

## Основоположник современной сейсмологии Борис Борисович Голицын (1862–1916 гг.): к 150-летию со дня рождения

А. В. Пономарев<sup>1</sup> и А. Я. Сидорин<sup>1</sup>

Получено 9 октября 2012 г.; опубликовано 13 ноября 2012 г.

Кратко описаны деятельность на различных постах и основные научные достижения академика князя Б. Б. Голицына (1862–1916 гг.) в области сейсмологии. В самом начале XX века он создал и широко внедрил в практику наблюдений сейсмографы на основе преобразования сейсмического сигнала в электрический. Последовавшие за этим изменения в сейсмометрии без какого-либо преувеличения можно назвать революционными. Сейсмология превратилась в точную науку, базирующуюся на данных инструментальных наблюдений, появилась возможность изучения очага и природы землетрясений, сейсмических волн, сейсмичности и внутреннего строения Земли строгими физико-математическими методами. Б. Б. Голицын разработал математическую теорию сейсмических лучей и расчета истинных смещений почвы по записям сейсмических волн на сейсмограммах, и, используя в качестве экспериментальной основы результаты наблюдений с помощью разработанных сейсмографов, решил задачу определения эпицентра землетрясения по записям одной станции, разработал методы оценки сейсмической энергии, излучаемой очагом землетрясения, и изучения внутреннего строения Земли по значениям угла выхода продольных волн на дневную поверхность, обнаружил не известные ранее границы раздела в недрах Земли. Он детально исследовал свойства микросейсмических колебаний, сформулировал концепции сейсмической разведки и инженерной сейсмологии, предложил программу исследований по поиску предвестников землетрясений, создал сеть сейсмических станций страны, а также решил много других важных задач. Вклад Б. Б. Голицына в сейсмологию столь велик, что его считают основоположником этой науки. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Сейсмология; сейсмометрия; основоположник; Б. Б. Голицын.

**Ссылка:** Пономарев, А. В. и А. Я. Сидорин (2012), Основоположник современной сейсмологии Борис Борисович Голицын (1862–1916 гг.): к 150-летию со дня рождения, *Вестник ОНЗ РАН*, 4, NZ6001, doi:10.2205/2012NZ000114.

*Я оставляю почти совершенно в стороне геологическую сторону вопроса, тем более, что не могу считать себя в этой области достаточно компетентным, но буду рассматривать явление, вызываемое землетрясением, почти исключительно только с физической точки зрения.* **Б. Б. Голицын**

### 1. Б. Б. Голицын – физик и государственный деятель

Борис Борисович Голицын родился 2 марта 1862 г. в Санкт-Петербурге, он принадлежал к одному из самых древних и знатных княжеских родов России. Б. Б. Голицын закончил Морское училище и Морскую акаде-

мию, причем и в училище, и в академии его фамилия, как отличника учебы, была выгравирована на мраморных досках золотыми буквами. После окончания академии в чине мичмана он участвовал в длительном морском походе. После выхода в отставку в 1887 г. поступил на физико-математический факультет Страсбургского университета. Успешно защитил диссертацию “О законе Дальтона” с присуждением докторского диплома высшей степени – Summa cum laude. После возвращения в Россию преподавал в Московском и Юрьевском (Дерптском) университетах. В 1893 г. представил к защите магистерскую диссертацию “Исследования по математиче-

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия



**Борис Борисович Голицын**  
1862–1916

ской физике”. Диссертация содержала ряд принципиально новых положений, опередивших свое время, и подготовила базу для появления квантовой механики. Лауреат Нобелевской премии М. Планк писал, что работа Б. Б. Голицына стала для него ценным подарком.

С 1894 года и до конца своих дней Борис Борисович был директором Физического кабинета (лаборатории) Императорской академии наук, на основе которого позже был создан Физический институт АН СССР. В 1913 году Б. Б. Голицын был избран еще и директором Главной физической обсерватории. На этом посту он внес большой вклад в метеорологию, оставил “в этой науке... глубокий и плодотворный след”. Он значительно увеличил объем научных исследований, организовал синоптическое отделение, начал работы по долгосрочным прогнозам, создал Главное военно-метеорологическое управление, а саму обсерваторию преобразовал в Главную геофизическую обсерваторию, существенно изменив сферу ее деятельности [Сидорин, 2002а].

