

## О работахъ кн. Б. Б. Голицына по сейсмологіи.

Академика А. Н. Крылова.

(Докладъ въ засѣданіи сейсмической комиссіи, посвященномъ памяти князя Б. Б. Голицына).

Труды князя Бориса Борисовича Голицына по сейсмологіи и, главнымъ образомъ, по измѣрительной ея части—сейсмометріи составляютъ цѣлую литературу, заключаая свыше 60 названій оригинальныхъ его статей и изслѣдованій.

Въ краткомъ очеркѣ было бы невозможно охарактеризовать ихъ, но Борисъ Борисовичъ рукой мастера собралъ значительную часть своихъ изслѣдованій въ стройное цѣлое—„Лекціи по сейсмометріи“,—обозрѣніемъ которыхъ я и ограничусь.

Землетрясенія приписываются или подземнымъ *взрывамъ* (вулканическія), или *обваламъ* во внутреннихъ пустотахъ земли, или *сдвигамъ* слоевъ горныхъ породъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ происходитъ нарушеніе равновѣсія внутреннихъ частей земли въ нѣкоторой области, называемой *очагомъ* землетрясенія. Отъ этого очага по толщѣ земного шара распространяются упругія колебанія, которыя, достигнувъ поверхности земли, и вызываютъ ея сотрясеніе. Эти сотрясенія могутъ по своей величинѣ и скорости быть самыхъ разнообразныхъ размѣровъ, начиная отъ разрушающихъ прочнѣйшія сооруженія и кончая столь незначительными, что надо точнѣйшіе и чувствительнѣйшіе приборы для ихъ воспріятія.

Теорія упругости показываетъ, что отъ очага землетрясенія могутъ распространяться двѣ системы упругихъ колебаній:

1<sup>o</sup>) *Продольныхъ*, или волнь расширеній и сжатій, и 2<sup>o</sup>) *поперечныхъ*, т.-е. волнь сдвиговъ.

Изученіе законовъ распространенія этихъ волнь составляетъ первую изъ задачъ теоретической сейсмологіи.

Простѣйшіе изъ полученныхъ результатовъ слѣдующіе:

1<sup>o</sup>) Скорости распространенія продольныхъ и поперечныхъ волнь различны, при чемъ отношеніе первой ко второй близко къ  $\sqrt{3}$ , т.-е. 1,73.

2<sup>o</sup>) Кромѣ волнь, распространяющихся черезъ толщу земли, по ея поверхности бѣгутъ, такъ называемыя, поверхностныя, или длинныя

волны большого периода. Скорость их распространения составляет около 0,91 скорости бѣга поперечныхъ волнъ; а такъ какъ эта послѣдняя въ верхнихъ слояхъ земли близка къ 4 кил. въ секунду, то скорость поверхностныхъ волнъ составляетъ около 3,6 килом., скорость продольныхъ—около 7,5 кил.

Для каждой изъ системъ волнъ, идущихъ черезъ толщѣ земли будетъ и своя система лучей, т.-е. нормалей къ соответствующимъ волновымъ поверхностямъ. Эти лучи расходятся изъ очага землетрясения подобно лучамъ свѣта отъ источника такового и слѣдуютъ аналогичнымъ законамъ преломленія и отраженія, и если допустить, что земля состоитъ изъ концентрическихъ слоевъ, каждый изъ которыхъ обладаетъ повсюду одинаковою пластичностью и одинаковыми упругими свойствами, то ходъ луча по толщѣ земли будетъ представлять полную аналогію съ ходомъ свѣтового луча черезъ толщѣ атмосферы, и основное его свойство выражается тѣмъ же самымъ уравненіемъ, которое является основнымъ въ теоріи астрономической рефракціи, т.-е. что произведеніе показателя преломленія слоя на радиусъ этого слоя и на синусъ зенитнаго разстоянія есть величина постоянная.

Для луча сейсмическаго роль показателя преломленія играетъ отношеніе скоростей распространения сейсмическихъ волнъ въ разсматриваемыхъ слояхъ, вмѣсто же зенитнаго разстоянія разсматривается его дополненіе—именно такъ называемый уголъ выхода луча, считаемый отъ горизонта.

Подобно тому, какъ въ вопросѣ объ астрономической рефракціи разнаго рода гипотезы о строеніи атмосферы приводятъ къ различному выраженію рефракціи, такъ и въ вопросѣ о распространеніи сейсмическихъ лучей имѣетъ основное значеніе функція, выражающая зависимость упругихъ свойствъ и плотности слоевъ отъ ихъ разстоянія до центра земли; но въ то время, какъ въ астрономіи для провѣрки той или иной гипотезы о строеніи атмосферы служитъ лишь согласіе или несогласіе наблюдаемой рефракціи и вычисленной, здѣсь имѣется еще второй критерій—скорость распространения волнъ, которая также доступна наблюденіямъ.

