{\pi}{2}$. Дѣйствительно, изъ условія $\frac{dy}{dt} = 0$ получимъ

$$\cos pt = \frac{u^2}{1+u^2} = u^2 - u^4;$$

следовательно моментъ наступленія максимума или минимума имѣеть мѣсто при $pt = \frac{\pi}{2} - u^2 (1 - u^2)$. Пренебрегая членами порядка u^4 , имѣемъ для максимальнаго смыщенія почвы:

$$y_m = -z_m \mathfrak{V}_0 \left\{ 1 + u^2 \left(1 - \frac{\pi}{2} \right) \right\}$$

или

$$z_m = -\frac{y_m}{\mathfrak{V}_0} (1 + 0,5708 u^2) \dots \dots \dots \quad (6)$$

По этой формулѣ можно вычислить для этого прибора вертикальное смыщеніе почвы z_m . Знакъ (—) показываетъ только, что отклоненіе прибора происходитъ въ направленіи противоположномъ движению почвы.

Теперь посмотримъ, какимъ образомъ можно выдѣлить движеніе почвы у другого прибора. Здѣсь мы имѣемъ уже дѣло съ ясной тройной синусоидой и разборъ такихъ кривыхъ обыкновенно чрезвычайно сложенъ. Но въ данномъ случаѣ, когда всѣ движенія начинаются одновременно и мы имѣемъ дѣло только съ очень малымъ промежуткомъ времени, задача нѣсколько упрощается.

Предположивъ, что у настѣ налагаются другъ на друга два гармоническія движенія съ разными периодами колебаній почвы T_{p_1} и T_{p_2} , мы должны написать уравненіе (4) въ слѣдующемъ видѣ:

$$y = e^{-\epsilon t} [\Gamma_1 \cos \gamma t + \Gamma_2 \sin \gamma t] + \sigma \cdot z_{m_1} \frac{1}{(1+u_1^2) \sqrt{1-\mu^2 f(u_1)}} \cdot \sin \{p_1(t-\tau_1)+\delta\} + \\ + \sigma \cdot z_{m_2} \frac{1}{(1+u_2^2) \sqrt{1-\mu^2 f(u_2)}} \cdot \sin \{p_2(t-\tau_2)+\delta\}, \dots \quad (7)$$

или, сдѣлавъ такія же упрощенныя предположенія, какъ и для первого типа прибора,

$$y = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \sigma z_{m_1} \frac{1}{u_1^2 - 1} \sin p_1 t + \sigma z_{m_2} \frac{1}{u_2^2 - 1} \sin p_2 t \dots (8)$$

Послѣ введенія значеній Γ_1 и Γ_2 , получимъ

$$y = \sigma \cdot z_{m_1} \frac{1}{u_1^2 - 1} (\sin p_1 t - u_1 \sin nt) + \sigma \cdot z_{m_2} \frac{1}{u_2^2 - 1} (\sin p_2 t - u_2 \sin nt).$$

Во второй части этого уравненія положимъ

$$\frac{T_{p_2} - T}{T} = \xi$$

и

$$T_{p_2} = m T_{p_1}.$$

Тогда $u_2 = 1 + \xi$ и, съ точностью до величинъ высшаго порядка,

$$\sin p_2 t - u_2 \sin nt = -\xi \left[1 - \frac{1}{2} \frac{p_1^2}{m^2} \xi t^2 \right] \sin \frac{p_1 t}{m} - \frac{p_1 \xi t}{m} (1 + \xi) \cos \frac{p_1 t}{m}$$

или, разлагая далѣе \sin и \cos въ рядъ и пренебрегая членами высшаго порядка,

$$\sin p_2 t - u_2 \sin nt = -\frac{p_1 t}{m} (2 + \xi) \cdot \xi.$$

Такъ какъ

$$u_2^2 - 1 = (2 + \xi) \cdot \xi,$$

то вторая часть выраженія y въ первомъ приближеніи принимаетъ видъ:

$$-\sigma \cdot z_{m_2} \cdot \frac{p_1 t}{m}.$$

Для первой части того же уравненія имѣютъ вполнѣ мѣсто тѣ же самыя разсужденія, что и для первого типа приборовъ; слѣдовательно общее выраженіе для второго случая будетъ:

$$y = -z_{m_1} \sigma \{ \sin p_1 t + u_1^2 (\sin p_1 t - p_1 t) \} - z_{m_2} \sigma \cdot \frac{p_1 t}{m}.$$

Поставимъ еще

$$z_{m_2} = \rho z_{m_1}$$

тогда будемъ имѣть

$$y = -z_{m_1} \sigma \left\{ \sin p_1 t (1 + u_1^2) - p_1 t \left(u_1^2 + \frac{\sigma}{m} \right) \right\} \dots \dots \dots (9)$$

Отсюда видно, что членъ съ $\frac{\sigma}{m}$ можетъ дать очень крупную поправку. Все зависитъ отъ отношенія амплитудъ обоихъ движеній и ихъ періодовъ. Но на практикѣ, на записяхъ этихъ приборовъ вначалѣ большою частью движеніе второго рода даетъ весьма плоскую кривую и мелкіе періоды T_p , какъ бы сразу рѣзко выступаютъ. Въ виду этого, при опредѣленіи амплитуды вертикального смещения почвы, я пользовался для вычисленія амплитуды z_m той же простой формулой, что и для первого типа приборовъ.

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены результаты всѣхъ измѣреній и вычисленій, сдѣланныхъ на основаніи полученнаго наблюдательнаго матеріала, поскольку записи вообще оказались годными для данной цѣли.

Въ первомъ столбцѣ дань № снаряда; во второмъ — разстояніе мѣста паденія снаряда до приборовъ въ метрахъ, причемъ здѣсь уже учтено вертикальное разстояніе приборовъ отъ крыши постройки. Въ третьемъ и четвертомъ столбцахъ даны вычисленныя полуамплитуды вертикального смещенія почвы въ миллиметрахъ и ихъ соотвѣтствующіе періоды въ секундахъ.

Для гармонического движения наибольшее ускореніе выражается такъ:

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 \cdot z_m.$$

Въ пятомъ столбцѣ даны именно эти величины въ тысячныхъ доляхъ Gal'a, т. е. въ Milligal'ахъ (M. G.), какъ это принято вообще въ сейсмометрії. Дальше въ слѣдующемъ, шестомъ столбцѣ приведены величины $\frac{\omega}{g}$, причемъ для ускоренія силы тяжести принято

$$g = 980790 \text{ M. G.}$$

Въ седьмомъ столбцѣ приведены въ килограммахъ соотвѣтствующія величины силы удара на 1 квадратный метръ

$$P = 2 \frac{\omega}{g} P_0,$$

относительно къ одному кубическому метру строительнаго матеріала стѣнъ зданія, причемъ соотвѣтствующій удельный вѣсъ принять равнымъ 2,0;

1) 1 — Gal соотвѣтствуетъ ускоренію 1 сантиметра въ секунду.

Таблица I.

$\#$	r	z_m	T_p	ω	$\frac{\omega}{g}$	P	Примѣчанія.
	M.	m / m	Сек.	M. G.		Килогр.	
270	41,0	0,029	0,080	17890	0,0182	73	Поднятіе.
		0,007	0,012	180900	0,1845	738	
271	45,8	0,032	0,110	10440	0,0106	43	Поднятіе.
272	46,1	0,040	0,120	10970	0,0112	45	»
273	54,6	0,024	0,165	3480	0,0036	14	»
274	66,2	0,029	0,135	6282	0,0064	26	»
275	32,4	0,032	0,070	25780	0,0263	105	»
		0,013	0,012	361900	0,3690	1476	
277	33,3	0,032	0,070	25780	0,0263	105	Поднятіе.
		0,011	0,012	287900	0,2935	1174	
279	51,8	0,032	0,122	8488	0,0087	35	Поднятіе.
280	8,9	0,063	0,075	44220	0,0451	180	Сперва опусканіе.
		0,382	0,014	7694000	7,8450	31380	
281	11,7	0,048	0,066	43500	0,0444	177	Опусканіе.
		0,145	0,016	2236000	2,2800	9120	
283	14,8	0,095	0,080	58600	0,0598	239	Опусканіе.
285	22,2	0,382	0,013	3924000	9,0980	36392	»
291	12,8	0,095	0,075	66670	0,0680	272	»
		0,066	0,013	1542000	1,5720	7288	
294	9,4	0,789	0,013	18430000	18,7900	75160	! Опусканіе.
297	21,6	0,026	0,013	614400	0,6264	2506	Весьма слаб. опуск.
298	19,1	0,063	0,076	43060	0,0439	176	Весьма слаб. поднятіе, потомъ опусканіе.
		0,040	0,013	922700	0,9408	3763	
299	22,5	0,079	0,085	43170	0,0440	176	Под. случай, какъ у № 298, только подн. внач. лучше выраж.
		0,040	0,013	922700	0,9408	3763	
300	15,1	0,079	0,073	58530	0,0597	239	Опуск. (внач. зам. весьма слаб. подн.).
		0,053	0,013	1229000	1,2530	5012	
302	34,2	0,040	0,075	28070	0,0286	114	Сперва подн., потомъ опусканіе.
		0,066	0,013	1542000	1,5720	6288	

№	r	z_m	T_p	ω	$\frac{\omega}{g}$	P	П р и м ъ ч а н і я .	
							М.	м / м
							Сек.	Килогр.
303	23,4	0,024	0,070	19340	0,0197	79	Неясно.	
306	35,4	0,040	0,070	32230	0,0329	131	Поднятіе.	
314	14,3	0,637	0,125	160900	0,1641	656	Быстрое опуск. почвы.	
318	20,2	0,223	0,120	61140	0,0623	249	Опускание.	
319	46,7	0,127	0,120	34820	0,0355	142	Сперва слаб. поднятіе.	
320	34,8	0,064	0,120	17550	0,0179	72	Неясно.	
324	18,9	0,478	0,120	131000	0,1836	534	Слаб. подн., потомъ опусканіе.	
325	19,8	0,048	0,110	15660	0,0160	64	Снарядъ не разорв.	
336	37,5	0,064	0,115	19100	0,0195	78	Слаб. подн., потомъ опуск. Снар. не разорв.	
345	42,1	0,112	0,135	24260	0,0247	99	Слаб. подн., потомъ опусканіе.	
352	27,1	0,143	0,100	56160	0,0576	230	Неправильное подн. Мелк. T_p показ. на опуск.	
			0,066	0,012	1809000	1,8450	7380	
353	58,5	0,112	0,160	17270	0,0176	70	Слабое поднятіе.	
354	20,8	0,197	0,016	3038000	3,0980	12392	Преоблад. поднятіе.	
325bis	80,0	0,080	0,110	26100	0,0266	106	У всѣхъ 3 снар. зам. 2 движ., спер. болѣе слаб. съ бол. кор.	
326	15,9	0,104	0,190	11370	0,0116	46	T_p , потомъ движ. увел. и T_p взр. Сл. движ. у перв. нач. на 0;04, у 2 друг. на 0;10 раньше.	
327	51,2	0,064	0,130	14950	0,0152	61		
365	16,4	0,053	0,013	1238000	1,2620	5048	Главн. движ. неразб. Слабое поднятіе.	
371	16,9	0,367	0,143	70850	0,0722	289	Опуск. почвы при пад. и взр. Взр. у перв. на 0;097 послѣ пад., у вт. на 0;090. У № 372 длин. T_p неясно выражено.	
372	19,7	0,132	0,013	3084000	3,1440	12576		
382	45,5	0,112	0,105	40110	0,0409	164	Слаб. движ. на 0;09 раньше. Поднятіе.	
383	32,7	0,018	0,105	17190	0,0175	70	Здѣсь на 0;07 раньше. Поднятіе.	
384	38,4	0,183	0,105	65530	0,0668	267	На 0;077 раньше весьма слаб. движ. (подн.), потомъ подн. бол. сильн.	
385	47,0	0,096	0,190	10500	0,0107	43	Поднятіе.	
386	25,5	0,143	0,113	45240	0,0461	185	Почти момент. слаб. поднятіе.	
398	45,5	0,351	0,152	59980	0,0612	245	Въ обоихъ случ. снач. слаб. подн., потомъ сильн. опуска- ние.	
399	28,0	0,263	0,130	61440	0,0626	251		

№	r	z_m	T_p	ω	$\frac{\omega}{g}$	P	П р и м ъ ч а н і я .
							М.
426	44,6	0,367	0,190	40140	0,0409	164	Подн., потомъ опуск.
427	85,4	0,064	0,170	8743	0,0089	36	Неясное движ. Поднятіе.
737	24,8	0,112	0,100	44220	0,0451	180	Взр. на 0;17 послѣ пад. При пад. и при взр. сперва сл. подн. Въ мом. взр. мелк. T_p показ. внезапн. опусканіе.
		0,158	0,013	3691000	3,7630	15052	
738	55,2	0,367	0,240	25150	0,0257	103	Сперва слаб. подн., потомъ опуск. Взр. около 0;05 послѣ паден.
747	23,6	0,271	0,105	97040	0,0989	396	Сперва подн., причемъ мелк. T_p показ. опуск.
		0,237	0,013	5537000	5,6450	22580	
756	23,9	0,207	0,102	78550	0,0801	320	Мелк. T_p искаж. запись. Опуск.— подн. — опуск.
757	99,1	0,797	0,340	27220	0,0278	111	Раньше подн., потомъ опуск. Слаб. движ. на 0;26 раньше.
		0,026	0,013	607400	0,6193	2477	
758	36,3	0,717	0,150	125800	0,1283	513	Подн., потомъ сильное опуск. Слаб. дѣ. на 0;06 раньше.
759	62,5	0,255	0,150	44740	0,0456	182	Здѣсь сл. дѣ. на 0;21 раньше.
Инж. № 2	27,1	0,223	0,105	7850	0,0814	326	Мелк. T_p пок. сл. опуск. потомъ подн. Больш. T_p имѣеть какъ разъ обр. ходъ. Такой харак. дѣ. и у Инж. № 1.
		0,092	0,013	2149000	2,1913	8765	

Т а б л и ц а II.

Обратный ударъ при стрѣльбѣ изъ орудій.

z_m	T_p	ω	$\frac{\omega}{g}$	P	П р и м ъ ч а н і я .						
					м / м	Сек.	М. Г.			Килогр.	
0,024	0,110	7830	0,0080	32							При стрѣльбѣ замѣчается сперва опусканіе почвы.
0,024	0,105	8594	0,0088	35							
0,032	0,105	11460	0,0117	47							
0,024	0,105	8954	0,0088	35							

такимъ образомъ соответствующее нормальное давление будетъ

$$P_0 = 2000 \text{ килогр.}$$

Во второй таблицѣ даны тѣ же самыя величины, но вызванныя не ударомъ снарядовъ, а обратнымъ дѣйствiемъ удара при стрѣльбѣ изъ орудiй.

Въ послѣднемъ столбцѣ даны еще нѣкоторыя указанія относительно характера движенiя почвы, а именно куда было направленъ первый толчекъ, кверху или книзу, что сопровождается подпятiемъ или опусканiемъ почвы. Тамъ же приведены и приблизительная разность временъ между моментами паденiя и взрыва снаряда, гдѣ это ясно можно было установить.

Попробуемъ теперь выяснить, какiя же это движeniя, для которыхъ были вычислены сопоставленныя въ таблицѣ величины въ предположенiи гармонического движенiя почвы.

Въ упругой средѣ, при ударѣ, въ первую очередь вызываются два рода колебанiй, а именно: продольныя и поперечныя. Кромѣ того слѣдствiемъ этихъ колебанiй является еще третiй типъ волнъ, такъ называемыя поверхностныя волны, аналогичныя обыкновеннымъ волнамъ на поверхности воды. Въ сейсмологiи всегда приходится имѣть дѣло съ этими тремя типами волнъ.

Продольныя волны отличаются отъ другихъ тѣмъ свойствомъ, что у нихъ большею частью перiодъ колебанiя короче, чѣмъ у другихъ волнъ. Самые длинные перiоды встрѣчаются у поверхностныхъ волнъ.

При этихъ послѣднихъ волнахъ очень часто наблюдается еще такое явленiе, что болѣе длинныя T_p соотвѣтствуютъ и большiя амплитуды смыщенiя почвы.

Въ нашемъ случаѣ мы имѣемъ большею частью дѣло съ движeniями съ двумя перiодами, порядокъ величины которыхъ $0^{\circ}1$ и $0^{\circ}01$, причемъ оба эти движeniя налагаются одно на другое. Изъ таблицы I видно, что болѣе короткiе перiоды ($T_p = 0^{\circ}07$) для движeniй съ T_p порядка $0^{\circ}1$ соотвѣтствуютъ болѣе слабымъ снарядамъ, причемъ T_p часто увеличивается, когда снарядъ падаетъ дальше отъ приборовъ. Для тяжелыхъ снарядовъ никогда не встрѣчается $T_p = 0^{\circ}07$; оно всегда больше, причемъ встрѣчаются даже величины $0^{\circ}24$ и $0^{\circ}34$.

Кромѣ того, нужно еще обратить вниманiе на слѣдующее обстоятельство; когда снарядъ падаетъ далеко отъ приборовъ, то первое движение почвы въ нишѣ кверху, когда же близко — то книзу. Это довольно общее правило.

Изъ этихъ соображеній ясно, какъ нужно дальше разсуждать. На мѣстѣ, куда падаетъ снарядъ, энергія его движенія передается почвѣ. Вслѣдствіе этого слой опредѣленной глубины опускается, но послѣ нѣсколькихъ колебаній опять принимаетъ свое прежнее положеніе равновѣсія.

Въ нашемъ случаѣ мы имѣемъ постройку, въ различныхъ пунктахъ которой снарядами сообщается небольшое движеніе. Слѣдовательно, нѣкоторыя ея части могутъ совершать при ударѣ снаряда колебанія на подобіе упругой пружины, но кромѣ того нѣкоторыя части постройки могутъ совершать и колебанія, аналогичныя съ колебаніями твердой системы около двухъ осей вращенія.