С 1907 г. и до конца жизни Б. Б. Голицын был председателем Ученого комитета министерства земледелия и “благодаря неустанным трудам кн. Голицына, комитет поставлен на такую высоту, что вся сельскохозяйственная Россия прислушивается к его голосу”. Б. Б. Голицын

принял самое деятельное участие в организации и был заместителем председателя Комиссии по изучению естественных производительных сил России, которая оказала большое влияние на систему организации науки в последующие годы. Он был членом Совета Русского географического общества, председателем Российского физико-химического общества и Минералогического общества, возглавлял Комиссию по изучению полярных стран и ряд других комиссий и обществ.

Князь Б. Б. Голицын был не только крупным ученым, но и видным государственным и общественным деятелем. В 1899–1905 гг. он руководил Экспедицией заготовления государственных бумаг (ЭЗГБ) – одним из крупнейших предприятий со штатом более 4 тыс. человек и громадным денежным оборотом. На этом посту самое пристальное внимание он уделил технической модернизации предприятия, провел крупные социальные реформы, добился существенного повышения производительности труда и превратил близкое к банкротству предприятие в весьма доходное.

Заслуги Б. Б. Голицына в создании отечественной авиации столь велики, что его часто называют основателем русского воздушного флота. По его инициативе на Русско-Балтийском заводе в 1912 г. началось производство аэропланов, а в качестве главного конструктора приглашен И. И. Сикорский, занимавший эту должность до 1917 г., а позже ставший крупнейшим авиаконструктором в США.

В течение нескольких лет князь Б. Б. Голицын состоял гласным Городской думы и принимал участие в работах комиссии по народному образованию, разработал проект реформы образования, многие принципы которого реализовал в школе, открытой им при ЭЗГБ.

## 2. Деятельность Б. Б. Голицына как сейсмолога

Основным делом жизни Б. Б. Голицына стала сейсмология [Сидорин, 2002б]. Он стоял у истоков этой науки и заложил ее основы. Б. Б. Голицын считал основной задачей сейсмометрии определение истинных элементов движения почвы. Разработанная им общая теория горизонтального маятника с учетом всех шести компонент движения почвы была впервые представлена на заседании Императорской Санкт-Петербургской академии наук 16 января 1902 г. и том же году впервые в мире опубликована.

С именем Б. Б. Голицына связаны разработка строгой математической теории сейсмических лучей и расчет истинных смещений почвы по записям сейсмических волн. Он решил задачу определения эпицентра землетрясения по записям одной станции, причем предложенный Б. Б. Голицыным способ широко используется и по сей день. Он разработал метод определения положения эпицентра по данным двух станций, исследовал поляризацию сейсмических волн.

Б. Б. Голицын впервые выдвинул идею определения

энергии землетрясения по сейсмограмме и апробировал ее на примере Сарезского землетрясения 1911 г. Он предложил оценивать сейсмическую энергию, излучаемую очагом землетрясения, по плотности энергии колебаний в удаленной от эпицентра точке, пропорциональной отношению амплитуды колебаний к их периоду. Эта идея в настоящее время используется в различных магнитудных шкалах классификации землетрясений.

Б. Б. Голицын предложил оригинальный метод изучения внутреннего строения Земли по значениям угла выхода продольных волн на дневную поверхность. Он разработал теоретические основы этого метода и, используя данные наблюдений на Пулковской сейсмической станции, выявил границы изменения свойств Земли на глубинах 106, 232, 492 и 1444 км. Этот метод получил дальнейшее развитие в работах крупнейшего отечественного сейсмолога 1950–1970-х годов Е. Ф. Саваренского, который посвятил этой теме свою докторскую диссертацию.

Б. Б. Голицын разработал объективную макросейсмическую шкалу, в которой ускорение и сила землетрясения оценивались по опрокидыванию стоявших параллелепипедов разных размеров. Он впервые поставил задачу использования записей ускорений для расчета сейсмических воздействий на сооружения и проектирования эффективных мероприятий по их защите. Вскоре им был создан и детально исследован прибор для непосредственной регистрации ускорений. Принцип действия прибора базировался на оригинальной идее Б. Б. Голицына о возможности использования пьезоэффекта кварца для преобразования механических колебаний в электрические. Он исследовал колебания в различных точках 5-этажного здания и предложил конкретные меры повышения сейсмостойкости зданий и сооружений на этапе их проектирования [Голицын, 1909а].