Разсмотрѣніе вопроса „о сейсмической радіаціи“, на которой указано въ предыдущихъ словахъ, убѣдило Бориса Борисовича, что съ теоретической стороны, въ смыслѣ изученія распространения сейсмическихъ лучей, имѣетъ первостепенное значеніе *точное* измѣреніе перемѣщеній точекъ земной поверхности и скоростей этихъ перемѣщеній и притомъ для перемѣщеній весьма малыхъ, т.-е. производимыхъ волнами, прошедшими весьма значительную толщѣ земного шара. Отдѣлъ сейсмометріи, „который изучаетъ различныя свойства сейсмическихъ лучей“,—говоритъ онъ въ своихъ лекціяхъ,—„открываетъ на основаніи наблюдательнаго матеріала, собраннаго на различныхъ

сейсмическихъ станціяхъ, путь къ изученію физическихъ свойствъ самыхъ глубокихъ внутреннихъ слоевъ земли“.

„Сейсмическіе лучи идутъ къ намъ изъ самыхъ нѣдръ земли и несутъ съ собою вѣсточку о ея внутреннихъ свойствахъ и особенностяхъ“.

„Подобно тому, какъ свѣтовые лучи, идущіе къ намъ изъ мірового пространства, даютъ намъ указанія о химическомъ составѣ и отчасти о температурѣ и давленіи, господствующихъ на различныхъ небесныхъ тѣлахъ, а въ комбинаціи съ принципомъ Доплера даютъ возможность опредѣлить и скорость ихъ движенія по направленію луча зрѣнія, такъ и сейсмическіе лучи даютъ намъ ключъ къ разгадыванію сокровенныхъ тайнъ внутренняго строенія земли и именно на такихъ глубинахъ, которыя по своей недоступности совершенно изъяты изъ области изслѣдованій современной геологіи“.

Но не въ одномъ чисто научномъ изслѣдованіи совершенно недоступныхъ областей внутри земли видѣлъ Борисъ Борисовичъ задачи сейсмометріи.

„Особеннаго вниманія заслуживаетъ, конечно, тщательное изученіе различныхъ явленій, *предшествующихъ* землетрясеніямъ, дабы могла явиться возможность предсказывать съ большей или меньшей вѣроятностью наступленіе землетрясеній“, и онъ намѣчаетъ затѣмъ различные пути къ „рѣшенію этой задачи, имѣющей громадное практическое значеніе въ смыслѣ сохраненія человѣческихъ жизней и разнаго рода имущества“.

Можетъ быть, увѣренность въ этихъ практическихъ приложенияхъ дала возможность Борису Борисовичу убѣдить въ нихъ законодательныя учрежденія и получить необходимыя средства на организацию сѣти сейсмическихъ станцій.

Основное требованіе, которое Борисъ Борисовичъ ставитъ къ сейсмометрамъ, выражено въ слѣдующихъ словахъ: „для раціональнаго изученія различныхъ сейсмическихъ явленій надо отъ показанія приборовъ переходить всегда къ истиннымъ движеніямъ поверхности земли, такъ какъ только на этомъ фундаментѣ и могутъ основываться дальнѣйшіе успѣхи сейсмометріи“.

Изученіе имѣвшихся типовъ сейсмографовъ показало Борису Борисовичу, что необходимо расчленивъ задачу и измѣрять слагающія или проекціи перемѣщенія на три взаимно перпендикулярныя оси, изъ коихъ одна вертикальная.

Борисъ Борисовичъ началъ затѣмъ изученіе горизонтальных маятниковъ, какъ съ теоретической стороны, такъ и съ практической.

Въ своихъ изслѣдованіяхъ онъ ограничился разсмотрѣніемъ случаевъ „малыхъ колебаній“, наиболѣе важныхъ для изученія сейсмическихъ лучей.

При такомъ ограниченіи задача приводится къ изученію „малыхъ колебаній“ тѣла съ одною степенью свободы около положенія его устойчиваго равновѣсія, при чемъ главное вниманіе необходимо удѣлится „вынужденнымъ колебаніямъ“, ибо они находятся въ опредѣленномъ соотношеніи съ колебаніями почвы, производящими ихъ, а эти то послѣднія и требуется найти.