На основаніи этихъ соображеній можно легко себѣ объяснить измѣнность periodовъ колебаній. Очевидно, мы здѣсь не имѣемъ дѣла съ чистыми поверхностными волнами, но просто съ колебаніями всей постройки подъ вліяніемъ ударовъ падающихъ снарядовъ.

Для полученія полной величины удара, нужно, слѣдовательно, для длинныхъ T_p въ таблицѣ I P помножить на высоту стѣнъ постройки въ томъ мѣстѣ, где стояли приборы.

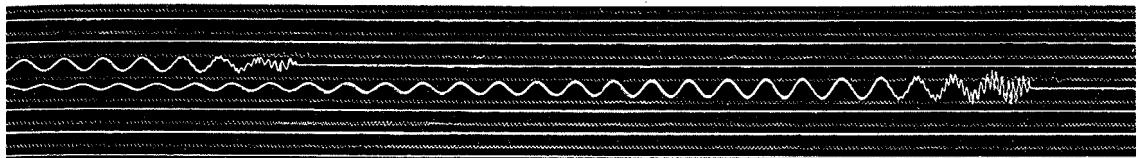
Движенія съ $T_p = 0;01$ нужно отнести уже къ чистымъ упругимъ колебаніямъ самого строительного материала, а именно къ продольнымъ его колебаніямъ. На это указываетъ не только малая величина periodовъ и правильный ихъ характеръ, но также и записи отъ снарядовъ, попавшихъ на крышу зданія почти надъ самыми приборами. Въ этомъ случаѣ соотвѣтствующія волны выступаютъ особенно отчетливо и даже издаютъ кратковременный тонъ, соотвѣтствующій именно этому числу колебаній, въ чемъ я имѣлъ возможность лично убѣдиться во время паденія снаряда около самыхъ приборовъ. Очевидно, что такимъ же продольнымъ колебаніямъ надо приписать тотъ извѣстный въ сейсмологіи гуль, который наблюдается въ сейсмическихъ областяхъ во время землетрясеній.

Поперечныхъ колебаній, похожихъ на вторую фазу землетрясенія, мнѣ не удалось обнаружить. Можетъ быть, что они какъ-нибудь налагаются на предыдущія два движенія; во всякомъ случаѣ одинъ вертикальный сейсмографъ не въ состояніи раздѣлить различныя движения.

На фиг. 5 воспроизведены нѣкоторыя изъ весьма оригинальныхъ записей этихъ приборовъ. Дѣлъ первыя относятся къ №№ 280 и 281 (записи по второму прибору), третья къ № 294, четвертая къ № 371 и пятая къ №№ 757 и 758 (записи по обоимъ приборамъ). Шестая кривая относится къ № 737; здѣсь на записи второго прибора хорошо замѣтенъ моментъ взрыва.

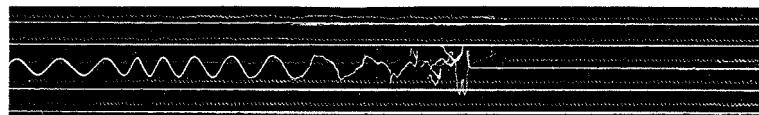
Изъ этихъ двухъ послѣднихъ кривыхъ ясно видно, что второй приборъ не даетъ возможности выдѣлить движеніе съ длинными periodами T_p .

Фиг. 5

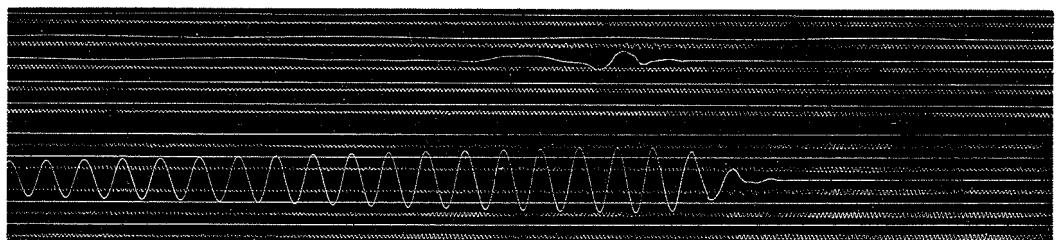


№ 281

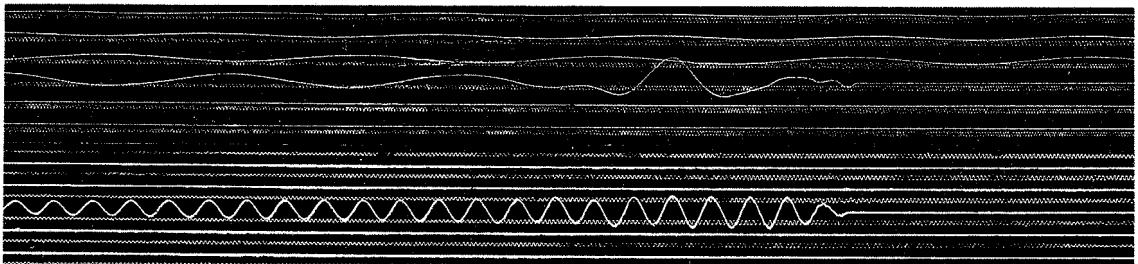
№ 280



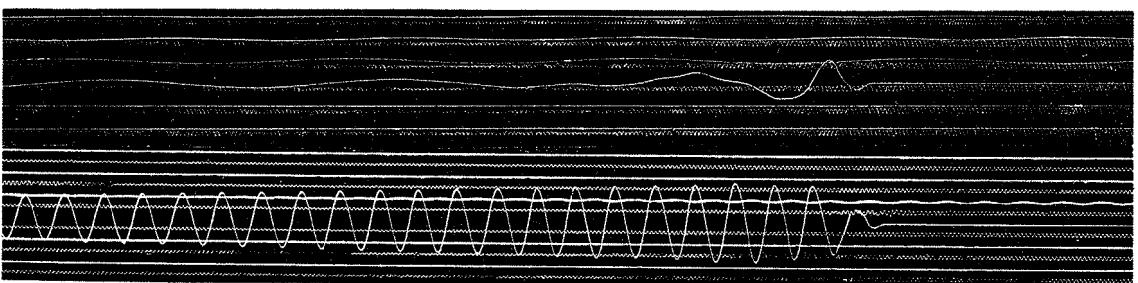
№ 294



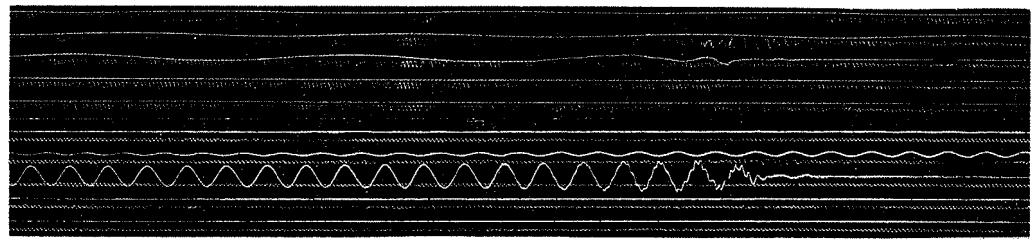
№ 371



№ 757



№ 758



№ 737

Его движение совершенно ничтожное, между темъ какъ первый типъ прибора показываетъ значительное движение почвы. На нѣкоторыхъ изъ кри- выхъ очень рѣзко выдѣляются моменты паденія и взрыва.

Изъ таблицы I видно, что величины ускоренія достигаютъ иногда громадныхъ значеній. Чтобы дать приближенное представление объ уско-реніи, вызываемомъ удаленными катастрофальными землетрясеніями, вы-беремъ изъ наблюдений Центральной Сейсмической Станціи въ Пулковѣ амплитуду и периодъ для соотвѣтствующей максимальной фазы движенія.

Положимъ $z_m = 2,0^{\text{m}}$ и $T_p = 30^{\circ}$, такъ какъ только при такихъ длинныхъ периодахъ наблюдаются вообще такія значительныя смещения почвы. Тогда для соотвѣтствующаго ускоренія формула

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 z_m$$

дастъ:

$$\omega = 8,8 \text{ M.G.},$$

величина, которая совсѣмъ ничтожна въ сравненіи съ данными таблицы I, гдѣ встречаются миллионы M. G.

Дальше посмотримъ, какія практическія заключенія можно было бы сдѣлать на основаніи приведенныхъ въ таблицѣ данныхъ.

Движенія съ длиннымъ періодомъ довольно сложны и на основаніи ихъ можно было бы лишь эмпирически подойти къ решенію того или иного вопроса; мы же сосредоточимъ наше вниманіе только на второмъ типѣ, продольныхъ колебаній съ короткимъ T_p , которыя имѣютъ болѣе правиль-ный синусоидальный характеръ.

Представимъ себѣ однородную компактную среду, на которую падаетъ снарядъ; описываемъ около центра паденія концентрическія полусферы. Тогда ясно, что на единицѣ поверхности этихъ полусферъ волновая энергія убываетъ обратно пропорціонально квадрату разстоянія отъ мѣста паденія снаряда. Кроме того энергія убываетъ еще отъ затуханія движенія въ самой средѣ и эту убыль выражаютъ, какъ въ оптикѣ и акустикѣ, такъ и въ сейсмологіи, при помощи показательной функции¹⁾.

Энергію движенія I мы можемъ тогда выразить такимъ образомъ:

$$I = \frac{A}{r^2} \cdot e^{-ar},$$

гдѣ r разстояніе отъ мѣста паденія снаряда, a коэффиціентъ поглощенія волновой энергіи, а A нѣкоторая для данного случая постоянная величина.

¹⁾ Кн. Б. Б. Голицынъ. Къ вопросу объ изслѣдованіи колебаній зданій. Л. с.

Далѣе, та же самая энергія пропорціональна средней живой силѣ колебаній за одинъ полный періодъ T_p , т. е.

$$I = k \left(\frac{\zeta_m}{T_p} \right)^2,$$

гдѣ k пѣкоторый коэффиціентъ пропорціональности, а ζ_m максимальное смыщеніе по нормали къ волновой поверхности.

При помоши этихъ математическихъ выражений попробуемъ для нашего случая опредѣлить коэффиціентъ поглощенія a .

Вертикальный сейсмографъ не даетъ намъ ζ_m , но только вертикальную составляющую этой величины.

Обозначивъ уголь между направлениемъ луча и отвѣсной линіей черезъ i , имѣемъ

$$\zeta_m = \frac{z_m}{\cos i}.$$

Если h вертикальное разстояніе отъ основанія ниши до крыши постройки, то

$$\cos i = \frac{h}{r}$$

и

$$\zeta_m = \frac{z_m}{h} r.$$

Слѣдовательно, мы можемъ энергию нашихъ продольныхъ колебаній выразить слѣдующимъ образомъ:

$$I = k \cdot \left(\frac{z_m \cdot r}{h} \cdot \frac{1}{T_p} \right)^2.$$

Возьмемъ теперь два снаряда вполнѣ одинаковой энергіи, падающей на крышу постройки въ разстояніяхъ r_1 и r_2 отъ дна ниши.

Тогда мы можемъ написать слѣдующія два уравненія для того мѣста, гдѣ установлены приборы:

$$\frac{A}{r_1^2} \cdot e^{-ar_1} = k \left(\frac{z_{m_1} r_1}{h} \cdot \frac{1}{T_{p_1}} \right)^2$$

$$\frac{A}{r_2^2} \cdot e^{-ar_2} = k \left(\frac{z_{m_2} r_2}{h} \cdot \frac{1}{T_{p_2}} \right)^2.$$

Изъ этихъ двухъ уравненій можно опредѣлить коэффиціентъ поглощенія энергіи колебательного движения. А именно мы будемъ имѣть:

$$a = \frac{2 \operatorname{Lg} \left\{ \frac{z_{m_1}}{z_{m_2}} \cdot \frac{T_{p_2}}{T_{p_1}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \right\}}{(r_2 - r_1) \operatorname{Lg} e}.$$

Такимъ образомъ были скомбинированы № 280 съ № 270 и № 277, далѣе № 299 съ № 270 и № 277, причемъ получились слѣдующія четыре значенія для величинъ a :

$$\begin{array}{ll} \text{№ 280 и № 270} & a = 0,053 \\ \text{№ 280 и № 277} & a = 0,066 \\ \text{№ 299 и № 270} & a = 0,054 \\ \text{№ 299 и № 277} & a = 0,085 \\ \hline & \text{Сред. } a = 0,065 \end{array}$$

Здѣсь разстоянія r выражены въ метрахъ.

Согласіе между этими четырьмя величинами не особенно хорошее, но если принять во вниманіе, что мы здѣсь не имѣемъ дѣло съ однородными компактными массами, а съ постройкою, гдѣ всякія внутреннія пустоты и разныя особенности строительного материала могутъ вызвать явленія отраженія и преломленія лучей сотрясенія, и учитывая кромѣ того то обстоятельство, что самые снаряды не всегда одинаковымъ образомъ разрываются, то слѣдуетъ признать такое согласіе всетаки весьма удовлетворительнымъ. Этимъ среднимъ коэффиціентомъ поглощенія волновой энергіи мы и воспользуемся для вычислениія ускоренія движенія частицъ въ любомъ мѣстѣ постройки.

Вычислимъ максимальное смыщеніе частицъ строительного материала на поверхности полусферы въ 1 метръ радиуса около центра паденія снаряда.

Для этой цѣли имѣемъ формулу:

$$\zeta_{m_1} = \zeta_{m_2} \frac{r_2}{r_1} \cdot e^{\frac{1}{2} a(r_2 - r_1)},$$

гдѣ ζ_{m_1} и ζ_{m_2} радіальныя смыщенія по направленимъ r_1 и r_2 .

Вместо ζ_{m_2} можемъ написать:

$$\zeta_{m_2} = \frac{z_{m_2}}{\cos i} = \frac{z_{m_2} \cdot r_2}{h}.$$

Выбирая изъ таблицы I соответствующія №№ 270, 277, 280 и 299 величины r_2 и z_{m_2} , получимъ слѣдующія данныя:

	ζ_m	T_p
№ 270	5,4 м/м	0,012
№ 277	4,4	0,012
№ 280	4,9	0,014
№ 299	5,1	0,013
Средня: 4,95 м/м		0,0128

Далѣе, пользуясь этими величинами, вычислимъ максимальное радиальное смещение частицъ на поверхности полусферы съ радиусомъ въ 54 метра.

Это соотвѣтствуетъ приблизительно самому удаленному краю зданія отъ его центра.

Получимъ

$$\zeta_{m_2} = 0,0164 \text{ м.}$$

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены, какъ въ таблицѣ I, различныя величины для этихъ двухъ предѣльныхъ случаевъ:

Таблица III.

r	ζ_m	T_p	ω	$\frac{\omega}{g}$	P
м.	м/м	Сек.	м. г.		Килогр.
1	4,95	0,0128	120200000	122,6	490400
54	0,0164	0,0128	398300	0,4061	1624

Эти величины соотвѣтствуютъ самыемъ слабымъ снарядамъ.

Полусфера съ радиусомъ въ 1 м. находится уже несомнѣнно въ области разрушительного дѣйствія снаряда, и здѣсь возникаетъ вопросъ, насколько нашъ законъ о поглощении энергіи вообще примѣнимъ къ такому случаю. Теорія упругости рассматриваетъ только случай малыхъ деформаций; но въ подобныхъ случаяхъ, гдѣ предѣль упругости уже перейденъ, она не даетъ строгаго решенія вопроса. Единственно опытъ могъ бы отвѣтить на эти и подобные вопросы.

Въ нашемъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ продольными колебаніями среды, скорость распространенія которыхъ для подобнаго строительнаго

матеріала равна приблизительно 3—4 километрамъ въ секунду. На нашихъ записяхъ отъ маленькихъ снарядовъ замѣтно, что колебательное движение сохраняется нѣкоторое время, причемъ оно довольно интенсивно въ продолженіи примѣрно 0°2. Можно предположить, что при образованіи первой волны, пробѣжавшей со скоростью 3—4 кил. въ секунду до нашихъ приборовъ, частицы материала еще не отдѣлились другъ отъ друга и передаютъ энергию сосѣднимъ частицамъ, какъ въ случаѣ малыхъ смыщленій.

Иначе говоря, для полученія разрушительного эффекта нужно нѣсколько больше времени, чтобы дать возможность материаłu прійти въ такое состояніе движения, которое сопровождалось бы явленіемъ разрушенія.

При такомъ взглѣдѣ на дѣло казалось бы, что нашъ законъ примѣнить и при весьма сильныхъ разрушительныхъ дѣйствіяхъ.

При такомъ гипотетическомъ предположеніи можно вычислить, во сколько разъ енергія даннаго снаряда должна быть больше енергіи самаго слабаго снаряда, чтобы сразу вызвать разрушеніе всего зданія. Предположивъ, что смыщеніе порядка $4,95 \text{ кг/м}$ есть какъ разъ та предельная величина, где начинается уже разрушительное дѣйствіе, мы получимъ по послѣдней таблицѣ, принимая во вниманіе, что енергія пропорціональна квадрату амплитуды, что енергія снарядовъ должна была бы быть въ 91390 разъ больше!

Такой снарядъ, попавшій въ центръ постройки, могъ бы сразу разрушить все зданіе.

Конечно, вышеупомянутое число есть только грубое приближеніе, но въ нашемъ случаѣ всетаки важно было найти порядокъ этой величины и показать, что соответствующая енергія во всякомъ случаѣ должна быть громадная.

Изъ всего вышеизложеннаго ясно видно, что даже одинъ вертикальный сейсмографъ даетъ возможность при паденіи снарядовъ опредѣлить на любомъ мѣстѣ радиальное ускореніе и силу удара. Зная свойства снаряда и коэффиціентъ a , можно уже обратно вычислить и разстояніе приборовъ отъ мѣста паденія снаряда, что въ практическомъ отношеніи можетъ быть очень важно. Но чтобы опредѣлить одновременно и направленіе удара, необходимы еще два горизонтальныхъ маятника, подобно тому, какъ это имѣеть мѣсто въ сейсмометріи при определеніи азимута эпицентра землетрясенія по способу кн. Б. Б. Голицына.