Б. Б. Голицын выполнил детальные исследования микросейсмических колебаний, обнаружил, что “усиление микросейсмических колебаний предшествует появлению циклона”, и высказал предположение о возможности использования этого явления для прогноза циклонов. Он разработал первую научную программу исследований по прогнозу землетрясений в России и начал ее реализацию. Б. Б. Голицын считал, что землетрясения возникают в результате накопления в горных породах упругих напряжений. Именно поэтому он предусматривал “систематическое исследование медленных смещений одних горных пород по отношению к другим, обнаруживающихся в брадисейсмических явлениях у поверхности Земли”. Понятно, что речь идет о проведении регулярных геодезических наблюдений. Предусматривался также инструментальный мониторинг скоростей сейсмических волн, дебата источников и некоторых других параметров. Для реализации программы он разрабатывал специальную аппаратуру и модели возникновения предвестников.

Б. Б. Голицын считал, что “скорости распространения продольных и поперечных волн должны в значительной мере зависеть от физических свойств верхних слоев Земли” и на этой основе разработал концепцию сейсморазведки. Б. Б. Голицын внес существенный вклад в разработку ряда других важнейших вопросов сейсмологии, в частности, он писал о возможности проявления

на сейсмограммах собственных колебаний Земли, отмечал сильное “влияние свойств подпочвы на записи прибором”, объяснил причину возникновения землетрясений накоплением в упругих напряжениях, предположил возможность триггерных эффектов сейсмичности, и др.

В 1910 г. Голицын разработал проект новой организации сейсмической службы. В мае 1910 г. были выделены средства на строительство Главной сейсмической станции, начато ее строительство, а в июле того же года утвержден законопроект о выделении средств на реорганизацию сейсмической службы России.

Разработанный Голицыным проект сыграл исключительно важную роль в развитии отечественной сейсмологии. Проектом предусматривалось проведение инструментальных сейсмических наблюдений на территории России сетью сейсмических станций, включающих в себя Центральную сейсмическую станцию в Пулкове, 7 сейсмических станций первого и 17 – второго разряда. Был детально проработан состав аппаратного оснащения станций.

Реализация проекта шла невиданно быстрыми темпами. В 1910 г. Центральным бюро был успешно осуществлен набор кадров для сейсмических станций. Для набранных сотрудников Б. Б. Голицын прочитал обширный курс лекций по сейсмометрии, И. И. Вилип и П. М. Никифоров провели практические занятия по сейсмометрии. В 1911 г. было закончено строительство Центральной сейсмической станции в Пулкове, она была оборудована новой аппаратурой и с 1 января 1912 г. начался выпуск еженедельного бюллетеня. В 1913 г. вводом в эксплуатацию станции 1-го разряда в Екатеринбурге было закончено создание предусмотренных проектом семи станций первого разряда.

К 1914 г. реализация проекта была близка к завершению. На всех введенных в эксплуатацию в соответствии с проектом станциях было размещено новое, более совершенное оборудование, осуществлялся выпуск еженедельных бюллетеней. Форма бюллетеня не менялась вплоть до 1928 г. Возобновилось издание “Бюллетеня ПЦСК”. Всего по проекту было введено в эксплуатацию 14 сейсмических станций второго разряда. Сейсмическая служба России заняла лидирующее положение в мире.

### 3. Вклад Б. Б. Голицына в развитие сейсмометрии

Б. Б. Голицын оставил заметный след в самых разных областях сейсмологии, но наибольшее влияние он оказал на развитие сейсмометрии.

#### 3.1. Преобразование сейсмического сигнала в электрический и гальванометрическая регистрация

С самого начала деятельность Б. Б. Голицына в сейсмологии привела к революционным изменениям в

различных областях этой науки. Главное достижение Б. Б. Голицына относится к сейсмометрии. Он понял бесперспективность дальнейшей модернизации столь популярных в Европе, особенно в Германии, сейсмографов с регистрацией на закопченную бумагу: “Механический способ регистрации, требующий при значительном увеличении употребления больших масс, чрезвычайно неудобен, так как соответствующие сейсмографы становятся очень неуклюжими и громоздкими” [Голицына, 1912].

Уже в 1902 г. Б. Б. Голицын разработал прибор принципиально нового типа – на основе преобразования перемещения маятника в электрический сигнал. Он использовал магнитоэлектрический способ преобразования, суть которого состояла в следующем. К стержню горизонтального маятника прикрепляются плоские индукционные катушки из тонкой изолированной проволоки, помещенные между полюсами двух постоянных магнитов. При движении маятника катушки перемещаются в магнитном поле, и в них индуцируется электрический сигнал, пропорциональный угловой скорости движения маятника относительно основания сейсмографа.

