

О работахъ кн. Б. Б. Голицына по сейсмології.

Академика А. Н. Крылова.

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

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

Въ краткомъ очеркѣ было бы невозможно охарактеризовать ихъ, но Борисъ Борисовичъ рукой мастера собралъ значительную часть своихъ изслѣдований въ стройное цѣлое—„Лекціи по сейсмометрії“,—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 происходит нарушение равновѣсія внутреннихъ частей земли въ нѣкоторой области, называемой *очагомъ* землетрясенія. Отъ этого очага по толще земного шара распространяются упругія колебанія, которые, 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:

1⁰) *Продольныхъ*, или волнъ расширеній и сжатій, и 2⁰) *поперечныхъ*, т.-е. волнъ сдвиговъ.

Изученіе законовъ распространенія этихъ волнъ составляетъ первую изъ задачъ теоретической сейсмології.

Простѣйшіе изъ полученныхъ результатовъ слѣдующіе:

1⁰) Скорости распространенія продольныхъ и поперечныхъ волнъ различны, при чмъ отношеніе первой ко второй близко къ $\sqrt{3}$, т.-е. 1,73.

2⁰) Кромѣ волнъ, распространяющихся черезъ толщу земли, по ея поверхности бѣгутъ, такъ называемыя, поверхностныя, или длинныя

волны большого периода. Скорость ихъ распространенія составляетъ 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 толщу земли будеть и своя система лучей, т.-е. нормалей къ соответствующимъ волновымъ поверхностиямъ. Эти лучи расходятся изъ очага землетрясения подобно лучамъ свѣта отъ источника такового и слѣдуютъ аналогичнымъ законамъ преломленія и отраженія, и если допустить, что земля состоить изъ концентрическихъ слоевъ, каждый изъ которыхъ обладаетъ повсюду одинаковою пластичностью и одинаковыми упругими свойствами, то ходъ луча по толщѣ земли будеть представлять полную аналогію съ ходомъ свѣтового луча черезъ толщу 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 сейсмического роль показателя преломленія играетъ отношеніе скоростей распространенія сейсмическихъ волнъ въ рассматриваемыхъ слояхъ, вместо же зенитнаго разстоянія рассматривается 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 приводять къ различному выражению рефракціи, такъ и въ вопросѣ о распространеніи сейсмическихъ лучей имѣть 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 служить лишь согласіе или несогласіе наблюденной рефракціи и вычисленной, здѣсь имѣется еще второй критерій—скорость распространенія волнъ, которая также доступна наблюденіямъ.

Разсмотрѣніе вопроса „о сейсмической радиаціи“, на которой указано въ предыдущихъ словахъ, убѣдило Бориса Борисовича, что съ теоретической стороны, въ смыслѣ изученія распространенія сейсмическихъ лучей, имѣть 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 толщу земного шара. Отдѣлъ сейсмометріи, „который изучаетъ различные свойства сейсмическихъ лучей“,—говорить онъ въ своихъ лекціяхъ,—„открываетъ на основаніи наблюдательнаго материала, собраннаго на различныхъ

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

„Сейсмические 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 Допплера даютъ возможность опредѣлить и скорость ихъ движенія по направленію луча зрењія, такъ и сейсмические лучи даютъ намъ ключъ къ разгадыванію сокровенныхъ тайнъ внутренняго строенія земли и именно на такихъ глубинахъ, которыхъ по своей недоступности совершенно изъяты изъ области изслѣдований современной геологии“.

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

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

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

Основное требование, которое Борисъ Борисовичъ ставитъ къ сейсмограммѣ, выражено въ слѣдующихъ словахъ: „для рациональнаго изученія различныхъ сейсмическихъ явлений 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 расчленить задачу и измѣрять слагающія или проекціи перемѣщенія на три взаимно перпендикулярныя оси, изъ коихъ одна вертикальная.

Борисъ Борисовичъ началъ затѣмъ изученіе горизонтальныхъ 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 ограниченні задача приводится къ изученію „малыхъ колебаній“ тѣла съ одною степенью свободы около положенія его устойчиваго равновѣсія, при чёмъ главное вниманіе необходимо удѣлить „вынужденнымъ колебаніямъ“, ибо они находятся въ определенномъ 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 совершенѣемъ всего введеніемъ сопротивленія „пропорциональной первой степени скорости“; такое сопротивленіе съ полной точностью дается магнитнымъ путемъ, т.-е. токами, индукируемыми въ пластинкѣ красной мѣди, движущейся въ магнитномъ полѣ перпендикулярно къ линіямъ его силъ.