Для этой цѣли вполнѣ достаточно имѣть приборы съ механической регистраціей.

Посмотримъ теперь, какія общія заключенія можно вообще сдѣлать, касательно свойствъ приборовъ, существующихъ служить для измѣренія

гармонического движениі почвы при весьма короткихъ периодахъ колебанія.

Въ приборахъ для опредѣленія силы удара снарядовъ необходимо неизмѣнно особое приспособленіе для дальняго пуска и остановки часоваго механизма, чтобы возможно было издали, пропуская токи черезъ особый приспособлённый для этой цѣли электромагнитъ, по произволу, до выстрѣла, пускать въ ходъ часоваго механизма и послѣ паденія снаряда его останавливать.

Постройка соотвѣтствующихъ приборовъ несомнѣнно представляеть собою довольно сложную задачу механики. Дѣйствительно, крайне трудно осуществить такую твердую и неизмѣнную систему, чтобы при колебаніяхъ съ такими короткими периодами, какъ у нашихъ продольныхъ волнъ, собственныя движениія различныхъ частей прибора не отзывались бы на записи. Напр., первый типъ прибора въ этомъ отношеніи совсѣмъ не даетъ для этихъ движений разборчивой записи.

Особенно трудно избавиться отъ колебаній регистрирнаго вала, легко подверженаго, не только боковымъ колебаніямъ, но и движениямъ вверхъ и внизъ.

Предпочтеніе непремѣнно слѣдуетъ отдать второму типу прибора, представляющаго изъ себя болѣе прочную подвижную систему. Этотъ приборъ можно сдѣлать значительно компактнѣе, если соединить штативъ маятника со штативомъ регистрирнаго вала. Въ случаѣ примѣненія приспособленія для дальняго пуска, можно было бы уменьшить массу регистрирнаго вала вдвое, такъ какъ тогда не требуется болѣе продолжительного его вращенія, причемъ возможно было бы еще сократить длину одной секунды.

Желательно увеличить чувствительность прибора хотя бы вдвое, чтобы облегчить обработку записей.

Самое существенное было бы удлиненіе собственнаго периода прибора. Дѣйствительно, какъ мы видѣли изъ теоріи, выдѣленіе различныхъ движений очень затруднительно въ томъ случаѣ, когда периодъ движениія почвы близокъ къ собственному периоду прибора. Периодъ около 2 сек. быль бы для такихъ приборовъ очень подходящимъ.

Въ этомъ направлениі инж. Б. Б. Голицынымъ сдѣланъ большой шагъ впередъ; онъ передѣлалъ второй типъ прибора въ болѣе универсальный инструментъ, могущій найти себѣ примѣненіе при самыхъ разнообразныхъ изслѣдованіяхъ. При помощи особой компенсаціонной пружины собственный периодъ колебанія прибора (простая стальная линейка съ грузомъ) можетъ быть въ значительной степени удлиненъ; благодаря этому второй типъ прибора становится пригоднымъ не только для изслѣдованія короткихъ

періодовъ порядка $0^{\circ}01$, но и колебаній съ періодомъ въ нѣсколько десятыхъ секунды.

Можно ожидать, что подобные приборы не только дадутъ возможность, подробно изучить всевозможныя явленія при ударахъ и взрывахъ, но также представятъ большой интересъ для изученія дѣйствія различныхъ системъ снарядовъ. На записяхъ настоящихъ приборовъ очень часто хорошо отдѣляется моментъ взрыва отъ момента паденія снаряда. Этотъ промежутокъ времени для одного и того же типа снарядовъ не всегда одинаковъ. Нѣкоторые сложные снаряды разрываются сейчасъ же, какъ простые снаряды. Однако въ этомъ отношеніи еще собрано слишкомъ мало наблюдательного материала.

Эти приборы представляютъ особый интересъ еще въ томъ отношеніи, что они дадутъ возможность, изъ опытовъ съ болѣе слабыми снарядами, не причинившихъ постройкѣ чувствительного вреда, изслѣдовывать прочность отдѣльныхъ ея частей, и такимъ образомъ, экстраполируя, вывести известныя заключенія о разрушительномъ дѣйствіи болѣе тяжелыхъ снарядовъ.

Конечно, было бы крайне желательно для болѣе обстоятельного решения подобныхъ вопросовъ располагать болѣе полнымъ и надежнымъ наблюдательнымъ материаломъ.

Главнѣйшиe результаты настоящаго изслѣдованія можно резюмировать слѣдующимъ образомъ.

При стрѣльбѣ изъ орудій по прочной постройкѣ, при паденіи и разрывѣ снарядовъ, вертикальный сейсмографъ обнаруживаетъ два различныхъ движенія съ различными періодами.

Движенія съ періодомъ около $0^{\circ}1$ и болѣе соотвѣтствуютъ колебаніямъ самого зданія или его частей; возможны при этомъ и наклоны всего зданія. Эти движенія лучше всего передаются приборами первого типа. Колебанія съ періодомъ около $0^{\circ}01$ представляютъ собою продольныя колебанія самой строительной среды постройки, при чмъ эти колебанія распространяются радиально отъ мѣста паденія снарядовъ.

Изслѣдованіе этихъ послѣднихъ колебаній даетъ возможность определить въ любомъ мѣстѣ постройки истинное ускореніе движенія и силу удара.

При многихъ снарядахъ на полученныхъ записяхъ отчетливо выдѣляются моменты паденія и взрыва.

Августъ, 1913 года.

Juli 1914.

Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung während eines Erdbebens.

VON FÜRST B. GALITZIN (GOLICYN).

Die genaue Kenntnis der maximalen Bodenbeschleunigung in einer gegebenen Richtung bei lokalen Erdbeben hat für die praktische Seismologie eine ausserordentlich grosse Bedeutung, da dieselbe uns ein wirklich dynamisches Maass für die Stärke der während einer Bodenerschütterung hervorgerufenen Kräfte liefert.

Diese Grösse steht mit der zerstörenden Wirkung eines Bebens im innersten Zusammenhang und ihre Kenntnis ist unbedingt erforderlich, wenn man zweckmässige und wirklich rationelle Regeln zur Konstruktion aseismischer Bauten, die den Bodenerschütterungen widerstehen sollen, ausarbeiten will. Auf Grund eines genauen Studiums dieser Frage könnten wohl mit der Zeit viele Opfer an Vermögen und Menschenleben erspart werden.

Unsere jetzigen Kenntnisse über die Grösse dieser maximalen Bodenbeschleunigung in seismischen Gebieten sind sehr mangelhaft und beruhen hauptsächlich auf ganz rohen Schätzungen, von denen man sehr wenig Gebrauch machen kann. Die Intensität lokaler Beben wird meistenteils nach groben, rein empirischen Stärkeskalen charakterisiert, denen man nur sehr geringen dynamischen Wert beilegen kann.

Es ist also zur Zeit ein zwingendes Bedürfnis vorhanden, über ein solches einfaches und jedermann leicht zugängliches Instrument zu verfügen, welches wirklich imstande wäre, *direkt* die wahre, während eines Erdbebens stattgefundene maximale Bodenbeschleunigung anzuzeigen und zwar im absoluten Maasse ausgedrückt.

Um diesem Bedürfnis etwas entgegenzukommen; habe ich früher eine besondere dynamische Skala vorgeschlagen¹⁾, welche auf dem durch eingetretene Bodenerschütterungen hervorgerufenen Umkippen von Parallelepipeden verschiedener Höhe beruht.

Ich habe damals gezeigt, dass das Umkippen eines Parallelepipedons erfolgt, wenn die maximale Bodenbeschleunigung w_m in der zur breiten Fläche desselben senkrechten Richtung folgende Grösse erlangt

$$w_m = \frac{c}{\frac{h}{0,0012}} \text{ C. G. S.},$$

wo c die Breite und h die Höhe eines Parallelepipedons bedeutet.

Hat man also einen Satz solcher Parallelepipedata von verschiedener Höhe, so kann man nach der Betrachtung, welche Parallelepipedata während eines Erdbebens umgestürzt und welche stehen geblieben sind, sofort zwei Grenzwerte angeben, zwischen welchen die maximale Bodenbeschleunigung w_m enthalten ist.

Diese dynamische Skala ist jedoch etwas kompendiös und erfordert eine ziemlich genaue vertikale Aufstellung der betreffenden Parallelepipedata.

Der Hauptmangel dieser Methode besteht jedoch darin, dass die Anwendung der vorigen Formel voraussetzt, dass die wahre Bodenbewegung wirklich einem einfachen, rein harmonischen Bewegungsgesetz entspricht, was wohl, speziell in seismischen Gebieten, nicht immer zutrifft.

Diese Tatsache setzt der Anwendbarkeit dieser dynamischen Skala eine gewisse Grenze.

Es ist jedoch, wie wir es gleich sehen werden, die Möglichkeit vorhanden, einen sehr einfachen und allgemein zugänglichen Apparat zu konstruieren, welcher imstande ist, *streng* die untere Grenze der wahren maximalen stattgefundenen Bodenbeschleunigung anzuzeigen und zwar *ohne irgend welche Voraussetzung* in bezug auf den Charakter der wahren Bodenbewegung.

Ein Satz solcher Instrumente würde dann wirklich eine reine, echte dynamische Skala darstellen.

Zur Beschreibung dieses Instrumentes und seiner Wirkungsweise werde ich jetzt übergehen.

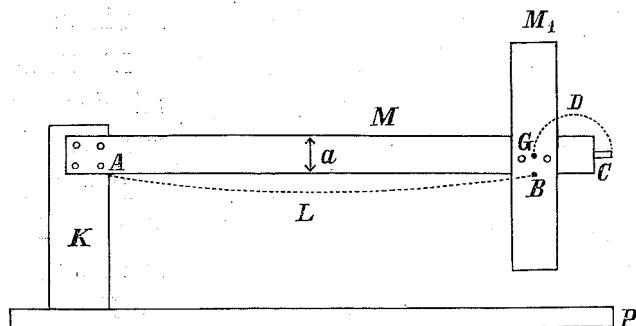
Dieser Apparat, schliesst sich an denjenigen, welchen ich in meinem

1) Siehe «Über eine dynamische Skala zur Schätzung makroseismischer Bewegungen». Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. IV, Livr. 3.

früheren Aufsatz «Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der anfänglichen Intensität eines Bebens»¹⁾ beschrieben habe, unmittelbar an.

Eine schematische Abbildung desselben ist auf der folgenden Figur 1 gegeben (Seitenansicht).

Fig. 1.



Dieser Apparat besteht aus einer festen Grundplatte P , die eine kleine, massive, gusseiserne Säule K trägt.

Auf einer Seite derselben ist eine flache, breite Stahlfeder angeschraubt. Die Breite derselben sei a und die Dicke b . Diese Feder kann also um die Kante A Schwingungen senkrecht zur Zeichenebene ausführen; die Masse dieses beweglichen Teils der Feder sei M . Am äusseren Ende der Feder sind von beiden Seiten zwei schmale, aber hohe Bleigewichte parallelepipedischer Form angeschraubt; die Gesamtmasse derselben sei M_1 . Diese Bleigewichte sollen so getroffen werden, dass in erster Annäherung die Masse M_1 derselben als in einem Punkt G , nämlich im Schwerpunkt derselben, konzentriert gedacht werden kann. Erfahrungsgemäss ist das nicht schwer zu bewerkstelligen.

Die Entfernung AB von G bis zur Drehkante sei gleich L .

Dieser Apparat besitzt keine Vergrösserungsvorrichtung, am Ende der Feder ist aber in C ein Schnäpper angebracht, welcher in die Zähne eines gezackten, etwas gebogenen Lineals CE (siehe die Fig. 2, Ansicht der Feder von oben) eingreift und die Bewegungen der Feder nur in der Richtung der positiven y zulässt.

Für kleine Ablenkungen der Feder kann man von der kleinen Krümmung des Lineals völlig absehen und y als die Ablenkung des Schnäppers von seiner normalen Ruhelage auffassen. Der dadurch begangene Fehler wird eine kleine Grösse höherer Ordnung sein.

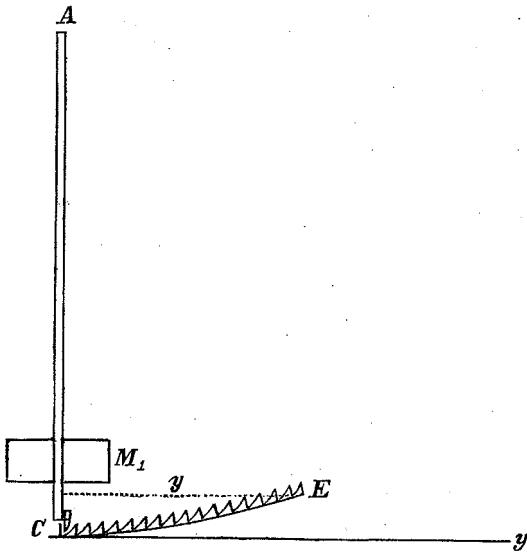
1) Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. VI, Livr. 3.

Die Entfernung GC des Endes des Schnäppers vom Schwerpunkt der Masse M_1 sei gleich D (siehe Fig. 1).

Dieses kleine Stück können wir mit hinreichender Annäherung als ein starres System betrachten, da der Schnäpper nur in einer Richtung sich drehen kann.

Die Grundplatte soll fest mit dem Boden verbunden werden.

Der Untergrund, auf welchem die Platte P ruht, soll nun Bewegungen senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1 erfahren. Die entsprechende Ablenkung eines Bodenflächenelements von seiner Ruhelage sei zum Zeitmoment t gleich z , wo z eine ganz beliebige Funktion von t sein



kann, etwa

Die allgemeine Theorie der Bewegung eines solchen einfachen Federseismographen habe ich in meinem früheren Aufsatz «Über einen neuen, einfachen Federseismographen»¹⁾ gegeben.

Die Differentialgleichung der Bewegung dieses Instruments, bei Vernachlässigung des Einflusses der sehr schwachen Dämpfung desselben, kann auf die folgende übliche, kanonische Form gebracht werden:

Die Eigenperiode des Instruments sei T . Dann wird

¹⁾ Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente. T. VI, Livr. 2.
 § 2. Erster Typus von Federseismographen.

σ ist das normale Vergrösserungsverhältnis des Apparates für harmonische Schwingungen des Untergrundes von unendlich kleiner Periode.

n und σ sind zwei instrumentelle Konstanten, die aus den Dimensionen und der Massenverteilung des Instrumentes sich berechnen lassen. Für diesen einfachen Federseismographen lassen sich diese Konstanten unter den früher gemachten Voraussetzungen nach den folgenden Formeln berechnen (l. c.):

$$\left. \begin{aligned} n^2 &= \frac{Eab^3}{9L^3} \cdot \frac{1}{\frac{4}{9}M_1 + \frac{11}{105}M} \\ \sigma &= \frac{2}{3}s \cdot \frac{\frac{2}{3}M_1 + \frac{1}{4}M}{\frac{4}{9}M_1 + \frac{11}{105}M} \end{aligned} \right\}, \dots \quad (4)$$

wo der Einfachheit wegen

$$s = 1 + \frac{3}{2} \frac{D}{L} \dots \quad (5)$$

gesetzt wird.

E ist der Young'sche Modul der Längendilatation für das Material der flachen Stahlfeder.

In der Praxis wird man jedoch diese beiden Konstanten n und σ nicht nach diesen Formeln berechnen, sondern aus den Beobachtungen selber entnehmen. Wie dies geschieht, werden wir weiter sehen.

Sind nun diese beiden Konstanten einmal bekannt, so kann man dieses ganz einfache und rohe Instrument zur *direkten* Bestimmung der unteren Grenze der während eines lokalen Erdbebens stattgefundenen maximalen Bodenbeschleunigung w_m verwerten.

Da die Feder nur in einer Richtung sich fortbewegen kann, so wird y immer positiv.

Denken wir uns, dass am Anfang die Feder um die Grösse y_0 von ihrer Ruhelage abgelenkt ist.

Dann können wir auf Grund der Gleichung (2) schreiben:

$$y'' = (-\sigma z'' - n^2 y_0) \dots \quad (6)$$

$n^2 y_0$ ist immer eine positive Grösse, folglich, damit überhaupt eine Bewegung des Instruments eintreten kann, muss z'' negativ sein.

Setzen wir also dementsprechend

$$w = -z'',$$

so ergibt sich

$$y'' = (\sigma w - n^2 y_0) \dots \quad (7)$$

Die Ablenkung y_0 entspricht dem Fall, wo der Schnäpper am Anfang auf einem bestimmten, etwa auf dem m -ten Zahn steht.

Sei nun γ die lineare Entfernung zweier benachbarter Zähne des gezackten Lineals, so wird

sein.

Damit der Schnäpper auf den benachbarten Zahn überspringt, muss unbedingt

$$w > \frac{n^2}{\epsilon} m \gamma$$

sein.

Ist das in der Tat geschehen, so wird die untere Grenze für die gesuchte maximale wahre Bodenbeschleunigung

sein.

Hierin ist $\frac{n^2}{\sigma} \gamma$ eine bestimmte instrumentelle Konstante, die nur ein für alle Male bestimmt zu werden braucht.

Hat man also einen Satz solcher ganz einfacher Instrumente und entsprechend ihre ersten anfänglichen Ablenkungen dem m_1 -, m_2 -, m_3 -ten u. s. w. Zahn, so hat man nach dem Eintreten eines lokalen Erdbebens nur nachzusehen, welche Federn in ihrer ursprünglichen Lage geblieben und welche auf einen weiteren Zahn übergesprungen sind.

Ist z. B. die Feder, welche auf den m_3 -ten Zahn abgelenkt war, stehen geblieben, die auf dem m_2 -ten Zahn aber auf einen oder mehrere Zähne weitergesprungen, so werden dadurch die Grenzen, zwischen welchen die erreichte maximale wahre Bodenbeschleunigung w_m während der Dauer des ganzen Bebens sich befunden hat, festgestellt.