Предложенное Б. Б. Голицыным преобразование сейсмического сигнала в электрический имело колоссальное значение для сейсмологии и обеспечило ее бурное развитие. Разработанные по этому принципу сейсмографы обладали чрезвычайно высокими характеристиками и широко применялись не только при решении классических задач сейсмологии, но и в новых разделах прикладной сейсмологии. Именно преобразование сейсмического сигнала в электрический обеспечило стремительное совершенствование сейсмической аппаратуры во второй половине XX века на основе достижений электроники. Были значительно улучшены метрологические характеристики аппаратуры, расширен частотный и динамический диапазоны регистрации. Помимо гальванометрической регистрации, стало возможным использовать магнитную запись, сначала аналоговую, а позже и цифровую. По мере развития вычислительной техники появилась возможность ввода сейсмических сигналов в компьютеры, стали развиваться новые методы сейсмологических исследований, например на основе группирования сейсмоприемников.

Следующим изобретением Б. Б. Голицына, неразрывно связанным с только что рассмотренным, было использование для записи индуцированного в катушках сигнала оптической регистрации на равномерно движущейся светочувствительной бумаге с помощью зеркального гальванометра. К основным достоинствам предложенного принципа построения сейсмографа относятся: простота, отсутствие трения и увеличительных рычагов, возможность достижения огромной чувствительности, а также регулировки увеличения в широких пределах, многократное уменьшение массы маятника по сравнению с приборами с механической регистрацией, повышение качества фотозаписи за счет более близкого (по сравнению с обычными сейсмографами с оптической регистрацией) расположения зеркала гальванометра и фотобумаги, возможность регистрации на значительном удалении от сейсмического датчика, существенно мень-

шее влияние дрейфа сейсмометра, возможность параллельной регистрации на одной ленте сигналов сразу с нескольких датчиков.

### 3.2. Новые способы демпфирования собственных колебаний маятников

После создания Э. Вихертом прибора с затуханием, в дальнейшем во все сейсмографы в Германии стало вводиться затухание, причем исключительно воздушное. Такой способ обеспечения затухания имел несколько серьезных недостатков, главные из них следующие: зависимость затухания от амплитуды колебаний маятника; необходимость тщательной регулировки; температурная нестабильность. Б. Б. Голицын уже в 1902 г. одновременно с разработкой рассмотренных выше новых принципов сейсмических наблюдений предложил и новый принцип обеспечения затухания маятников – электромагнитный. Суть предложенного им способа состояла в том, что к горизонтальному маятнику прикреплялась медная пластина, которая при движении маятника перемещалась в магнитном поле электромагнита. Чем больше ток в электромагните, тем сильнее затухание. Важно, что при таком способе затухание пропорционально угловой скорости перемещения маятника.

Впоследствии Б. Б. Голицын заменил электромагнит постоянными магнитами. Связанная с этим история весьма интересна. В феврале 1907 г. Б. Б. Голицын посетил Германию и познакомился с состоянием сейсмологических работ в этой стране. В его отчете об этой командировке большое внимание уделено затуханию. Уже на первой странице он пишет, что в Германии используются однообразные приборы, “непреренно снабженные затуханием”. И через две строки: “Необходимость снабжения сейсмографов затуханием в Германии общепризнанная аксиома” [Голицына, 1907г, с. 1]. Он отмечает, что “пользуются исключительно только воздушным затуханием”, причем “проявляется тенденция увеличивать затухание”.

Особый интерес у Б. Б. Голицына вызвали опыты известного немецкого сейсмолога Геккера в Потсдаме и весьма авторитетного механика Боша в Страсбурге по введению “магнитного затухания от постоянных магнитов, но оба не получили удовлетворительных результатов. Познакомившись с их приспособлениями, я прихожу к заключению, что затухание у них было нецелесообразным образом устроено. Мои новые опыты в этом направлении с сильными постоянными магнитами... дали весьма удовлетворительные результаты: я достигал аperiodичности без всякого затруднения” [Голицына, 1907г, с. 2].