Свободныя колебанія, налагаясь на вынужденныя, лишь усложняютъ даваемую приборами запись, поэтому устраненіе ихъ весьма важно. Это устраненіе достигается совершеннѣе всего введеніемъ сопротивленія „*пропорціональнаго первой степени скорости*“; такое сопротивленіе съ полною точностью дается магнитнымъ путемъ, т.-е. токами, индуктируемыми въ пластинкѣ красной мѣди, движущейся въ магнитномъ полѣ перпендикулярно къ линіямъ его силъ.

Такимъ образомъ, обстоятельно проведенный подробный математическій анализъ привелъ Бориса Борисовича сперва къ устройству горизонтальнаго маятника съ оптической регистраціей и магнитнымъ затуханіемъ, доведеннымъ до аперіодичности.

Но Борисъ Борисовичъ на этомъ не остановился, а слѣлалъ шагъ далѣе и, можно сказать, шагъ окончательный въ дѣлѣ конструкціи сейсмометровъ.

Анализируя способы записи обычныя, т.-е. „механической“ и „оптической“, онъ обратилъ вниманіе на третій способъ—„гальванометрической“, въ которомъ записывается не величина, пропорціональная относительному перемѣщенію груза маятника и фундамента его, а пропорціональная величина скорости этого перемѣщенія.

Этимъ достигается цѣлый рядъ весьма важныхъ практически преимуществъ, какъ то: независимость записи отъ положенія равновѣсія прибора, возможность вынести запись въ отдѣльное отъ маятника помѣщеніе, сколь угодно отъ него далекое, возможность помѣщать маятникъ въ пустотѣ, достиженіе высшей степени чувствительности и пр. Разработка теоріи горизонтальнаго маятника съ магнитнымъ затуханіемъ и гальванометрической записью проведена Борисомъ Борисовичемъ съ исчерпывающей полнотой, самое же осуществленіе прибора произведено съ изумительнымъ конструкторскимъ талантомъ.

Исслѣдованіе распространенія сейсмическихъ лучей приводитъ къ установленію опредѣленной зависимости между угломъ выхода луча и полною длиною его хода отъ эпицентра до мѣста выхода. вмѣстѣ съ тѣмъ, самая форма луча, глубина низшей его точки, средняя скорость распространенія колебаній находятся также въ опредѣленной зависимости отъ плотности и упругихъ свойствъ тѣхъ слоевъ земли, черезъ которые лучъ проходитъ. Отсюда ясна важность опредѣленія угла выхода, а значитъ и вертикальной слагающей перемѣщеній точекъ земной поверхности. Для этой цѣли служитъ вертикальный сей-

смометръ, теорія котораго разработана Борисомъ Борисовичемъ съ такою же исчерпывающею полнотою, какъ и горизонтальнаго маятника; и на основаніи этой разработки имъ построенъ вертикальный сейсмометръ съ магнитнымъ затуханіемъ и гальванометрической записью, отличающійся такими же достоинствами, какъ и горизонтальный маятникъ его конструкции.

Такимъ образомъ, два взаимно перпендикулярныхъ горизонтальныхъ маятника, установленныхъ одинъ въ плоскости меридіана, другой въ плоскости перваго вертикала, и одинъ вертикальный маятникъ даютъ всѣ три взаимно перпендикулярныя слагающія перемѣщенія мѣста ихъ установки при сейсмическихъ колебаніяхъ.

Достоинства приборовъ Бориса Борисовича, устроенныхъ, какъ видно, на подробно и точно разработанныхъ теоретическихъ основаніяхъ, оказались настолько превосходными, что они не только приняты для нашихъ сейсмическихъ станцій, но и многія заграничныя станціи, убѣдившись въ точности Пулковскихъ сейсмическихъ наблюденій, завели и у себя приборы Бориса Борисовича, съ которыми не могли равняться приборы заграничныхъ системъ, несмотря на гораздо болѣе сложное устройство и громоздкость.

Какъ уже сказано, скорость распространенія продольныхъ и поперечныхъ волнъ различная. Первыми приходятъ продольныя волны, и на сейсмограммѣ ясно виденъ моментъ вступленія волнъ или начала колебаній, условно обозначаемый буквою *P* (*undae primae*). Вступленіе поперечныхъ волнъ, отмѣчаемое буквою *S*, сказывается болѣе или менѣе рѣзкимъ измѣненіемъ характера записи приборовъ.