Es wird nämlich

$$\frac{n^2}{\sigma} \gamma \cdot m_3 > w_m > \frac{n^2}{\sigma} \gamma \cdot m_2^{-1}).$$

Je mehr Federn in einem Satz solcher Instrumente vorhanden sind, desto genauer lässt sich w_m angeben.

Ein Satz solcher kleiner Federseismographen hat viel Ähnlichkeit mit den Frequenzmessern, welche in der Elektrotechnik verwendet werden.

¹⁾. Freilich könnte eventuell w_m ein klein wenig grösser als $\frac{n^2}{\sigma} \gamma \cdot m_3$ sein, aber der Unterschied zwischen diesen beiden Grössen würde alsdann ein ganz geringer sein (siehe weiter).

Für die entgegengesetzte Richtung der Bodenbewegung wäre ebenfalls ein solcher Satz wünschenswert, dabei könnte man leicht zwei Federn, je auf einer Seite der kleinen Säule K (siehe die Figur 1) anbringen.

Da wir bei Erdbeben mit drei Arten von Verschiebungen des Bodens (zwei horizontalen und einer vertikalen) zu tun haben, so wären eigentlich drei solcher dynamischer Skalen nötig^{1).}

Dies ist der Grundgedanke dieser neuen Methode zur Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung während eines Erdbebens.

Die entsprechende Skala von Federseismographen kann klein und kompakt gemacht werden. Die Bedienung derselben ist äusserst einfach und jedermann zugänglich. Diese Skala gibt die maximale Bodenbeschleunigung im wirklichen dynamischen Maass, wozu man leicht kleine Tabellen zusammenstellen kann. Dabei fällt jede Voraussetzung über den Charakter der wahren sattgefundenen Bodenbewegung gänzlich weg, da z eine ganz beliebige Funktion der Zeit sein kann.

Mit Hilfe solcher Instrumente könnte man eventuell manches sehr wichtige über den wahren Charakter der Bodenbewegung bei Erdbeben erfahren.

Um die Anwendbarkeit eines solchen Federseismographen für den oben erwähnten Zweck einer experimentellen Prüfung zu unterziehen, wurde ein Exemplar, welches in etwas grösseren Dimensionen aufgebaut wurde, im Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften mit Hilfe meiner neuen Untersuchungsplattform eingehend untersucht.

Es hat sich dabei erstens herausgestellt, dass zwischen dem Schnäpper und den Zähnen des gezackten Lineals eine gewisse, wenn auch kleine Reibung vorhanden ist, welche in der allgemeinen Differentialgleichung (2) der Bewegung des Instruments mitberücksichtigt werden muss.

Von dieser Reibung kann in erster Annäherung in üblicher Weise²⁾ durch Einführung eines konstanten Reibungsgliedes \hbar in die Gleichung (2) Rechenschafft getragen werden.

Wir müssen also statt der Gleichung (2) von der folgenden allgemeineren Gleichung Gebrauch machen:

¹⁾ Zu Beobachtungen der vertikalen maximalen Bodenbeschleunigung müsste die Feder zuerst nach oben durchgebogen werden, damit sie beim Anbringen der schweren Masse M_1 eine normale horizontale Lage annimmt.

2) Man vergleiche z. B. meine «Vorlesungen über Seismometrie», Kapitel XII. «Theorie der mechanischen Registrierung». Bei Teubner. Leipzig, 1914.

Es lässt sich leicht beweisen, wenn man zu der Ableitung der Gleichung (2) zurückgreift¹⁾, dass h in diesem Fall durch folgende Formel sich darstellen lässt:

wo p_0 eine der Grösse der Reibung entsprechende Kraft ist, welche am Schwerpunkte der Masse M , angreift.

Spezielle, direkte Versuche bei gehobenem und zurückgelassenem Schnäpper haben gezeigt, dass p_0 zwischen 10 und 16 Grammgewicht schwankt. Es lässt sich ohne Zweifel bei einer etwas anderen Form der Zähne und des Schnäppers diese Reibung noch weiter verkleinern.

Setzen wir weiter

so lässt sich die Gleichung (10) auf folgende Form bringen:

$$y'' + n^2(y + \rho) + \sigma z'' = 0 \quad \dots \dots \dots \dots \quad (13)$$

In der Praxis wird man ρ nicht nach der Formel (12), respektive (11) berechnen, sondern aus speziellen Beobachtungen bei immer eingreifendem Schnäpper bestimmen. Wie dies geschieht, werden wir weiter sehen.

Wollen wir nun zu der Bestimmung der Konstanten n und σ übergehen.

n lässt sich direkt, der Formel (3) gemäss, aus Schwingungsbeobachtungen bei gehobenem Schnäpper bestimmen.

Die Eigenperiode des zu untersuchenden Instruments ergab sich bei einer äusserst schwachen Dämpfung

$$T \equiv 0^{\circ}8785.$$

E's ist also

$$n^2 = 51.154,$$

Zur Bestimmung von σ wurde das betreffende Instrument auf meiner neuen, in einer bestimmten Richtung frei schwingenden Untersuchungsplattform, die in meinem früheren Aufsatz «Ein einfacher Apparat zur direkten Bestimmung der anfänglichen Intensität eines Bebens» (l. c.) beschrieben ist, aufgestellt.

¹⁾ Siehe «Über einen neuen, einfachen Federseismographen» J. c.

Die Kurve der Plattformbewegung konnte man, mittelst eines mit der Plattform fest verbundenen Schreibstiftes, auf einer auf dem Boden stehenden und mit berusstem Papier bekleideten, rotierenden Trommel aufschreiben. Neben der Kurve wurden Sekundenmarken von einer guten Uhr angebracht. Aus einer solchen Kurve konnte man die Periode T_p und Amplitude z_m der Plattformbewegung sehr genau ermitteln.

Zur Verkürzung der Eigenperiode T_p der Plattform wurden besondere Spezialfedern auf beiden Seiten derselben angebracht.

Die Bewegung der Plattform hat sich als eine ganz regelmässige ergeben, wobei die Dämpfung derselben sehr schwach war.

Zuerst, am Anfang der Zeitzählung, wurde die Plattform von ihrer Ruhelage durch eine Schnur zur Seite der *negativen* Abszissen um die Strecke z_m abgelenkt und alsdann plötzlich freigelassen.

Dann wird die Plattformbewegung, wenn man den Einfluss der schwachen Dämpfung vernachlässigt, folgendem Gesetz entsprechen:

$$z = -z_m \cos pt,$$

WO

ist.

Die Beschleunigung der Plattformbewegung wird

$$z'' = +p^2 z_m \cos pt$$

sein.

Da die Feder wegen der hemmenden Wirkung des Schnäppers nur zur Seite der positiven y sich bewegen kann, so muss, wie wir früher gesehen haben (siehe die Formel (6), resp. (7)), damit eine Bewegung derselben überhaupt stattfindet, z'' negativ sein. Folglich wird die Bewegung der Feder erst nach der ersten Passierung der Plattform durch ihre Ruhelage ($z = 0$) eintreten können. Diesen Moment wählen wir für den neuen Anfangspunkt der Zeitzählung. Dementsprechend müssen wir setzen:

und

Durch die Wirkung dieser Beschleunigung wird der betreffende Federseismograph, welcher am Anfang in seiner Ruhelage sich befand ($y_0=0$), um eine bestimmte maximale Strecke y_m von seiner Ruhelage abgelenkt und alsdann durch den Schnäpper auf dem entsprechenden Zahn in abgelenkter Lage festgehalten.

Obgleich der ganze Versuch weniger als 1 Sekunde dauerte, wurde, um von dem Einfluss der sehr kleinen Dämpfung der Plattform noch Rechenschaft zu tragen, z_m als Mittel aus den zwei entsprechenden, benachbarten maximalen Ausschlägen der Plattform berechnet.

Wenn die anfängliche Grösse von z_m versuchsweise so reguliert wird, dass der Schnäpper bei seiner Ablenkung gerade auf dem Anfang eines Zahns zu stehen kommt und in dieser Lage gehemmt wird, so kann man schon nach der Gleichung (8)

$$y_m = m \gamma$$

setzen. Aber ohne diese Voraussetzung wird diese Beziehung immer annäherungsweise gelten.

Diese Versuche wurden mit möglichster Sorgfalt von meinem Assistenten Herrn Nikiforov ausgeführt, dem ich an dieser Stelle für seine wertvolle Beihilfe bei diesen Untersuchungen meinen aufrichtigsten Dank aussprechen möchte.

Wollen wir nun die Theorie dieser Versuche etwas näher besprechen.

Es handelt sich dabei nur darum, die verallgemeinerte Differentialgleichung (13) bei Zugrundelegung der Beziehung (15) zu integrieren.

Als allgemeines Integral derselben ergibt sich ohne Schwierigkeit folgender Ausdruck:

$$y - \rho = \Gamma_1 \cos nt + \Gamma_2 \sin nt + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \sin pt, \dots \dots \dots (17)$$

WO

ist und Γ_1 und Γ_2 zwei Integrationskonstanten bedeuten.

Für die Bestimmung derselben müssen wir zu den Anfangsbedingungen der Bewegung zurückgreifen.

Für $t = 0$ wird

$$y_1 = 0$$

und, da in diesem Moment die Beschleunigung der Plattformbewegung ebenfalls gleich Null ist, so wird

$$y_0' = 0.$$

Durch einmalige Differentiation der Gleichung (17) erhalten wir

$$y' = -n\Gamma_1 \sin nt + n\Gamma_2 \cos nt + p \frac{\sigma z_m}{\dot{z}^2 - 1} \cos pt \dots \dots \dots (19)$$

Setzen wir in den Gleichungen (17) und (19) $t = 0$, so erhalten wir auf Grund der früher angegebenen Anfangsbedingungen

$$\Gamma_1 = -\rho$$

und

$$\Gamma_2 = -\frac{p}{n} \cdot \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1}.$$

Setzen wir diese Werte der Konstanten Γ_1 und Γ_2 in die Gleichung (17) ein, so ergibt sich, unter Berücksichtigung der Beziehung (18),

$$y = \rho \left\{ \cos nt - 1 \right\} + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \left\{ \sin \frac{nt}{u} - \frac{1}{u} \sin nt \right\} \dots \dots \dots (20)$$

Wollen wir nun jetzt das erste Maximum von y , nämlich y_m , aufsuchen. Den entsprechenden Zeitmoment t wollen wir durch t_m bezeichnen.

Dann muss t_m die kleinste positive Wurzel folgender Gleichung sein:

$$-\rho \sin nt_m + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \frac{1}{u} \cdot \left\{ \cos \frac{nt_m}{u} - \cos nt_m \right\} = 0 \dots \dots \dots (21)$$

In dieser Gleichung bedeutet ρ eine kleine Grösse, deren Quadrat wir vernachlässigen werden.

Die angenäherte Wurzel t_{m_0} dieser Gleichung unter gänzlicher Vernachlässigung von ρ ergibt sich aus der Beziehung

$$\cos \frac{nt_{m_0}}{u} = \cos nt_{m_0} \dots \dots \dots \dots \dots \dots (22)$$

Aus dieser Beziehung geht folgendes hervor.

Ist $u > 1$, so wird

$$\frac{nt_{m_0}}{u} = \pi - \alpha \quad \text{und} \quad nt_{m_0} = \pi - \alpha,$$

also

$$\alpha = \frac{u-1}{u+1} \cdot \pi \dots \dots \dots \dots \dots \dots (23)$$

Ist dagegen $u < 1$, so wird

$$\frac{nt_{m_0}}{u} = \pi + \alpha_1 \quad \text{und} \quad nt_{m_0} = \pi + \alpha_1,$$

also

$$\alpha_1 = \frac{1-u}{1+u} \cdot \pi.$$

Folglich wird in beiden Fällen

und

Für den gesuchten Wert von $n t_m$ können wir also, bis auf Glieder höherer Ordnung in ρ , schreiben

$$nt_m = \frac{2\pi}{u+1} \cdot u + v_0, \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (26)$$

wo v eine noch zu bestimmende Grösse ist.

Bringen wir nun diesen Ausdruck von nt_m in die Gleichung (21) ein, so ergibt sich unter Vernachlässigung von Gliedern höherer Ordnung

$$-\rho \sin \frac{2\pi}{u+1} \cdot u + \nu \rho \cdot \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \frac{1}{u} \left\{ \sin \frac{2\pi}{u+1} \cdot u - \frac{1}{u} \sin \frac{2\pi}{u+1} \right\} = 0. \quad (27)$$

Nun ist

$$\sin \frac{2\pi}{u+1} = \sin \frac{2\pi(u+1-u)}{u+1} = \sin \left\{ 2\pi - \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \right\} = -\sin \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \quad (28)$$

und

$$\cos \frac{2\pi}{u+1} = \cos \left(2\pi - \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \right) = \cos \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \dots \dots \dots (29)$$

Bringen wir den Wert von $\sin \frac{2\pi}{w+1}$ in die vorige Formel (27) ein, so können wir sofort schreiben

$$v = \frac{u^2(u-1)}{\sigma z_m}.$$

Nach der Gleichung (26) wird also

$$nt_m = \frac{2\pi}{u+1} \cdot u + \frac{u^2(u-1)}{\sigma z_m} \cdot \rho.$$

Führen wir nun diesen Wert von $nt = nt_m$ in die Gleichung (20) ein, so kann man das erste gesuchte Maximum y_m sehr leicht berechnen.

Es wird nämlich, bis auf Glieder höherer Ordnung,

$$\begin{aligned}
y_m &= \rho \left\{ \cos \frac{2\pi}{u+1} \cdot u - 1 \right\} + \frac{\sigma z_m}{u^2-1} \left[\left\{ \sin \frac{2\pi}{u+1} + \frac{u(u-1)}{\sigma z_m} \cdot \rho \cos \frac{2\pi}{u+1} \right\} \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{u} \left\{ \sin \frac{2\pi}{u+1} \cdot u + \frac{u^2(u-1)}{\sigma z_m} \cdot \rho \cos \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \right\} \right] \\
&= \rho \left\{ \cos \frac{2\pi}{u+1} \cdot u - 1 \right\} + \frac{\sigma z_m}{u^2-1} \left[\left\{ \sin \frac{2\pi}{u+1} - \frac{1}{u} \cdot \sin \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \right\} \right. \\
&\quad \left. + \frac{u(u-1)}{\sigma z_m} \rho \left\{ \cos \frac{2\pi}{u+1} - \cos \frac{2\pi}{u+1} \cdot u \right\} \right],
\end{aligned}$$

oder auf Grund der Beziehungen (28) und (29)

$$y_m = -\rho \left\{ 1 - \cos \frac{2\pi}{u+1} \right\} + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{u} \right\} \sin \frac{2\pi}{u+1}.$$

Setzen wir nun

so wird

Δy_m ist immer positiv.

Wenn u zwischen 1 und ∞ liegt, so variiert β zwischen π und 0; für $0 \leq u \leq 1$ wird $2\pi \geq \beta \geq \pi$ sein. Folglich wird

$$\frac{\sin \beta}{u - 1},$$

also auch y_m immer positiv¹⁾.

Auf Grund der vorigen Gleichungen (32) und (31) ergibt sich also

$$\sigma = \frac{u}{z_m} \cdot \frac{u-1}{\sin \beta} \left\{ y_m + 2\rho \sin^2 \frac{\beta}{2} \right\} \dots \dots \dots \quad (33)$$

Nach dieser Gleichung, kann man, wenn man aus Versuchen einige zugehörige Werte von z_m und y_m ermittelt hat, beide Konstanten des Instruments σ und ρ ermitteln.

Die Konstante σ lässt sich auch nach der zweiten der Formeln (4) berechnen, wenn die in derselben auftretenden Grössen bekannt sind.

Die Ausmessung dieses nur für spezielle Kontrollversuche aufgebauten Instruments ergab nun folgendes:

1) Für $u = 1$ wird $\frac{\sin \beta}{u-1} = \frac{\pi}{2}$ sein.

$$M_1 = 1375 \text{ gr.}$$

$$M = 101,1 \text{ gr.}$$

$$L = 35,24 \text{ cm.}$$

$$D = 4,12 \text{ cm.}$$

$$a = 1,93 \text{ cm.}$$

$$b = 0,160 \text{ cm.,}$$

also (nach der Formel (5))

$$s = 1,1754$$

und

$$\sigma = 1,187.$$

Bei der direkten Bestimmung von σ aus Versuchen bei verschiedenen z_m habe ich denjenigen Wert von ρ gewählt, welcher sich aus der direkt gemessenen Grösse der Reibungskraft p_0 ergab. Wir haben früher gesehen, dass p_0 zwischen 10 und 16 Grammgewicht variiert. Da wir hier mit verhältnismässig raschen Bewegungen der Feder zu tun haben, so wird sich die Reibung weniger geltend machen; deshalb habe ich für p_0 den kleinsten, aus statischen Versuchen sich ergebenden Wert, nämlich $p_0 = 10 \text{ Gr.}$ genommen.

Dann ergibt sich auf Grund der früher angeführten Konstanten nach den Formeln (11) und (12)¹⁾

$$\rho = 0,161 \text{ cm.}$$

Die Beobachtungen haben nun folgende zusammengehörige Werte von z_m und m , resp. $y_m = m\gamma^2$, wie auch T_p ergeben. γ ist die Entfernung zwischen benachbarten Zähnen. Bei diesem Instrument war $\gamma = 0,2 \text{ cm.}$

z_m	m	y_m	T_p ³⁾
1,31 cm.	8	1,6 cm.	1,013 sek.
2,01	13	2,6	1,055
2,90	19	3,8	1,041
3,71	24	4,8	1,041
4,70	31	6,2	1,054

¹⁾ p_0 muss in C. G. S. Einheiten ausgedrückt werden.

²⁾ Siehe die Beziehung (8).

³⁾ Die nicht völlige Konstanz von T_p wird wahrscheinlich durch die Wirkung der Zusatzfeder bedingt. Das hat jedoch keine Bedeutung, da T_p jedesmal direkt aus den Versuchen entnommen wurde.