Этот случай еще раз подтверждает талант Б. Б. Голицына как экспериментатора. Чуть ниже он снова возвращается к вопросу о затухании, отмечая, что записи, получаемые с помощью маятников Милна, у которых отсутствует затухание, “имеют для решения вопроса о распространении землетрясений весьма малую ценность. По той же причине и записи русских станций имеют для германских сейсмологов сравнительно мало значения”.

Б. Б. Голицын активно пропагандировал необходимость демпфирования собственных колебаний маятников

не только в России, но и за рубежом. Так, на съезде Международной сейсмологической ассоциации, состоявшемся в сентябре 1907 г. в Гааге, он внес предложение, “чтобы в целях унификации и упрощения сейсмических наблюдений по возможности всюду маятники снабжались затуханием” [Голицын, 1907в].

### 3.3. Теория сейсмической регистрации и модернизация приборов Голицына

Как опытный физик, Б. Б. Голицын большое внимание уделял теоретическим вопросам регистрации сейсмических колебаний и восстановлению по полученным записям истинных перемещений почвы. Разработанная им общая теория горизонтального маятника с учетом всех шести компонент движения почвы впервые представлена в сжатом изложении на заседании Физико-математического отделения Императорской Санкт-Петербургской академии наук 16 января 1902 г. В том же году был опубликован и полный вариант теории [Galitzin, 1902].

Именно определение истинных элементов движения почвы Б. Б. Голицын назвал в качестве основной задачи сейсмометрии. Он писал: “Развитие сейсмометрии самым тесным образом связано с вопросом об определении абсолютных, истинных элементов движения точки земной поверхности во время землетрясений или при проявлении разных других сейсмических явлений. На эту сторону вопроса в прежнее время было обращено очень мало внимания, так как большей частью довольствовались рассмотрением относительного движения того или иного типа сейсмографа по отношению к поверхности Земли, и на основании такого наблюдательного материала делались уже соответственные заключения. Но такой путь, очевидно, совершенно неправилен и может, как мы увидим дальше, привести к совершенно неверным выводам. Для рационального изучения различных сейсмических явлений надо от показаний приборов переходить всегда к истинным движениям поверхности Земли, так как только на этом фундаменте и могут основываться дальнейшие успехи сейсмометрии” [Голицын, 1960, с. 72].

Далее, обозначив каждый из шести элементов истинного движения почвы в функции времени как  $x = f(t)$ , а относительное перемещение прибора по отношению к поверхности Земли как  $\xi = F(t)$ , Б. Б. Голицын строго формулирует основную задачу сейсмометрии: “Основная задача сейсмометрии и заключается именно в том, чтобы по известной функции  $\xi = F(t)$  найти неизвестную функцию  $x = f(t)$  за все время колебания почвы и притом отдельно для каждого из шести элементов движения”.

При разработке теории сейсмографа с гальванометрической регистрацией основная проблема возникла в связи с тем, что маятник и гальванометр представляют собой связанную систему. Б. Б. Голицын в результате ряда специально проведенных опытов по выявлению обратной реакции рамки гальванометра на маятник пришел к заключению, что эта реакция пренебрежимо мала. На этом основании он счел возможным не учитывать реакцию

гальванометра в дифференциальном уравнении движения маятника. Кроме того, для облегчения вычислений по сейсмограммам истинных движений почвы и упрощения с этой целью аналитического выражения частотной характеристики прибора (кривой увеличения) он ввел дополнительные ограничения (так называемые условия Голицына), а именно: маятник и гальванометр имеют равные периоды собственных колебаний (в частности, 12 с) и находятся на границе аперидичности. Б. Б. Голицын [Голицын, 1912] показал, что при соблюдении указанных условий увеличение сейсмографа с гальванометрической регистрацией есть функция отношения периодов сейсмических волн к периоду маятника и гальванометра. Разработанная Б. Б. Голицыным теория гальванометрической регистрации долгое время применялась в сейсмометрии без каких-либо изменений.