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

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

Анализируя способы записи обычные, т.-е. „механическій“ и „оптическій“, онъ обратилъ вниманіе на третій способъ—„гальванометрическій“, 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 практическихъ 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, достижение 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.

Изслѣдованіе распространенія сейсмическихъ лучей приводить къ установлению опредѣленной зависимости между угломъ выхода луча и полной 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 проходить. Отсюда ясна важность опредѣленія угла выхода, а значитъ и вертикальной слагающей перемѣщеній точекъ земной поверхности. Для этой цѣли служить вертикальный сей-

смометръ, теорія котораго разработана Борисомъ Борисовичемъ съ та-кою же исчерпывающею полнотою, какъ и горизонтальнаго маятника; и на основаніи этой разработки имъ построенъ вертикальный сейсмо-метръ съ магнитнымъ затуханіемъ и гальванометрической записью, отличающійся такими же достоинствами, какъ и горизонтальный маят-никъ его конструкціи.

Такимъ образомъ, два взаимно перпендикулярныхъ горизонталь-ныхъ маятника, установленныхъ одинъ въ плоскости меридіана, дру-гой въ плоскости первого 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 основа-ніяхъ, оказались настолько превосходными, что они не только при-няты для нашихъ сейсмическихъ станцій, но и многія заграничныя станціи, убѣдившись въ точности Пулковскихъ сейсмическихъ наблю-деній, 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 по-перечныхъ волнъ различная. Первыми приходятъ продольные 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 опре-дѣлить разстояніе до эпицентра, который въ первомъ приближеніи, въ виду сравнительно небольшой глубины очага землетрясенія, мо-жетъ быть принять за источникъ колебаній. Для этого опредѣленія разстояній составлены особыя таблицы или кривыя.

Ясно, что по извѣстнымъ разстояніямъ до двухъ станцій опре-дѣляются *две* точки земной поверхности, которые могли бы служить эпицентромъ. Разстояніе до третьей станціи решаетъ вопросъ.

Но Борисъ Борисовичъ не удовольствовался такимъ решеніемъ, 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 азимутъ, а значитъ и направление, по которому достигъ разматривающейся точки сейсмической линии; такимъ образомъ, вдобавокъ къ разстоянію получается и азимутъ эпицентра, и значитъ по наблюде-ніямъ *одной* станціи находится и положеніе эпицентра.

Эти опредѣленія по приборамъ Бориса Борисовича и по методѣ,

имъ указанной, имъ разработанной во всѣхъ деталяхъ, пользуясь, напримѣръ, 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 тысячи верстъ, иногда свыше 10000.

Это одно уже можетъ дать нѣкоторое представление о достоинствахъ приборовъ Бориса Борисовича, если вспомнить, что смыщенія почвы, наблюдаемыя при такихъ отдаленныхъ отъ Пулкова землетрясеніяхъ, выражаются десятыми долями миллиметра, и значитъ продолженная на разстояніе тысячу верстъ гипотенуза треугольника, коего катеты имѣютъ длину въ десятыхъ доляхъ миллиметра, указываетъ искомое мѣсто эпицентра.

Но Борисъ Борисовичъ не остановился и на этомъ: онъ проникаль своимъ умственнымъ взоромъ въ самую толщу земной коры и указалъ методу, какъ по анализу записей его приборовъ судить о глубинѣ залеганія самого очага землетрясенія. Надѣ 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 сравнимыми въ виду полной субъективности такой оцѣнки.

Борисъ Борисовичъ предложилъ и разработалъ динамическую шкалу, въ которой можно было судить по опрокидыванію параллелопипедовъ 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 преступалъ и изыскивалъ ея рѣшенія до конца.

О силѣ судить по ускоренію, ею сообщаемому данной массѣ, Борисъ Борисовичъ и построилъ приборъ для непосредственного 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 артиллерийскомъ дѣлѣ,—и Морское Вѣдомство обратилось къ Борису Бори-

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

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