Daraus berechnen sich auf Grund der Formel (33), resp. (18) und (30), folgende Werte von σ :

$\underline{\sigma}$.

1,17

1,24

1,18

1,15

1,18,

also im Mittel

$$\sigma = 1,184,$$

was mit der früher angeführten, aus Ausmessungen gewonnenen Zahl aufs beste übereinstimmt.

Statt in die Formel (33) den Wert von ρ einzuführen, könnte man diese Grösse aus ähnlichen Versuchen direkt bestimmen. Es kommt aber auf den Wert von ρ nicht so sehr an, denn bei den Versuchen für die Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung hat man, wie wir es bald sehen werden, eigentlich mit einem anderen Wert von ρ zu tun.

Die Hauptsache liegt darin, die Konstante σ zu bestimmen und diese Aufgabe bietet, wie wir eben gesehen haben, überhaupt keine Schwierigkeiten dar.

Diese Konstante braucht auch nur ein für alle Male bestimmt zu werden.

Kehren wir nun zu der Frage der Bestimmung der maximalen Bodenbeschleunigung w_m zurück.

Nach den Formeln (14), (15) und (16) wird für diese Plattformbewegung die *absolute Grösse* der maximalen Beschleunigung

$$w_m = p^2 z_m = 4\pi^2 \frac{z_m}{T_p^2} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (34)$$

sein.

Ist nun der Apparat am Anfang bis auf den m -ten Zahn in der positiven Richtung abgelenkt worden ($y_0 = m\gamma$), und ist derselbe nach dem erfolgten Versuch, der in ganz ähnlicher Weise, wie bei der Bestimmung von σ auszuführen ist, auf einen oder mehrere weitere Zähne übergesprungen, so wird auf jeden Fall

$$w_m > \frac{n^2}{\sigma} \gamma \cdot m$$

sein (siehe die Formel (9)).

$\frac{n^2}{\sigma} \gamma \cdot m$ stellt also die untere Grenze von w_m dar, wenn keine Reibung vorhanden wäre. Diese Grenze lässt sich also praktisch sehr leicht ermitteln.

Wollen wir nun etwas näher untersuchen, unter welchen Bedingungen der Schnäpper auf den *nächstfolgenden Zahn* überspringen wird.

Die Plattform sei am Anfang zur Seite der *negativen* Abszissen um z_m abgelenkt und alsdann freigelassen. Für den Anfangspunkt der Zeitzählung nehmen wir denjenigen Moment an, wenn die Plattform zum ersten Mal durch ihre Ruhelage hindurchgeht. Bis zu dem Moment kann, wie wir früher gesehen haben, eine Bewegung der Feder überhaupt nicht stattfinden. Dann wird das Bewegungsgesetz der Plattform der Formel (15) entsprechen.

Aus der allgemeinen Differentialgleichung (13) ergibt sich dann unter Berücksichtigung der Reibung, bei Zugrundelegung der Beziehung (15),

$$y'' = \sigma p^2 z_m \sin pt - n^2(y + \rho) \dots \dots \dots \quad (35)$$

Da nun zuerst $y = y_0 = m\gamma$ ist und y'' positiv sein soll, so kann überhaupt eine Bewegung des Apparates nur dann eintreten, wenn

$$\sigma p^2 z_m = \sigma w_m > n^2(y_0 + \rho)$$

wird.

Folglich wird *bei Berücksichtigung der Reibung*

$$\frac{n^2}{\sigma}(m\gamma + \rho)$$

die untere Grenze für die gesuchte maximale Bodenbeschleunigung sein.

Wollen wir jetzt einen neuen Moment t_0 für den Anfang der Zeitzählung wählen, nämlich denjenigen, wo die Bewegung des Apparates gerade eintritt. Dann muss t_0 der Beziehung (35) gemäss folgender Gleichung genügen:

$$\sigma p^2 z_m \sin pt_0 = n^2(y_0 + \rho) \dots \dots \dots \quad (36)$$

Setzen wir nun

$$t = t_1 + t_0,$$

so werden für $t_1 = 0$ die anfänglichen Werte von y und y' die folgenden sein:

und

$$y = y_0 = m\gamma$$

$$y' = y'_0 = 0.$$

Die Grunddifferentialgleichung (35) nimmt dann folgende Form an:

$$\frac{d^2y}{dt_1^2} + n^2(y + \rho) = \sigma p^2 z_m \sin p(t_1 + t_0) \dots \dots \dots \quad (37)$$

Das allgemeine Integral derselben lautet, wie folgt ($u = \frac{n}{p}$):

$$y = -\rho + \Gamma_1 \cos nt_1 + \Gamma_2 \sin nt_1 + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \sin p(t_1 + t_0) \dots \dots \quad (38)$$

Daraus ergibt sich

$$\frac{dy}{dt_1} = -n\Gamma_1 \sin nt_1 + n\Gamma_2 \cos nt_1 + p \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \cos p(t_1 + t_0) \dots \dots \quad (39)$$

Setzen wir in den Gleichungen (38) und (39) $t_1 = 0$, so ergeben sich auf Grund der früher angeführten Anfangsbedingungen der Bewegung folgende Werte der Integrationskonstanten Γ_1 und Γ_2 :

$$\Gamma_1 = (y_0 + \rho) - \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \sin pt_0$$

und

$$\Gamma_2 = -\frac{\sigma z_m}{u(u^2 - 1)} \cos pt_0 \dots \dots \dots \quad (40)$$

Ersetzen wir in der ersten dieser Gleichungen ($y_0 + \rho$) durch seinen Wert aus der Formel (36), so folgt

$$\Gamma_1 = -\frac{\sigma z_m}{u^2(u^2 - 1)} \sin pt_0 \dots \dots \dots \quad (41)$$

Die Werte der beiden Konstanten Γ_1 und Γ_2 sind also gefunden; wir werden aber dieselben einstweilen in die Gleichung (38) nicht einsetzen.

Diese Gleichung lässt sich auch so schreiben

$$y = f(t_1),$$

wo

$$f(t_1) = -\rho + \Gamma_1 \cos nt_1 + \Gamma_2 \sin nt_1 + \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cdot \sin p(t_1 + t_0) \dots \dots \quad (42)$$

ist.

Für $t_1 = 0$ wird $y = y_0$ sein.

Wir müssen nun jetzt untersuchen, unter welcher Bedingung der Schnäpper gerade den nächstfolgenden Zahn erreicht, also das Maximum von y , nämlich

$$y_m = y_0 + \gamma = (m + 1)\gamma$$

eintritt.

Das entsprechende Zeitintervall sei $t_1 = \tau$, wo τ eine kleine Grösse ist. Folglich wird, wenn wir der Einfachheit wegen die Differentiierung nach t_1 durch Striche bezeichnen:

$$f(0) = m\gamma,$$

$$f'(\tau) = (m+1)\gamma$$

und

$$f''(\tau) = 0.$$

Nach dem Maclaurin'schen Satz können wir nun, unter Beibehaltung von Gliedern von der Ordnung τ^3 , setzen

$$f(\tau) = f(0) + f'(0)\tau + f''(0)\frac{\tau^2}{2} + f'''(0)\frac{\tau^3}{6} + \dots \quad (43)$$

und

$$f'(\tau) = f'(0) + f''(0)\tau + f'''(0)\frac{\tau^2}{2} + f''''(0)\frac{\tau^3}{6} + \dots \quad (44)$$

Wir wollen nun die Werte von $f'(0), f''(0), f'''(0)$ und $f''''(0)$ aufsuchen. Aus der Formel (42) ergibt sich

$$f'(t_1) = -n \Gamma_1 \sin nt_1 + n \Gamma_2 \cos nt_1 + p \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cos p(t_1 + t_0)$$

$$f''(t_1) = -n^2 \Gamma_1 \cos nt_1 - n^2 \Gamma_2 \sin nt_1 - p^2 \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \sin p(t_1 + t_0)$$

$$f'''(t_1) = -n^3 \Gamma_1 \sin nt_1 - n^3 \Gamma_2 \cos nt_1 - p^3 \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \cos p(t_1 + t_0)$$

$$f''''(t_1) = -n^4 \Gamma_1 \cos nt_1 - n^4 \Gamma_2 \sin nt_1 - p^4 \frac{\sigma z_m}{u^2 - 1} \sin p(t_1 + t_0),$$

also für $t_1 = 0$

$$f'(0) = n \left[-\Gamma_2 + \frac{\sigma z_m}{u(u^2 - 1)} \cos pt_0 \right]$$

$$f''(0) = n^2 \left[-\Gamma_1 - \frac{\sigma z_m}{u^2(u^2 - 1)} \sin pt_0 \right]$$

$$f'''(0) = n^3 \left[-\Gamma_2 - \frac{\sigma z_m}{u^3(u^2 - 1)} \cos pt_0 \right]$$

$$f''''(0) = n^4 \left[-\Gamma_1 - \frac{\sigma z_m}{u^4(u^2 - 1)} \sin pt_0 \right].$$

Setzt man hierin die Werte von Γ_2 und Γ_1 aus den Formeln (40) und (41)

ein, so folgt

$$f'(0) = 0,$$

$$f''(0) = 0,$$

$$f'''(0) = \frac{n^3 \sigma z_m}{u^3} \cdot \cos pt_0$$

und

$$f''''(0) = -\frac{n^4 \sigma z_m}{u^4} \cdot \sin pt_0.$$

Bringen wir nun diese Werte in die Formel (44) ein und berücksichtigen noch dabei, dass $f'(\tau) = 0$ ist, so ergibt sich

Führen wir nun diesen Wert von τ in die Formel (43) ein, so wird

$$f(\tau) - f(0) = \gamma = -\frac{1}{6} f'''(0) \cdot 27 \left[\frac{f'''(0)}{f''''(0)} \right]^3$$

oder

Es erübrigts jetzt also nur $\sin pt_0$ durch seinen Wert aus der Formel (36) zu ersetzen.

Da $w_m = p^2 z_m$ die wahre maximale Beschleunigung der Plattformbewegung bedeutet, bei welcher der Schnäpper gerade auf den nächsten Zahn überspringt, so wird der Beziehung (36) gemäss

sein.

Bringen wir diese Grösse in die Formel (46) ein, so folgt

$$\gamma \frac{\{n^2(y_0 + \rho)\}^3}{\sigma^3 w_m^3} = \frac{9}{2} (\sigma w_m) \cdot \frac{1}{p^2} \left[1 - \frac{\{n^2(y_0 + \rho)\}^2}{\sigma^2 w_m^2} \right]^2$$

oder

$$(\sigma w_m)^2 \left[1 - \frac{\{n^2(y_0 + \rho)\}^2}{(\sigma w_m)^2} \right] = \sqrt{\frac{2}{9} p^2 \{n^2(y_0 + \rho)\}^3}.$$

Daraus folgt (siehe auch die Beziehung (18))

$$(\sigma w_m)^2 = \{n^2(y_0 + \rho)\}^2 + \sqrt{\frac{2}{9} p^2 \{n^2(y_0 + \rho)\}^3 \cdot \gamma} \\ = \{n^2(y_0 + \rho)\}^2 \left[1 + \sqrt{\frac{2}{9} \frac{\gamma}{u^2(y_0 + \rho)}} \right],$$

also endgültig, unter Berücksichtigung der Beziehung (8),

$$w_m = \frac{n^2(m\gamma + \rho)}{\sigma} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{\frac{2}{9} \cdot \frac{\gamma}{m^2(m\gamma + \rho)}}} \dots \dots \dots \quad (48)$$

Dies ist die Formel, nach welcher in diesem Falle die maximale Bodenbeschleunigung sich berechnen lässt.

Wenn γ verschwindend klein ist, so wird $w_m = w_{m_1}$ sein, wo

$$w_{m_1} = \frac{n^2(m\gamma + \rho)}{\sigma} \dots \dots \dots \quad (49)$$

ist.

Das ist gerade die früher angeführte untere Grenze für die gesuchte maximale Bodenbeschleunigung w_m .

Es wurde nun eine Versuchsreihe in ähnlicher Weise wie früher bei der Bestimmung von σ ausgeführt (damals aber war $y_0 = 0$) und für jedes gegebene m , resp. y_0 , das entsprechende z_m , wo der Schnäpper gerade auf den folgenden Zahn überspringt, ermittelt. Zugleich bestimmte man aus der Kurve der Plattformbewegung T_p . Daraus erhält man sofort nach der Formel (34) den entsprechenden Wert von w_m .

Mit diesen Daten kann man alsdann die entsprechende Reibungskonstante ρ , die eine kleine Grösse ist, durch sukzessive Annäherungen leicht finden.

Die Beobachtungen haben nun für ρ folgende Werte ergeben:

ρ
0,40 cm.
0,39
0,43
0,38
0,47
0,36
0,34,

also im Mittel

$$\rho = 0,40 \text{ cm.},$$

was nach den früheren Formeln und Daten einer Reibungskraft p_0 von etwa 25 Grammgewicht entspricht.

ρ , resp. p_0 , haben sich jetzt grösser als im früheren Fall ergeben, was auch zu erwarten war, da die Feder zuerst abgelenkt war und der Schnäpper mit ziemlich starkem Druck in den entsprechenden Zahn eingreift. Deshalb muss eine stärkere Kraft angewandt werden, um dieselbe aus dem Zahn herauszurücken.

In der folgenden Tabelle sind nun die direkt gemessenen Werte von m , y_0 , z_m , T_p und die aus ihnen abgeleiteten von w_m und nebenbei die bei Zugrundelegung des eben angeführten Wertes von ρ nach den Formeln (48) und (49) berechneten Werte von w_m und w_{m_1} gegeben.

σ wurde gleich 1,187 gesetzt. Die Beschleunigungen sind auf eine Einheit C. G. S., also auf ein Gal abgerundet worden.

m	y_0	z_m	T_p	w_m	w_m	w_{m_1}
				(beobachtet)	(berechnet)	
5	1,0 cm.	1,73 cm.	1°030	65 C.G.S.	65 C.G.S.	60 C.G.S.
7	1,4	2,30	1,053	82	83	78
10	2,0	2,91	1,020	110	109	103
12	2,4	3,43	1,037	126	127	121
15	3,0	4,28	1,039	157	153	147
17	3,4	4,76	1,054	169	171	164
20	4,0	5,43	1,049	195	197	190

Für $m = 0$, also $y_0 = 0$, wird nach der Formel (49)

$$w_{m_1} = 17 \text{ C.G.S.}$$

sein.

Die Übereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Werten von w_m kann im Allgemeinen als eine recht gute bezeichnet werden; folglich steht die hier auseinandergesetzte Theorie dieses Instruments im Einklang mit den direkt beobachteten Tatsachen.

Auf der folgenden Figur 3 sind nun die nach den Formeln (49) und (48) berechneten Werte von w_{m_1} und w_m aufgezeichnet. Als Abszissen dienen die Ordnungszahlen der Zähne m .

Die durchgezogene Kurve I gibt die Werte von w_{m_1} und die gestrichelte II diejenigen von w_m . Die Abhängigkeit für w_{m_1} von m ist eine strenge und für w_m eine annähernd lineare. Beide Linien verlaufen fast parallel.

Der Unterschied δ zwischen w_m und w_{m_1} ist überhaupt klein, da δ nur zwischen 5 und 7 Gal variiert.

Im Mittel kann man also $\delta = 6$ setzen und dementsprechend wird

$$w_m = w_{m_1} + \delta = w_{m_1} + 6 \text{ C.G.S.} \dots \dots \dots \quad (50)$$

Hat man also während eines Bebens beobachtet, dass ein ursprünglich um $y_0 = m\gamma$ abgelenkter Federseismograph auf den nächstfolgenden Zahn übergesprungen ist, so kann man, indem man zu dem nach der Formel (49) berechneten Wert von w_{m_1} die Korrektion δ hinzufügt, einen genaueren Wert für die untere Grenze der wirklich stattgefundenen maximalen Bodenbeschleunigung angeben.

Da aber diese Korrektion δ für ein und dasselbe Instrument nicht konstant ist, sondern auch von der etwaigen Periode der Erdbebenwelle T_p , resp. u , abhängig ist, so wird man in der Praxis am besten tun, einfach w_{m_1} als die untere Grenze für die gesuchte maximale Bodenbeschleunigung w_m anzugeben.

Der Unterschied zwischen w_m und w_{m_1} wird höchstens nur einige Gal ausmachen, was für die Praxis eine völlig genügende Genauigkeit ist. Dadurch wird die Verwertung der Beobachtungsergebnisse wesentlich vereinfacht und jede Voraussetzung über den Charakter der stattgefundenen wahren Bodenbewegung fällt gänzlich weg.

Wir sehen also, dass dieser ganz einfache und jedermann zugängliche Apparat wirklich imstande ist uns ziemlich genaue Auskünfte über die maximale Bodenbeschleunigung zu geben und zwar im absoluten C.G.S. Maass ausgedrückt. Ein Satz solcher kleiner Instrumente würde also eine wahre dynamische Skala für Erdbebenstärken darstellen. Zur Verwertung der Angaben derselben müssen nur die entsprechenden Konstanten bekannt werden; die Bestimmung derselben bietet, wie wir gesehen haben, keine Schwierigkeiten dar. Diese Konstanten brauchen nur ein für alle Mal bestimmt zu werden und können bei der Lieferung der Instrumente vom Mechaniker selbst angegeben werden¹⁾. Am bequemsten wird es bei jedem solchen Instrument eine kleine Tabelle der Abhängigkeit von w_{m_1} von m , der Kurve I auf der Figur 3 entsprechend, hinzuzufügen.