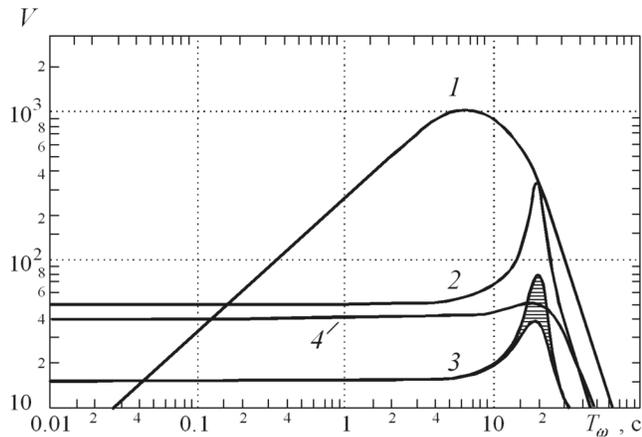
### 3.4. Платформа для испытаний и методика определения постоянных прибора

Для вычисления истинных смещений почвы по записям сейсмографа и решения ряда других задач необходимо знать собственные характеристики измерительной системы – значения постоянных сейсмических приборов. Уделяя этому вопросу большое внимание, Б. Б. Голицын писал: “Прежде чем приступить к созданию сейсмической станции, безусловно, необходимо подвергнуть тщательной экспериментальной проверке сейсмограф” [Голицын, 1912; Galitzin, 1902]. Поэтому одновременно с разработкой теории, конструированием и изготовлением собственно приборов, он разрабатывал методы и средства их калибровки, или определения постоянных.

Использование для исследования и калибровки сейсмографов подвижной вибрационной платформы Б. Б. Голицын впервые предложил в 1901 г., и в это же время по его проекту была построена первая такая платформа. На ней Б. Б. Голицын проводил тщательные исследования всех своих приборов. Чертежи платформы Б. Б. Голицын представил на заседании Постоянной центральной сейсмической комиссии 7 августа 1902 г., результаты первых выполненных с ней исследований – 5 марта 1903 г. Более поздние результаты изложены в работах [Galitzin, 1903, 1904].

На первом этапе исследований Б. Б. Голицын использовал равномерное синусоидальное движение платформы, а потом проводил эксперименты и с движениями произвольной формы, сообщаемыми платформе толчками руками при помощи рычага. В каждом эксперименте регистрировался характер движения не только испытуемого маятника, но и платформы. Сравнение двух кривых позволяло делать заключения о параметрах исследованного маятника.

Определение постоянных сейсмографов с гальванометрической регистрацией оказалось много сложнее, чем это было для приборов прямой регистрации. Одна из проблем была, в частности, связана с тем, что из-за изменения собственного периода маятника при удалении затухания не удавалось использовать традиционную методику калибровки по наблюдениям свободных колебаний



**Рис. 1.** Типичные характеристики сейсмографов с маятниками различной конструкции. Системы: 1 – Голицына с гальванометрической регистрацией; 2 – Ребер-Пашвица; 3 – Милна; 4 – тяжелый горизонтальный маятник системы Голицына с механической регистрацией и магнитным затуханием.

маятника. Это явление было обнаружено *Б. Б. Голицыным* [1912] и позже объяснено намагничиванием маятника. Борис Борисович разработал оригинальную методику определения постоянных разработанных им сейсмографов [Голицынь, 1912], предложил сложный шунт для изменения увеличения прибора без изменения формы частотной характеристики.

### 3.5. Внедрение сейсмографов в практику сейсмических наблюдений

Впервые о способах гальванометрической регистрации сейсмических сигналов и обеспечения электромагнитного демпфирования собственных колебаний маятника, а также о первых результатах их экспериментальной проверки *Б. Б. Голицын* доложил на заседании Постоянной центральной сейсмической комиссии 15 ноября 1902 г. [Голицынь, 1903а], причем доклад сопровождался демонстрацией разработанных приборов. Затем на заседании 5 марта 1903 г. *Б. Б. Голицын* сделал еще один доклад, дополненный новыми результатами [Голицынь, 1903б, 1904]. В 1903 г. отдельным изданием вышла большая работа с существенно более полным, чем в предыдущих работах, изложением теории и результатов экспериментального исследования гальванометрической регистрации [Galitzin, 1903], в следующем году она была опубликована в Известиях Постоянной центральной сейсмической комиссии [Galitzin, 1904]. Именно на эту последнюю из указанных публикаций обычно ссылаются в зарубежной литературе как на первое упоминание о способе гальванометрической регистрации. Как видим, в действительности *Б. Б. Голицын* опубликовал свои результаты еще в 1902 г.