Разность моментовъ *S—P* даетъ возможность сейчасъ же опредѣлить разстояніе до эпицентра, который въ первомъ приближеніи, въ виду сравнительно небольшой глубины очага землетрясенія, можетъ быть принятъ за источникъ колебаній. Для этого опредѣленія разстояній составлены особыя таблицы или кривыя.

Ясно, что по извѣстнымъ разстояніямъ до двухъ станцій опредѣляются *два* точки земной поверхности, которыя могли бы служить эпицентромъ. Разстояніе до третьей станціи рѣшаетъ вопросъ.

Но Борисъ Борисовичъ не удовольствовался такимъ рѣшеніемъ, хотя имъ и много сдѣлано для детальной его разработки, онъ пошелъ значительно далѣе.

Точность показаній приборовъ его системы давала возможность по двумъ горизонтальнымъ слагающимъ перемѣщенія опредѣлить его азимуть, а значитъ и направленіе, по которому достигъ разсматриваемой точки сейсмическій лучъ; такимъ образомъ, вдобавокъ къ разстоянію получается и азимуть эпицентра, и значитъ по наблюденіямъ *одной* станціи находится и положеніе эпицентра.

Эти опредѣленія по приборамъ Бориса Борисовича и по методѣ,

имъ указанной, имъ разработанной во всѣхъ деталяхъ, пользуясь, на-примѣръ, данными Пулковской сейсмической станціи, оказываются столь же точными, какъ и по показаніямъ нѣсколькихъ станцій, и область, въ которой находится эпицентръ, получается въ предѣлахъ нѣсколькихъ десятковъ верстъ, при разстояніи до него въ нѣсколько тысячъ верстъ, иногда свыше 10000.

Это одно уже можетъ дать нѣкоторое представленіе о достоинствахъ приборовъ Бориса Борисовича, если вспомнить, что смѣщенія почвы, наблюдаемыя при такихъ отдаленныхъ отъ Пулкова землетрясеніяхъ, выражаются десятиями долями миллиметра, и значить продолженная на разстояніе тысячъ верстъ гипотенуза треугольника, коего катеты имѣють длину въ десятые доли миллиметра, указываетъ иско-мое мѣсто эпицентра.

Но Борисъ Борисовичъ не остановился и на этомъ: онъ проникъ своимъ умственнымъ взоромъ въ самую толщу земной коры и указалъ методу, какъ по анализу записей его приборовъ судить о глубинѣ залеганія самага очага землетрясенія. Надъ этимъ вопросомъ онъ работалъ въ самое послѣднее время, и два его сообщенія Парижской Академіи напечатаны въ „Comptes Rendus“ уже послѣ его столь безвременной кончины.

Всѣ упомянутые выше приборы необыкновенной чувствительности и точности предназначены для записи ничтожно малыхъ колебаній, далеко отъ очага.

Но землетрясенія вблизи очага проявляются иногда тѣми катастрофами, память о которыхъ сохраняется вѣками.

О разрушительной силѣ землетрясеній послѣдствія ея дѣйствія не даютъ возможности имѣть точнаго численнаго сужденія, и сила землетрясенія оцѣнивалась баллами, врядъ ли между собою сравнительными въ виду полной субъективности такой оцѣнки.

Борисъ Борисовичъ предложилъ и разработалъ динамическую шкалу, въ которой можно было судить по опрокидыванію параллелограммовъ разныхъ размѣровъ, поставленныхъ стоймя, о величинѣ ускореній, которымъ они подвергались, чтобы такимъ образомъ сдѣлать оцѣнку изъ субъективной объективною.

И здѣсь, разъ поставивъ себѣ задачу, Борисъ Борисовичъ прелѣдовалъ и изыскивалъ ея рѣшенія до конца.

О силѣ судять по ускоренію, ею сообщаемому данной массѣ, Борисъ Борисовичъ и построилъ приборъ для непосредственнаго измѣренія ускореній, воспользовавшись свойствами кварца электризоваться при измѣненіи давленія, коему онъ подвергается.

Приборъ этотъ могъ бы получить широкое примѣненіе и въ другихъ областяхъ, кромѣ сейсмометріи—именно въ морскомъ и артиллерійскомъ дѣлѣ,—и Морское Вѣдомство обратилось къ Борису Бори-

совичу съ просьбою построить приборъ его системы, удовлетворяющій опредѣленнымъ заданіямъ, предоставляя въ его распоряженія и соотвѣтствующія средства, но эти работы прервались при самомъ ихъ началѣ.

Не знаю, сумѣлъ ли я показать, что имя Бориса Борисовича неизгладимо вписано въ лѣтописи всемірной науки, какъ самостоятельнаго творца въ ней цѣлой новой области.

---