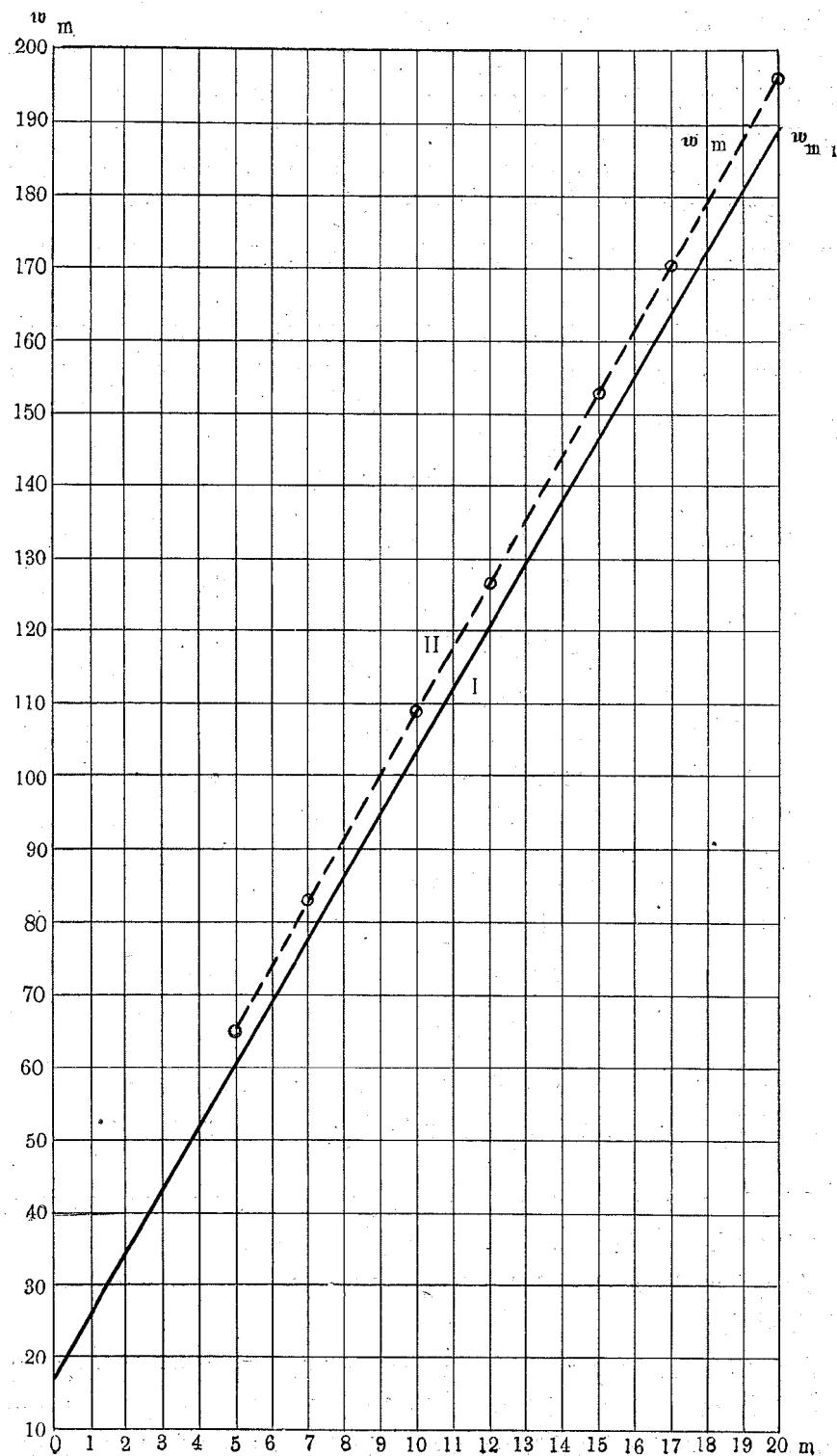
Dann vereinfacht sich die ganze Aufgabe aufs höchste.

Zum Schluss wollen wir die Anwendbarkeit einer solchen dynamischen Skala an einem Zahlenbeispiel etwas näher erläutern.

Bekanntlich hat der leider neulich verstorbene Mercalli eine 12-gradige Bebenstärkeskala eingeführt und dabei für jeden Stärkegrad die etwaigen

¹⁾ Diese dynamischen Skalen werden von Herrn Masing, Mechaniker an dem Physikalischen Laboratorium der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St.-Petersburg, verfertigt.

Fig. 3.



Grenzen der maximalen Bodenbeschleunigung angegeben. Wie weit dieselben der Wirklichkeit entsprechen, ist zur Zeit schwer zu sagen, aber jedenfalls kann man selbstverständlich auf diese Weise jeden Grad der Bebenstärkeskala *definieren*. Es fehlen uns aber gerade noch genaue Beobachtungen über die maximale Bodenbeschleunigung während starker Erdbeben und bis dieselben nicht vorliegen, wird es schwer sein eine wirklich rationelle, dynamische Stärkeskala aufzustellen. Die hier beschriebene Methode soll eben dazu dienen, um diese verwinkelte, aber durchaus äusserst wichtige Aufgabe etwas zu fördern.

Im folgenden ist die Mercalli'sche Skala angeführt, wobei ich die Übersetzung der von Mercalli angegebenen Charakteristik der Bebenstärke unterlassen habe.

Skala von Mercalli.

<i>Stärkegrad.</i>	<i>Charakter des Bebens.</i>	<i>Maximale Bodenbeschleunigung w_m.</i>
I	Scossa strumentale	< 0,25 C. G. S.
II	Leggerissima	0,25 — 0,50
III	Leggera	0,50 — 1
IV	Sensibile o mediocre	1 — 2,5
V	Abbastanza forte	2,5 — 5
VI	Forte	5 — 10
VII	Fortissima	10 — 25
VIII	Rovinosa	25 — 50
IX	Disastrosa	50 — 100
X	Disastrossima	100 — 250
XI	Catastrofe	250 — 500
XII	Enorme Catastrofe	500 — 1000.

Wenden wir uns jetzt zu demjenigen Apparat, welcher hier beschrieben und untersucht wurde.

Aus der Kurve I auf der Fig. 3 folgt, dass für $m = 0$ $w_{m_1} = 17$ C. G. S. wird.

Daraus geht hervor, dass man mit solchen Instrumenten wie dieses nur Erdbeben von VII und höherem Stärkegrad nach Mercalli untersuchen kann. Selbstverständlich könnte man sehr leicht ähnliche Instrumente für schwächere Beben aufbauen; dazu braucht man nur n^2 kleiner zu nehmen,

d. h. die Eigenperiode des Federseismographen entsprechend länger zu wählen, aber gerade die stärkeren Beben bieten das meiste Interesse dar.

Denken wir uns nun, dass unsere dynamische Skala aus einem Satz von vier solchen Instrumenten besteht, für welche $m = 5$, $m = 10$, $m = 15$ und $m = 20$ gewählt wird.

Aus der Kurve I der Figur 3 ergeben sich alsdann für die untere Grenze der maximalen Bodenbeschleunigung w_{m_1} folgende Werte:

m	w_{m_1}	<i>Stärkegrad nach Mercalli.</i>
5	60 C. G. S.	IX
10	103	
15	147	
20	190	X

Durch diesen Instrumentensatz wird also die Bebenstärke X in drei Unterabteilungen geteilt, was, wenn man genaue Isoseisten ziehen will, äusserst wichtig ist. Es ist auch einleuchtend, dass, wenn man die wahre Bodenbeschleunigung für praktische Zwecke einigermaassen genau untersuchen will, man sich nicht mit solchen weiten Intervallen in den Werten von w_m wie diejenigen der Skala Mercalli's für stärkere Beben begnügen kann.

Zur Untersuchung von stärkeren Beben in gewöhnlichen seismischen Gebieten möchte ich für praktische Zwecke der Erforschung der maximalen Bodenbeschleunigung zuerst einen Satz, bestehend aus 7 Federseismographen etwa von der hier beschriebenen Art, als dynamische Skala vorschlagen.

Der erste Apparat sei auf $m = 4$ und jeder folgende auf vier weitere Zähne abgelenkt.

Dementsprechend würde man nach den früher angeführten Angaben und nach der Formel (49) folgende rationelle, rein dynamische Skala aufstellen können.

Dynamische Skala.

m	w_{m_1}	<i>Stärkegrad nach Mercalli.</i>
4	52 C. G. S.	IX
8	86	IX
12	121	X
16	155	X

<i>m</i>	<i>w_m</i>	<i>Stärkegrad nach Mercalli.</i>
20	190	X
24	224	X
28	259	XI

Mit einer solchen dynamischen Skala würde man wohl imstande sein, in sehr einfacher Weise und zwar *ohne irgend welche Voraussetzung über den wahren Charakter der Bodenbewegung* die maximale Bodenbeschleunigung während eines Bebens bis auf 34—35 C. G. S. Einheiten genau festzustellen, was uns schon viel näher zu der Lösung dieser wichtigen Aufgabe bringen würde.

Juli 1914.

Землетрясение въ Купянскомъ уѣздѣ 8.VIII. 1913.

А. Оедоровскій.

Раннимъ утромъ 8 августа н. ст. въ Купянскѣ, уѣздномъ городѣ Харьковской губерніи, ощущалось чувствительное землетрясение, извѣстія о чёмъ появились своевременно въ газетахъ.

Не будучи въ это время въ Харьковской губ., я узналъ о землетрясеніи нѣсколько позже, но постарался возможно скорѣе проѣхать на мѣстѣ газетныя свѣдѣнія и собрать доступныя данныя.

Съ 19-го по 22-е августа я провелъ въ Купянскѣ, гдѣ собиралъ показанія очевидцевъ и бѣгло осмотрѣлъ мѣстность съ геологической точки зренія.

Въ это время выяснилось, что землетрясение захватило не только Купянскъ съ окрестностями, но и значительную часть Купянского уѣзда. Не имѣя, однако, ни полномочій, ни средствъ для поѣздки по уѣзду, я долженъ былъ ограничиться въ отношеніи уѣзда почти исключительно составленіемъ списка мѣсть, гдѣ ощущался толчекъ. Часть свѣдѣній въ этомъ направленіи записана мною лично, большинство же собрано при посредствѣ мѣстной интеллигенціи и администраціи.

Въ самомъ Купянскѣ и его ближайшихъ окрестностяхъ мною записаны показанія 33 лицъ, являющихся очевидцами землетрясенія, не считая въ томъ числѣ сдѣланныхъ ими указаній на присутствовавшихъ во время толчка другихъ лицъ. Всѣ указанія, не основанныя на непосредственныхъ наблюденіяхъ, оставлены безъ вниманія.

При собираемъ данныхъ я пользовался вопроснымъ листомъ Сейсмической Комиссіи Имп. Русскаго Географическаго Общ. (Мушкетовъ. Физич. геол. т. I, стр. 624—5. 2-е изд. С.-Пб. 1899), котораго придерживаюсь и въ дальнѣйшемъ изложеніи.

Суммируя полученный фактический материалъ, я старался воздерживаться отъ собственныхъ выводовъ, а въ случаѣ ихъ необходимости, отдѣлять ихъ отъ полученныхъ свѣдѣній.

По даннымъ, собраннымъ такимъ образомъ, картина землетрясенія представляется въ слѣдующемъ видѣ.

1) Въ теченіе всего іюля въ Купянскѣ стояла дождливая погода¹⁾. Наканунѣ вечеромъ былъ дождь и гроза (3)²⁾.

Одинъ изъ наблюдателей указалъ, что его барометръ (анероидъ) наканунѣ вечеромъ стоялъ между дождемъ и великимъ дождемъ. Въ день же землетрясенія была тихая (5), пасмурная (2) погода. На рѣкѣ былъ туманъ (1).

Наблюдательница, бравшая наканунѣ часовъ въ 6 вечера воду въ колодцѣ на Кавказѣ (улица по кругому берегу Оскола), замѣтила, что вода была совсѣмъ бѣлой (колодецъ, повидимому, вырытъ въ мѣду), однако на другой день была уже чище. Другая указала, что вода изъ водопровода (абиссинские колодцы) уже примѣрно за четыре дня до землетрясенія была очень мутной — «совершенно бѣлой».

2) Землетрясеніе произошло 26 іюля стараго стиля, повидимому, около 4 ч. 55 минутъ утра по Купянскому времени. Точно время установить не удалось. Хотя многіе изъ наблюдателей тотчасъ послѣ толчка инстинктивно посмотрѣли на часы, однако только одинъ изъ нихъ свѣрилъ впослѣдствіе свои часы съ желѣзнодорожными.

По его указанію толчекъ произошелъ въ 5 ч. 6—7 м., что расходится съ громаднымъ большинствомъ указаній. Дѣйствительно, изъ всѣхъ наблюдателей только двое указали время послѣ 5 ч. (оба безъ часовъ), остальные же наблюдатели указываютъ 5 ч. (въ 10 случаяхъ) или время до 5 ч. (въ 14 случаяхъ).

Изъ пяти опредѣленныхъ указаній, сдѣланныхъ по хорошо идущимъ часамъ:

4 ч. 45 — 50 м.

4 » 53 м.

4 » 55 »

4 » 55 »

5 » 6 — 7 м.

1) Метеорологическая данная, касающаяся всего уѣзда, приведены далѣе — стр. 312.

2) Цифры, приводимыя въ скобкахъ, означаютъ число полученныхъ отъ наблюдателей указаній.

мы беремъ среднее, которое близко совпадаетъ и съ ариометическимъ среднимъ изъ всѣхъ показаній (безъ часовъ и по плохо идущимъ часамъ).

3) Изъ общаго числа лицъ, наблюдавшихъ землетрясеніе, отъ которыхъ мною были получены непосредственно свѣдѣнія (33), большинство въ моментъ толчка еще спало (7 въ первомъ этажѣ, 2 во второмъ) или проснувшись находилось еще въ постели (8 въ первомъ этажѣ, 1 во второмъ). Изъ остальныхъ наблюдателей шестеро стояло въ комнатѣ — всѣ въ первомъ этажѣ (1 собирался умываться, 1 прибирала постель, 1 смотрѣла въ окно). Пять сидѣло въ первомъ этажѣ (1 надѣвала ботинки), одинъ во второмъ. Четыре наблюдателя были на открытомъ мѣстѣ (1 сидя на платформѣ вѣсовъ подъ навѣсомъ надѣвалъ сапоги, 1 на берегу рѣки сидѣлъ на табуретѣ, 1 на рѣкѣ сидя въ лодкѣ вынималъ изъ воды рыбу, 1 шель по улицѣ).

Установлено, въ то же время, что иныя лица занятые работой совершило не ощущали толчка и не слышали звуковъ, замѣченныхъ другими наблюдателями иногда въ томъ же дворѣ. Такъ напримѣръ, въ столярной мастерской подъ навѣсомъ (Кавказъ) никто не замѣтилъ толчка. Жена же столяра въ комнатѣ ощущала сильное сотрясеніе и звуки. Тоже извощикъ, чистившій лошадь въ конюшнѣ, который ничего не замѣтилъ, въ то время какъ его жена въ домѣ чувствовала землетрясеніе.

Установлено также, что не всѣ спавшіе проспулись отъ сотрясенія.

4) Относительно числа сотрясеній подавляющее большинство наблюдателей (26) указываетъ одно сотрясеніе. Остальные указываютъ на два толчка (1 — стояла), три толчка (3 — одинъ сидя надѣвалъ сапогъ, отмѣчаетъ, что толчки были «въ одно время», другая сидя надѣвала ботинки, третья, стоявшая, указываетъ, что толчки шли подъ рядъ), и три-четыре толчка (1 — стоялъ, собираясь умываться). Одинъ наблюдатель толчка не ощутилъ (лежалъ).

Заслуживаетъ вниманія то обстоятельство, что наблюдатели, отмѣтившіе болѣе одного толчка, находились въ положеніи неустойчиваго равновѣсія. Быть можетъ это и послужило причиной разногласія.

Во всякомъ случаѣ, считаю возможнымъ принять, согласно съ большинствомъ, только одно сотрясеніе.

5) Большинство наблюдателей охарактеризовало землетрясеніе, какъ толчекъ (18), причемъ часть изъ нихъ (7) отмѣтила кромѣ того, что послѣ толчка чувствовалось дрожаніе (4) или колебаніе (3). Нѣкоторые изъ наблюдавшихъ, не почувствовавъ самаго толчка, ощущали только дрожаніе дома (3) или даже только стукъ дверей (1).

Значительно меньшая часть наблюдателей (5) характеризуетъ его, какъ волну.

Въ одномъ изъ домовъ на Кавказѣ дѣвочка, спавшая на диванѣ, два раза ударила головой о диванъ. Одна изъ наблюдательницъ проснулась отъ ощущенія, что ее толкнула стѣнка (сѣверная), у которой она лежала. Другая наблюдательница (Кавказъ) указывала, что деревянный диванъ «подскочилъ», квашня, стоявшая на диванѣ, «подскочила». Наблюдательница, стоявшая въ комнатѣ (Кавказъ), отъ толчка взялась за диванъ, чтобы не упасть. Мальчикъ, удившій, стоя на берегу Оскола, рыбу, пошатнулся. Тоже шедшій по улицѣ наблюдатель (Думскій пер.), тоже сидѣвшій на вѣсовой платформѣ (Изюмская ул.).

Въ одной изъ квартиръ (Кавказъ) картина, висѣвшая на западной стѣнѣ, соскочила съ гвоздей. Въ другой (Сизоновка) стекло на картинѣ, висѣвшей на сѣверной стѣнѣ, уже ранѣе разбитое, выпало изъ рамы и осипалось. Въ третьей высокій кувшинъ съ молокомъ, стоявшій на буфетѣ на разстояніи $1-1\frac{1}{2}$ вершка отъ края, упалъ и разбился. Въ домѣ Ляшенко (Сизоновка) изъ всѣхъ кувшиновъ, стоявшихъ на деревянномъ диванѣ, пролилось молоко; въ погребѣ, вырытомъ въ землѣ, дощатый потолокъ осѣль, подпиравшій его столбъ, тонкій и непрочный, сломился, земля съ потолка и по угламъ осипалась. На мельницѣ Фесенко ($1\frac{1}{2}$ версты къ югу отъ Купянска) весь домъ дрожалъ и колебался, стекла оконъ дребезжали, въ буфетѣ рюмки упали, двѣ висячія люстры качались, въ кухнѣ чугуны стучали другъ о друга; амбаръ весь дрожалъ.