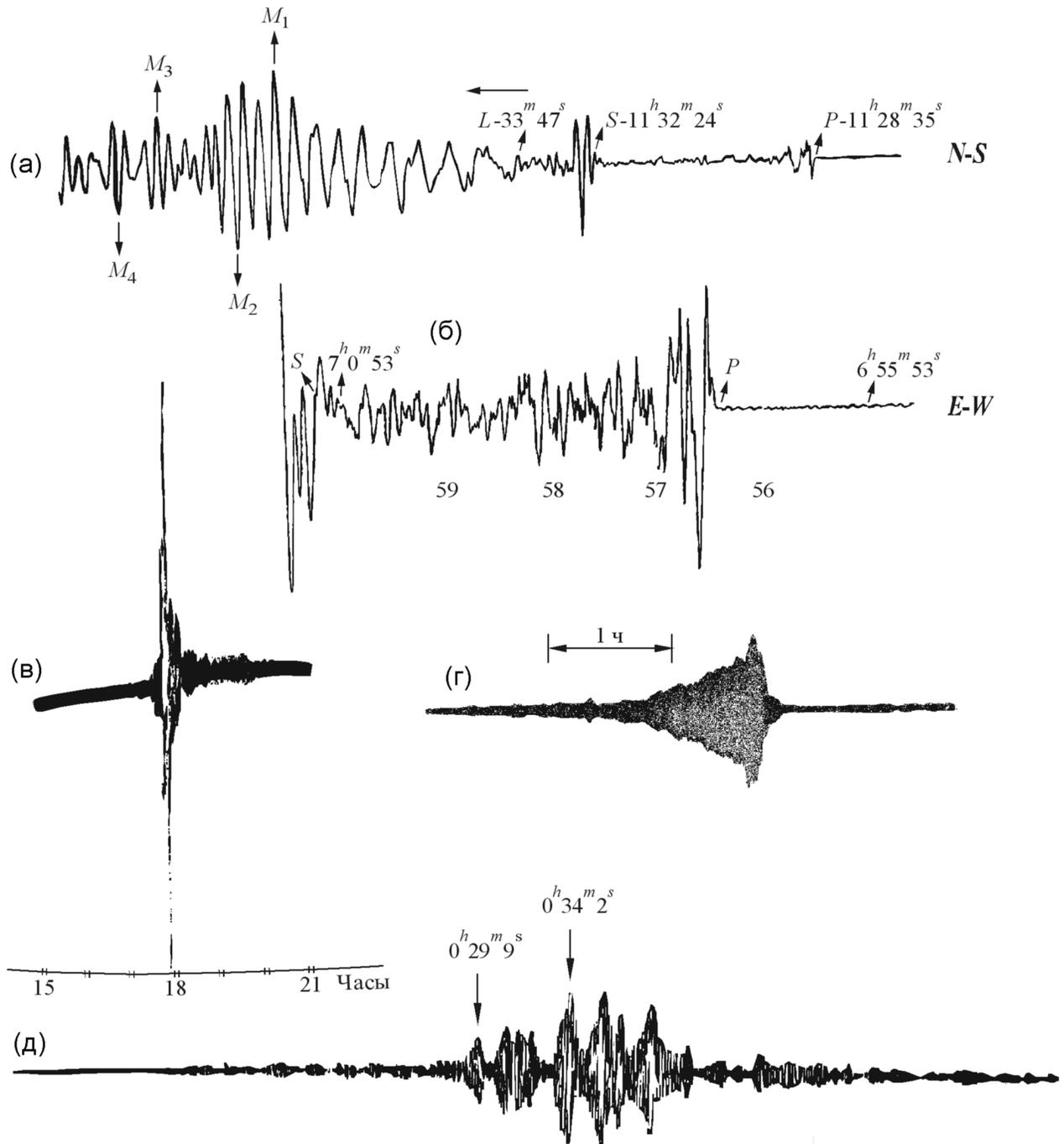
Для использования сейсмограмм при решении различных задач сейсмологии необходимо точно знать характеристики каждого прибора, поэтому *Б. Б. Голицын* уже на стадии разработки приборов особое внимание уделял обеспечению их стабильности и точной калибровки. Создал конструкцию, которая позволяла с большой точностью идентифицировать значения постоянных каждого прибора, он регулярно определял их и проводил, в случае необходимости, требуемые регулировки. В новой крупной работе [Galitzin, 1908] детально изложены основные теоретические и методические вопросы гальванометрической регистрации и описана разработанная им методика определения постоянных сейсмографов с гальванометрической регистрацией.