Вообще толчекъ вызвалъ во многихъ мѣстахъ дребезжаніе оконныхъ стеколъ, посуды, лампъ, часовъ и т. п. (11); стукъ дверей (2) и открываніе дверей (1), дверецъ шкафа (1); дрожаніе и колебаніе мебели (5), даже цѣлыхъ домовъ (4), амбара (1), трескъ стѣнъ дома, сарая (2).

6) Относительно направленія толчка отвѣты отличаются крайней пестротой. Третья часть всѣхъ наблюдателей, давшихъ отвѣтъ на этотъ вопросъ, ощущала толчекъ снизу (8). Двѣ трети наблюдавшихъ (16) указываютъ, что толчекъ исходилъ сбоку, причемъ въ указаніи направленія также сильно расходятся. Чаще всего указанія, что толчекъ шелъ съ З (5) и Ю (4), но также съ С (1), В (1), ЮВ (2), СЗ (1); сбоку безъ указанія румба (2).

Къ сожалѣнію, мы совершенно не имѣемъ свѣдѣній, относительно направленія качанія висячихъ предметовъ. Слuchaевъ остановки часовъ нигдѣ не отмѣчено. Единственнымъ указаніемъ въ этомъ отношеніи являются стучавшія и открывшіяся двери. Въ двухъ случаяхъ я опредѣлилъ направленіе, по которому двери открываются и въ обоихъ оно совпадаетъ — $N 22^{\circ} E$ (Сквозной пер. — стучали; Кавказъ — открылись). Въ третьемъ случаѣ (Изюмская ул.) стучали двери сарая, открывающіяся, по указанію наблюдателя, съ С на Ю; въ четвертомъ дверца шкафа открылась на С-В.

7) Продолжительность землетрясения, по общему признанию, была весьма незначительна. Никто не определял ее по часамъ, да это, вѣроятно, было и невозможно, въ виду краткости сотрясения. Оцѣнка же продолжительности по впечатлѣнію крайне неточна, часто преувеличена вслѣдствіе неясного представленія о продолжительности секунды. Въ нѣсколькихъ случаевъ въ этомъ пришлось убѣдиться, отсчитывая для оцѣнки времени вслухъ числа. Обычно наблюдатель или я успѣвалъ отсчитать только до трехъ, что равно приблизительно одной секундѣ.

Большинство наблюдателей (13) и опредѣляло продолжительность равной одной или около одной секунды. Другие указывали 1—2 сек. (3), 2 сек. (2), 2—3 сек. (2), 4 сек. (1), 5—6 сек. (1), нѣсколько секундъ (3), около минуты (1), «моментально» (1).

8) Толчекъ сопровождался звуками, которые большинство наблюдателей (15) называютъ гуломъ — глухимъ (5), подземнымъ (5), протяжнымъ (4), а также гудѣніемъ (4). Одна изъ наблюдательницъ воспроизвѣдила его въ видѣ звуковъ «гу-гу-гу-гу». Другие называютъ звуки шумомъ (4), грохотомъ (3), жужжаніемъ (1). Сравниваютъ ихъ съ громомъ, подходящимъ поѣздомъ, грохочущей колымагой, проѣхавшимъ экипажемъ, автомобилемъ, прибоемъ волнъ. По одному указанію гулъ похожій на громъ перешелъ въ шумъ, напоминавшій сильную бурю или вѣтеръ.

Звукъ послышался одновременно съ толчкомъ (14) или нѣсколько раньше толчка (8), причемъ начался непосредственно передъ толчкомъ (4), или за 1 секунду (1), за 2 секунды (2), за 2—3 секунды (1). Наконецъ, наблюдатель, бывшій на рѣкѣ (1), услышалъ звукъ послѣ толчка.

Относительно продолжительности звука большинство указало только, что онъ былъ одновремененъ съ сотрясениемъ (13), одинъ наблюдатель указалъ, что гулъ слышался дольше, чѣмъ сотрясение. Оцѣнка продолжительности звука въ секундахъ дана немногими наблюдателями, которые считали ее равной 1 сек. (2), 1—2 сек. (2), 2 сек. (1), 2—3 сек. (4), 4—5 сек. (1), 5 сек. (1).

Часть наблюдателей (4) слышала только звуки произведенные сотрясениемъ дома, мебели и пр.

Такимъ образомъ, силу звука, я полагаю, равной 3 балламъ шкалы Кнетта.

9) Любопытны объясненія этимъ неожиданнымъ звукамъ и сотрясенію, которые возникли въ первый моментъ у пережившихъ землетрясение, особенно у разбуженныхъ имъ. Инымъ показалось, что ударилъ громъ, гроза (4); проѣхалъ быстро извозчикъ, телѣга, автомобиль, колымага (7); опрокинулся возъ съ тяжестью (1); прошелъ поѣздъ (3), столкновеніе поѣздовъ (1); валится домъ (1); женѣ столяра, что сбросили привезенное де-

рево; слышавшему передъ этимъ мычаніе проходившаго стада, что бугай ударили въ домъ; услышавшимъ стукъ двери, что стучать, дергаютъ дверь (2); одному изъ разбуженныхъ, что кто-то залѣзъ подъ кровать, другому, что подъ кроватю собака; дѣтямъ, что ихъ будятъ родители, старухѣ, что кто-то упалъ; рыбаку, сидѣвшему въ лодкѣ, что очень большая рыба произвела волненіе.

Немногіе поняли сразу, что произошло землетрясеніе (3), хотя нѣкоторые испытывали головокруженіе (2), испугъ (3), сильный испугъ (5); другие указывали только на удивленіе (1), непріятное чувство (2).

Одна наблюдательница въ теченіе 10 минутъ не могла прийти въ себя, другая поблѣднѣла, не могла ходить, чувствовала себя плохо цѣлый день. Одинъ изъ наблюдателей и сынъ его, удившіе рыбу на берегу, собравъ поспѣшно уочки ушли домой.

Иные, наряду съ этимъ, остались въ заблужденіи относительно причины толчка или испугались только впослѣдствіи, узнавъ о землетрясеніи.

Интересны наблюденія рыболововъ, бывшихъ въ моментъ землетрясенія на Осколѣ. Сидѣвшій въ лодкѣ близъ берега наблюдатель указалъ, что въ моментъ толчка лодку немножко приподняло водой, камыши зашелестѣли, возлѣ берега изъ воды вышло множество пузырей болотнаго газа. Бывшій на берегу наблюдалъ, что рыба въ моментъ толчка взбросилась по всей рѣкѣ.

10) Никакихъ разрушений, кромѣ отмѣченного обвала потолка въ подгребѣ, отмѣчено никѣмъ не было.

Такимъ образомъ, силу землетрясенія, я полагаю, надо оцѣнить не менѣе, какъ въ четыре балла.

Нѣсколько обнаженій, осмотрѣнныхъ мною попутно, даютъ нѣкоторое представленіе о геологическомъ строеніи Купянска, поэтому позволю себѣ привести ихъ.

Купянскъ лежитъ на крутомъ правомъ берегу Оскола при впаденіи въ него рѣченки Купянки, на обоихъ берегахъ послѣдней, а отчасти переходитъ и на лѣвый берегъ Оскола. Большинство обнаженій, находящихся въ самомъ городѣ, сильно затѣмнено осыпями и лучшія изъ нихъ находятся нѣсколько выше и ниже по теченію Оскола.

Въ балкѣ «Свадѣбный яръ» выше города обнажаются зеленые мергелистые глины, хорошо отграниченныя отъ ниже лежащей толщи бѣлаго птищущаго мѣла. На границѣ между глинами и мѣломъ довольно многочисленные вскипающіе кремни. На днѣ балки подобраны фосфоритовые конкреціи, кремни, окаменѣлости: *Belemnites mucronata* Schloth., *Belemnites* sp.

Въ оврагѣ у Царевской ул. за городскимъ паркомъ:

- 1) Почва.
- 2) Красный, ниже оранжевый, желѣзистый песокъ съ плотными кусочками бураго желѣзняка. Ниже по оврагу:
- 3) Плотная слоистая свѣтло-зеленая весьма мергелистая глина съ мелкими блестками слюды.

Въ оврагѣ за кладбищемъ, спускающемся къ Сизоновкѣ:

- 1) Почва.
- 2) Желто-бурый суглинокъ. Ниже по оврагу:
- 3) Зеленый глауконитовый глинистый песокъ.
- 4) Пищущій мѣль.

Въ оврагѣ оть Нагорной ул. (усадьба Павловой) къ Сизоновкѣ:

- 1) Почва.
- 2) Свѣтло-зеленая слоистая весьма мергелистая глина.
- 3) Синевато сѣрий, ниже
- 4) Бѣлый пищущій мѣль.

Къ сожалѣнію, не много прибавляеть къ этому известное въ литературѣ буреніе, достигшее очень небольшой глубины.

Буровая скважина Купянского казенного винного склада у подошвы праваго берега Оскола прошла слѣдующія породы¹⁾:

- 1) Насыпная земля — 5 ф.
- 2) Суглинокъ — 7 ф.
- 3) Сѣрая глина — 20 ф.
- 4) Зеленая глина — 4 ф.
- 5) Песокъ-плывунъ — 6 ф.
- 6) Мѣль, внизу водоносный — 50 ф.

Въ самомъ городѣ основная толща бѣлаго мѣла прикрыта въ разрѣзахъ осипями вышележащихъ породъ, но при земляныхъ работахъ быстро доходятъ до мѣла. Великолѣпный разрѣзъ мѣла можно наблюдать также по берегу Оскола, ниже города въ $1\frac{1}{2}$ верстахъ, въ карьерѣ при мельницѣ г. Фесенко. Здѣсь разработка мѣла, прикрытаго вверху только почвеннымъ слоемъ, прорѣзаетъ толщу около 25 метровъ бѣлаго пищущаго мѣла, который книзу дѣлается только болѣе плотнымъ. Въ этой толщѣ наблюдается трещиноватость, имѣющая два главныхъ направленія. Большинство трещинъ разбиваетъ мѣль по плоскостямъ, слабо наклоненнымъ къ горизонту, другая система трещинъ приближается къ вертикальному направленію. Здѣсь мною найдена *Belemnitella* sp.

¹⁾ И. Синцовъ. О буровыхъ и копанныхъ колодцахъ казенныхъ винныхъ складовъ. Зап. Имп. Минер. Общ. XLIII, вып. 1. С.-Пб. 1905. Стр. 26.

Такимъ образомъ, весь Купянскъ лежитъ на толще мѣла, прикрытой сверху третичными и четвертичными глинистыми и песчанистыми отложениями.

Трещиноватость мѣла передается, повидимому, иногда на поверхность, разбивая выше-лежащіе слои и вызывая образованіе длинныхъ трещинъ, какія мнѣ пришлось наблюдать въ нагорной части города, напр. на усадьбѣ П. В. Иванова (Сквозной пер.), где онѣ идутъ съ N на S. Владѣлецъ же усадьбы, уважаемый мѣстный ученый, указалъ мнѣ, что въ одномъ мѣстѣ его сада скопляющаяся весною вода уходитъ внизъ съ журчаніемъ весьма быстро, повидимому, по одной изъ подобныхъ трещинъ.

Какъ уже упоминалось, землетрясеніе захватило значительный районъ Купянского уѣзда, изъ нѣкоторыхъ мѣстъ котораго мы имѣемъ болѣе или менѣе подробныя указанія, относительно другихъ только установленъ фактъ землетрясенія.

Болѣе опредѣленныя свѣдѣнія получены изъ слѣдующихъ пунктовъ: Чернештина (Ново-Николаевка). Нѣкоторые жители отъ толчка проснулись и были испуганы.

Волосская Балаклейка. Наблюдатель, проснувшись часа въ 4, собирался идти изъ дома. Вдругъ подъ землею загудѣло. Наблюдатель думалъ, что обвалилась стѣнка въ амбарѣ или подъ сараемъ, чего не было. У одного крестьянина обвалилась часть стѣны (П. Рудневъ).

Куземовка. Въ 5 часовъ утра было содроганіе земли, при которомъ задребезжали стекла, какъ при громѣ (Л. Литовка). Другой наблюдатель въ пять часовъ утра сходилъ съ крыльца. Вдругъ затряслась земля. Наблюдатель (мальчикъ) испугался и упалъ; ему показалось, что недалеко отъ него ударилъ громъ (В. Васильковскій).

Лозовая (Сеньковской вол.). Въ ночь на 8-е была гроза и вѣтеръ. Наблюдатель, бывшій въ комнатѣ второго этажа, около 5 часовъ ощущалъ одинъ ударъ снизу въ теченіе нѣсколькихъ секундъ, одновременно протяжный гулъ, подобный отдаленному грому (С. Литошенко).

Сватова Лучка. Около шести часовъ утра наблюдатель шелъ удить рыбу. Вдругъ что-то вздрогнуло. Фельдшеръ того же села сообщилъ наблюдателю, что у него отъ толчка упала картина (П. Стефановскій).

Относительно же большинства пунктовъ нами получены только положительные или отрицательные отвѣты, касающіеся самаго факта землетрясенія, которые сведены въ слѣдующемъ спискѣ, послужившемъ основаніемъ для составленія карты землетрясенія.

Къ З отъ Оскола.

Было:

Тополи.
Новомлинскъ (Переволочная).
Двурѣчная.
*Моночиновка*¹⁾.
Гусинка.
Смородьковка.
Ново-Николаевка (Чернешина).
Дисковка.
Купянскъ.
Старовѣровка.
Хут. Кашицевъ.
Соболевка.
Волосская Балаклейка (Щенячье).
Хут. Загрызовъ.
Пристѣнъ.
Хут. Александровъ (шумъ).
Сеньковъ.
Сениха.

Не было:

Каменка.
Богодаровка.
Ѳедоровка.
Гороховатка.

Къ В отъ Оскола.

Ольшана (слабо).
Петропавловка.
Заосколье.
Хут. Конотопскій.
Пос. Купянскъ-Узловая.
Ново-Осиновая.
Кинь-Грусть Никольскій.
Крохмальный.
Малая Песчаная.

Новогеоргіевскъ.
Покровскъ.
По р. Дуванкѣ.
Араповка.
Верхняя Дуванка.
Нижняя Дуванка.
Маньковка.

¹⁾ Курсивомъ отмѣчены мѣста, изъ которыхъ получены противорѣчивыя извѣстія.

Было:

Колесниковка.
Бодривка.
Волчій.
Кругляковка.
Реччій.
Загрызово.
Алексеевка.
Старый Пришибъ.
Новый Пришибъ.

Не было:

Междуд Осколомъ и Красной.

Песчаная.
Берестовая.
Куземовка.
Лозовая.
Стельмаховка.

Боровая.
Шейковка.
Радьковские Пески.
Боголюбовка.
Юрьевка.

По р. Красной.

Өомовка.
Сватова Луцка.

Тарасовка.
Ново-Красное.
Нижняя Дуванка.
Преображенная.

Мѣловатка.
Ново-Никольскъ.
Кабанье.
Кременная.

Какъ видно изъ приложенной карты, область, захваченная землетрясениемъ, имѣетъ своеобразную полулунную форму. Городъ Купянскъ лежитъ въ центральной, наиболѣе широкой части этой области. Отсюда отхо-

дять два отрога: одинъ на *СВ* — вверхъ по теченію Оскола, главнымъ образомъ по его правому крутому берегу, быстро суживающійся, но до-стигающій Воронежской губерніи; другой, приблизительно перпендику-лярный первому — на *ЮВ*, занимаетъ высокую въ этомъ мѣстѣ часть во-дораздѣла между Осколомъ и рр. Жеребцомъ и Красной и широкой полосой доходитъ до теченія послѣдней, не достигая границы Старобѣльского уѣзда.

Такимъ образомъ, въ направленіи *ССВ — ЮЮЗ*, приблизительно со-впадающемъ съ теченіемъ Оскола (по прямой Тополи — Ольшана — Ново-Основая — Сеньково — Пришибъ), область землетрясенія вытянута болѣе чѣмъ на 60 верстъ.

Въ перпендикулярномъ направленіи (Волосская-Балаклейка — Сень-ково — Стельмаховка — Сватова Лучка) достигаетъ того же протяженія.

Приступая къ выясненію причины описанного землетрясенія, я поста-рался собрать всѣ доступныя свѣдѣнія о прежнихъ землетрясеніяхъ, имѣв-шихъ мѣсто въ Харьковской губ. и ближайшихъ мѣстахъ. Число ихъ весьма невелико и мы считаемъ умѣстнымъ привести найденные данныя цѣликомъ.

Въ фамильной лѣтописи семейства Квитокъ¹⁾ находится упоминаніе о землетрясеніи 1738 года. «Майя 31 въ Малороссії и въ прочихъ мѣстахъ²⁾ было землетрясеніе, а въ Харьковскомъ полку³⁾ не было».

Указанія на два другихъ землетрясенія мы встрѣчаемъ только черезъ сто лѣтъ, въ статьѣ Харьковского профессора Калениченко.

«Старики разсказываютъ, что довольно значительное землетрясеніе было чувствуюмо въ Украинѣ 1815 года.... Отлогое мѣсто на трепельной формациіи, служащее основаніемъ городу Харькову — и мѣста болѣе низмен-ныя съ грунтомъ песчанымъ и орудѣльнымъ болотнымъ желѣзомъ — перемѣ-шаннымъ въ наносахъ съ кремнисто-кварцовыми образованіемъ, ровно черезъ 23 года потряслись милювшаго 11 Января 1838 года въ 9 часовъ и 25 минутъ вечера. Направленіе мчавшейся силы, произведшей потрясеніе въ нашемъ городѣ, было отъ юго-востока къ сѣверу-западу, продолжалось около 30 секундъ; — степень напряженія вообще была незначительна, вы-ключая одной Московской улицы, — на которой каменныея большія зданія

1) Выписка изъ фамильной записи Квитокъ. Харьковскій Календарь и памятная книжка на 1885 г. Стр. 659. Х. 1884.

2) Ср. 1738 годъ Май 31. «Въ самый полдень эдѣ (въ Полтавской губерніи, близъ Лубновъ) земля трясася; движение было подобно бываемому въ суднѣ на водѣ, отъ чего хаты, двери и прочее и мы сами двигались не безъ ужаса. Только сіе трясеніе болѣе двухъ минутъ не было. Въ то время и во многихъ другихъ мѣстахъ сіе трясеніе было, что особли-ваго достойно удивленія».

Дневные записки малороссийского подскарбія генерального Якова Марковича. Ч. II. Стр. 44. М. 1859.

3) Харьковскій уѣздъ, большая часть Эміевскаго и прилежащія части Волчансаго и Валковскаго.

болѣе чувствовали сотрясенія, нежели въ другихъ частяхъ города. По частнымъ извѣстіямъ, землетрясеніе въ Одессѣ, въ одно время съ нашимъ произшедшее, было продолжительное (около 2 минутъ) и болѣе сильное, отъ котораго многіе дома незначительно потерпѣли. Таганрогъ, Николаевъ, Москва, Полтава, Курскъ, Тамбовъ, Екатеринославъ, Воронежъ представляютъ также потрясеніе въ одно время съ нашимъ. Степень силы была не вездѣ равномѣрна: гдѣ болѣе плотное образованіе земли, смѣшанной съ желѣзною рудою, тамъ оно было ощутительнѣе. Наблюденіе, мною сдѣланное надъ магнитною стрѣлкою во время самаго землетрясенія, было весьма занимательно: она безпрерывно двигалась на своей оси и притомъ съ значительной быстротою; сѣверный ея полюсъ обращался на югъ, а южный на сѣверъ; по окончаніи землетрясенія, она вскорѣ приняла свое обыкновенное положеніе, однако съ наклоненіемъ сѣвернаго полюса ея къ низу.

За пѣсколько дней было замѣчено почти безпрерывное движеніе ртути въ барометрѣ; 11 числа Января утромъ, качаніе ртути сдѣлалось такъ часто, что не возможно было опредѣлить съ точностью ея высоту; она замѣчена была въ $30\frac{3}{10}$ Англійскихъ дюймовъ. Передъ землетрясеніемъ ртуть спустилась на $30\frac{40}{100}$ дюймовъ; эту высоту она удерживала и на другой день до 10 часовъ утра. Термометръ въ минуту землетрясенія показывалъ 20 градусовъ морозу. Атмосфера была безоблачная и воздухъ совершенно тихъ.

При этомъ явленіи въ Харьковѣ не произошло никакихъ несчастныхъ случаевъ; въ штукатуркѣ нѣкоторыхъ домовъ оказались трещины. Внутри домовъ всѣ мебели были сильно потрясены; люстры приведены въ колебаніе, а раскрытыя двери и ставни въ движение; въ нѣкоторыхъ домахъ остановились часы. Въ минуту сотрясенія былъ слышанъ крикъ домашнихъ птицъ и лай испуганныхъ собакъ¹⁾.

Кромѣ этихъ трехъ случаевъ есть упоминаніе еще о трехъ землетрясеніяхъ въ 1829, 36 и 76 гг. (Гусевъ. Историко справочный путеводитель, стр. 14), о которыхъ мы не имѣемъ никакихъ данныхъ, вслѣдствіе чего и самое указаніе подвержено сомнѣнію, тѣмъ болѣе, что и проф. Калениченко о нихъ не упоминаетъ²⁾.

Такимъ образомъ, землетрясенія 1738 и 1838 гг., о которыхъ мы имѣемъ болѣе определенныя свѣдѣнія, оба являются, повидимому, отголосками какихъ-то сотрясеній съ обширною областью распространенія, совершенно не похожихъ на описанное нами.

¹⁾ И. Калениченко. Землетрясеніе въ Харьковѣ. Харьковскія Губернскія Вѣдомости. 1838. № 5. Прибавленіе. Стр. 48—9.

²⁾ Багалѣй и Миллеръ. Исторія г. Харькова. Т. II. Харьковъ 1912. Стр. 87.

Обратимся теперь къ метеорологическимъ даннымъ, касающимся захваченной сотрясеніемъ площиади.

Купянскъ. 1913.	Вѣтеръ.	Температура.
7. VIII..... 7 ^h а. м.	W2	17.2
	NNE2	23.4
	NW4	16.6
8. VIII..... 7 ^h а. м.	W2	16.8
	S2	22.0
	S2	17.0

Барометрическихъ показаній для Купянска мы не имѣемъ, ближайшій же барографъ Харьковской Университетской Обсерваторіи отмѣтилъ слѣдующее направлениe барометрическаго давленія:

Харьковъ. 6. VIII..... 11^h р. м. — 748.2 — непрерывное повышеніе
до 748.6 — 10 VIII. 10.^h 3 а. м.

Болѣе подробно приводимъ мы количество осадковъ въ Купянскомъ уѣздѣ, которое представляетъ значительныя уклоненія отъ нормы.

Общее количество осадковъ лѣтомъ 1912 года было выше средняго, а лѣтомъ 1913 года еще возрасло настолько, что для восточныхъ уѣзовъ Харьковской губ. (въ томъ числѣ Купянскій) отклоненіе отъ нормы достигло въ іюнѣ + 34%, а въ іюль + 92%¹⁾.

Попытаемся теперь выяснить геологическое строеніе области землетрясенія.

Въ основаніи всей площиади, захваченной землетрясеніемъ, лежитъ толща пишущаго мѣла, которая, вмѣстѣ съ мѣловыми мергелями, простирается далеко за предѣлы Харьковской губерніи и обнаруживается во многихъ пунктахъ Купянского и всѣхъ смежныхъ уѣзовъ (Волчансаго, Змievскаго, Изюмскаго, Старобѣльскаго — Харьковской губ. и Валуйскаго Воронежской губ.) естественными обнаженіями, въ другихъ буровыми скважинами²⁾.

1) Труды Метеорологич. сѣти Харьк. Земства. 1913 г. Стр. 124, 149.

2) Н. Борисякъ. Сборникъ материаловъ, относящихся до геологии Южной Россіи. Харьковъ 1867. Стр. 18 слл.

И. Леваковскій. Изслѣдованіе осадковъ мѣловой и слѣдующихъ формаций между

Осадки.

	IV.	V.	VI.	VII.	VIII. 1—8	VIII.							
						1	2	3	4	5	6	7	8
Лимань-Тополи.													
Среднее за 8 лѣтъ . . .	27.1	28.9	52.5	51.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1912.	28.3	60.4	99.3	27.3	0.0	—	—	—	—	—	—	—	—
1913.	30.3	16.6?	68.6	106.6	3.2	—	—	—	—	—	—	3.2	—
Купянскъ.													
Среднее за 17 лѣтъ . . .	37.0	41.4	64.1	36.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1912.	43.5	66.6	102.8	46.6	4.0	—	—	—	—	4.0	—	—	—
1913.	15.6	50.4	75.1	99.3	24.3	—	3.6	—	—	—	—	14.7	6.0
Вишневый Садъ.													
Среднее за 9 лѣтъ . . .	36.4	26.9	59.4	51.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1912.	44.4	54.1	73.6	69.0	0.7	—	0.5	—	—	0.2	—	—	—
1913.	7.5	91.0	69.5	85.9	48.8	—	20.0	—	—	1.5	—	27.3	—

Трещиноватость пшищущаго мѣла, отмѣченная нами выше, (стр. 305) представляетъ собою явленіе весьма распространенное и во всѣхъ смеж-

Днѣпромъ и Волгой. Труды Общ. Исп. Прир. при Имп. Харьк. Унив. Т. VII. 1873. Стр. 123—4 и др.

Ѳ. М. Женжуристъ. Отчетъ о геологической экскурсіи въ Воронежскую губ. въ 1884 году. Ibid. XIX. 1885. Стр. 48 слл.

ІІ. П. Пятницкій. Изслѣдованіе мѣловыхъ осадковъ въ бассейнѣ р. Дона и лѣвыхъ притоковъ р. Днѣпра. Ibid. XXIV. 1889. Стр. 95 слл., 135—6 и др.

А. В. Гуровъ. Развѣдочное артезіанско буреніе на подмѣловую воду въ Харьковѣ. Труды VIII Сѣзда Естествоисп. 1890. Отд. 4, стр. 8 слл.

Труды экспедиціи Лѣсн. Департ. подъ руков. проф. Докучаева. Т. I, вып. 2. I. Выдринъ и Н. Сибирцевъ. Старобѣльскій участокъ. С.-Пб. 1894. Стр. 36—7, геологич. профиль.

ІІ. Земятченскій. Старобѣльскій уѣздъ Харьковской губ. въ геологическомъ, гидрологическомъ и почвенномъ отношеніи. С.-Пб. 1900. Стр. 66—7.

ІІ. Армашевскій. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 46-й. Труды Геол. Комит. Т. XV, № 1. 1903. Стр. 174 слл.

А. Борисякъ. Геологический очеркъ Изюмского уѣзда. Труды Геол. Комит. н. с. вып. 3. 1905, Стр. 262 слл.

ныхъ областяхъ, и результатомъ ея является часто ясно выраженная параллелепипедальная отдельность¹⁾.

Вследствіе этой трещиноватости мѣловая толща, какъ известно, нерѣдко заключаетъ въ себѣ богатыя водяныя жилы, а иногда служить даже хорошимъ водоноснымъ горизонтомъ²⁾.

Условія залеганія мѣла и мощность его въ Купянскомъ уѣздѣ недостаточно выяснены въ литературѣ.

Въ сѣверной части Изюмского уѣзда по изслѣдованіямъ Наливкина и Борисяка³⁾ мѣловые отложения образуютъ широкую мульду, захватывающую и Купянскій уѣздъ, ось которой имѣетъ направление съ СЗ на ЮВ. Наиболѣе пониженнная часть мульды, прорѣзаемой теченіемъ Оскола, выполнена третичными отложеніями, и мѣль между с. Комаровкою Изюмского у. и Сеньковымъ Купянского у. не выходитъ на дневную поверхность.

Неизвестно, въ какомъ отношеніи находится эта мульда къ громадной мѣловой мульдѣ, которая по мнѣнію цѣлаго ряда изслѣдователей, обоснованному лучше всего Оппоковымъ, выходя изъ Полтавы проходитъ черезъ Киевскую, Черниговскую и Полтавскую въ Харьковскую губернію, параллельно течению Днѣпра на этомъ протяженіи, т.-е. съ СЗ на ЮВ⁴⁾.

1) В. Зуевъ. Путешественныя записки. С.-Пб. 1787. Стр. 172—3.

Н. Борисякъ, I. с. 26—7.

П. П. Пятницкій. Бассейнъ рр. Псла и Ворсклы въ предѣлахъ Курской и Харьковской губ. Труды Общ. Исп. Прир. при Имп. Харьк. Унив. Т. XXII. 1888. Стр. 155—6, 168, 177—9.

Пятницкій. Изслѣд. мѣл. осадк. Стр. 136.

Выдринъ и Сибирцевъ, I. с. 37. Земятченскій, I. с. 67.

А. А. Дубянскій. Предварит. отчетъ о геол. изслѣд. въ Богучарскомъ у. Воронежск. губ., въ предѣлахъ 75 листа. Проток. Общ. Ест. при Имп. Юрьевск. Унив. 1907. Т. XVI, вып. 3, стр. 210.

И. Н. Чирвинскій. Геологическое строеніе правобережной полосы по р. Сейму въ предѣлахъ Курской губ. Зап. Киевск. Общ. Естествоисп. Т. XXIII. 1913. Стр. 86.

2) Гуровъ, I. с. 11.

Земятченскій, I. с. 97—8.

И. Синцовъ. О буровыхъ и копанныхъ колодцахъ казенныхъ винныхъ складовъ. Записки Имп. С.-Пб. Минерал. Общ. Т. XLIII. 1905. Стр. 5, 23, 25, 26, 85.

М. Васильевскій. Предвар. отчетъ объ изслѣдованіяхъ въ центр. части 60-го листа. Изв. Геол. Комит. Т. XXX. 1911. Стр. 71.

Чирвинскій, I. с. 128.

Б. Лихаревъ. Прееварит. отчетъ о геологич. изслѣд. въ сѣв.-зап. части 61-го листа. Изв. Геол. Комит. Т. XXXII, 1913, стр. 360.

3) А. Борисякъ. Послѣднія изслѣд. В. А. Наливкина въ Изюмск. у. Изв. Геол. Ком. XIX. 1900. Стр. 465—6. Онъ же I. с. 197, 260.

4) К. М. ѡеофилактовъ. Къ вопросу объ артезіанскихъ колодцахъ въ Киевѣ. Зап. Киевск. Общ. Естеств. Т. VIII, вып. 2. 1889. Стр. XVII.

Гуровъ, I. с. 10, 14.

Е. В. Оппоковъ. Рѣчные долины Полтавской губ. ч. I. С.-Пб. 1901. Стр. 125, 179. Листъ 1-й. Тоже Е. В. Оппоковъ. Къ вопросу о способѣ образов. рѣчныхъ долинъ въ обл. средн. Приднѣпр. Ежег. Геол. и Минер. Россіи. Т. VIII. 1905—6. Стр. 74. Табл. IV.

Однако интересующее насъ съверо-восточное крыло Купянской мульды, повидимому, служить продолженiemъ того же крыла упомянутой большой поднѣпровской мульды. Дѣйствительно, если мы по примѣру П. Я. Армашевскаго и П. Н. Чирвинскаго¹⁾ соединимъ прямой два пункта, въ которыхъ мощность мѣла, повидимому, достигаетъ наибольшей величины и подошва мѣла залегаетъ на одной глубинѣ отъ уровня моря: Бахмачь (—224 саж.) и Харьковъ (около—220 саж.²⁾) то получимъ прямую того же СЗ-ЮВ направления, которая при продолженіи пересѣчетъ какъ разъ южную часть Купянского уѣзда, гдѣ по наблюденіямъ Наливкина и проходитъ наиболѣе пониженнaya часть Купянской мульды. Если толща мѣла и не достигаетъ здѣсь той мощности, какъ въ Харьковѣ, то, при небольшомъ разстояніи отъ него, едва ли особенно сильно утончается.

Къ СВ отъ линіи наибольшей глубины мощность мѣловой толщи по мнѣнію всѣхъ изслѣдователей убываетъ и въ то же время обѣ поверхности ея поднимаются. Однако не оконченная буровая скважина Харьковскаго Губернскаго Земства въ Сватовой Лучкѣ³⁾, заложенная на высотѣ около + 90 саж. встрѣтила мѣломергельную толщу на глубинѣ 33 саж. отъ поверхности, и пройдя въ ней свыше 130 саж. не достигла еще подошвы мѣла (на абсолютной глубинѣ — 73 саж.).

На основаніи этихъ, хотя и недостаточныхъ данныхъ, можно полагать, что въ центрѣ Купянского уѣзда подошва мѣла лежитъ на значительной глубинѣ (до 200 саж.) отъ поверхности.

Что касается причины описанного землетрясенія, то, я полагаю, съ наибольшей вѣроятностью можно отнести его къ категоріи денудаціонныхъ землетрясеній, именно, считать его землетрясеніемъ обвалнымъ (Einsturzbeben).

Правда, площадь, на которой ощущался толчекъ, для землетрясенія, вызванного обваломъ, сравнительно очень велика (не говоря уже о другихъ причинахъ денудаціонного характера, напримѣръ оползняхъ), однако землетрясеніе носить въ то же время чисто мѣстный характеръ. Такъ, несмотря на значительную силу толчка, онъ совершенно не былъ отмѣченъ даже ближайшими къ мѣсту землетрясенія сейсмическими станціями: въ Харьковѣ

П. Армашевскій. О вѣкот. буровыхъ скваж. г. Киева. Зап. Кіевск. Общ. Естеств. т. XV, вып. 1. Стр. L—LI.

1) Армашевскій, I. с. 175.

Чирвинскій, I. с. 117 слн.

2) Оппоковъ (I. с. 157) принимаетъ глубину равной — 228,8 саж. По Синцову же (О буров. и коп. колодц. каз. вин. скл. Зап. Минер. Общ. XLIII. 1905. Стр. 5 и XLVI 1908. Стр. 123) абсолютная глубина подошвы мѣла въ скважинѣ казенного винного склада оказывается равной — 210,9 саж.

3) По неопубликованнымъ даннымъ.

(горизонтальные маятники Rebeur-Paschwitz'a), где я имѣлъ возможность ознакомиться съ сейсмограммой этого дня, и въ Макѣевкѣ Обл. Войска Донск. (аперiodические маятники кн. Б. Б. Голицына)¹⁾.

Геологическія данныя дѣлаютъ это объясненіе вполнѣ вѣроятнымъ. Незначительная область распространенія толчка при большой силѣ его указываетъ на сравнительно ничтожную глубину центра землетрясенія, до которой, повидимому, достигаетъ толща мѣла, имѣющая въ срединѣ сейсмической области значительное развитіе. Въ то же время трещиноватость мѣла создаетъ благопріятныя условія для образованія подземной полости, могущей рано или поздно повлечь къ обвалу кровли.

Большое количество атмосферныхъ осадковъ, выпавшее въ теченіе двухъ мѣсяцевъ, предшествовавшихъ землетрясенію, могло послужить благопріятнымъ моментомъ для такого обвала.

Въ заключеніе считаю долгомъ принести свою искреннюю благодарность проф. П. Н. Чирвинскому и проф. Б. К. Доссу за нѣкоторыя руководящія указанія, а также П. В. Иванову, Г. Ф. Попову и всѣмъ другимъ лицамъ, которымъ я обязанъ доставленіемъ свѣдѣній, послужившихъ материаломъ для настоящей статьи.

Харьковъ. Университетъ.
Геологический Кабинетъ.



¹⁾ Макѣевка. Еженедѣльный бюллетьнъ сейсмической станціи. 1913 г. № 18.

Къ статьѣ А. Федоровскаго:

Землетрясение въ Купянскомъ уѣздѣ 8. VIII. 1913.