В июне 1904 г. *Б. Б. Голицын* информирует Центральную постоянную сейсмическую комиссию, что образец горизонтального сейсмографа с гальванометрической регистрацией и электромагнитным затуханием будет в ближайшее время установлен для экспериментальной регистрации в Юрьевской обсерватории. Этот эксперимент был проведен *А. Я. Орловым* и *И. И. Вилипом* в 1905 г., и именно его следует считать первым опытом практического применения сейсмографов с гальванометрической регистрацией.

Следующий этап внедрения приборов Голицына осуществлялся уже с учетом эксперимента в Юрьеве. 26 ноября 1906 г. образцы горизонтальных сейсмографов системы Голицына были установлены для пробной регистрации на опытной сейсмической станции, организованной по предложению *О. А. Баклунда* при Пулковской астрономической обсерватории. По своим параметрам они существенно превосходили все другие известные к тому времени сейсмографы. Для примера на Рис. 1 приведены типичные кривые увеличения сейсмографов Голицына, Ребер-Пашвица и Милна [Саваренский и др., 1961]. Кроме того, там же представлена характеристика разработанного *Б. Б. Голицыным* горизонтального сейсмографа с тяжелым маятником, механической регистрацией и магнитным затуханием, разработанного специально для оснащения сейсмических станций второго разряда.

Несомненные достоинства приборов системы Голицына сразу же стали очевидными [Голицынь, 1907б]: они обладали большими увеличениями и были просты в эксплуатации. Принятые значения постоянных обеспечивали очень отчетливые записи вступлений удаленных землетрясений, так как постепенный рост увеличения прибора по мере возрастания периодов в диапазоне до 8–15 с подчеркивал на сейсмограмме вступления волн S, периоды которых больше периодов P-волн. Очень отчетливо сейсмографами Голицына записывались и поверхностные волны с периодами до 30–40 с. Эти особенности приборов Голицына позволяли уверенно определять на полученных с их помощью сейсмограммах моменты вступления различных волн, что обеспечивало получение практически всего материала, необходимого для изучения телесейсмических событий.

На Рис. 2 представлены примеры записей, полученных разными сейсмографами [Голицынь, 1912; Dewey, Byerly, 1969; Milne, 1901; Reber-Paschwitz, 1889]. Этот рисунок очень наглядно демонстрирует преимущества сей-



**Рис. 2.** Примеры реальных сейсмограмм, записанных сейсмографами различных систем а, б – записи горизонтальным сейсмографом системы Голицына на станции Пулково землетрясений 9 февраля 1909 г. (а) и 13 января 1915 г. (б); в, г – записи прибором Ребер-Пашвица в Германии землетрясений в Токио 17 апреля 1899 г. (в) и в Сан-Франциско 14 апреля 1906 г. (г); д – запись сейсмографом Милна землетрясения 5 апреля 1901 г.

смограмм, записанных сейсмографами системы Голицына – например, на них надежно выявляются вступления волн P, S и L, а также отдельные максимумы  $M_1$ ,  $M_2$  и т. д.

Вместе с тем для регистрации близких землетрясений с более короткими периодами колебаний сейсмографы Голицына оказались менее пригодными: во-первых, они обладали значительно меньшим увеличением в коротко-

периодной части характеристики, во-вторых, в горизонтальных маятниках при вступлении короткопериодных волн в подвесе возбуждались паразитные колебания.

Сейсмографы конструкции Б. Б. Голицына сразу же завоевали всеобщее признание и стали устанавливаться на сейсмических станциях в различных странах мира, главным образом для регистрации телесеismicких событий. Известно, что уже в 1907 г. они стояли на многих крупных и всемирно известных станциях, например в Потсдаме и Страсбурге, а несколькими годами позже – в Париже, Франкфурте, Брюсселе, Лайбахе, Эскдейлмуре, Хельване. Английская фирма “Кембридж” начала серийное производство сейсмографов Голицына. Оценивая сейсмографы Голицына, академик А. Н. Крылов [1951] писал: “Разработка теории горизонтального маятника с магнитным затуханием и гальванометрической записью проведена Борисом Борисовичем с исчерпывающей полнотой, самое же осуществление прибора произведено с изумительным конструкторским талантом”.

С 28 ноября 1907 г. по 17 мая 1908 г. в Пулкове была проведена вторая серия наблюдений с использованием приборов Голицына. Ее цель состояла в сравнении записей трех почти апериодических сейсмографов различных систем и различной чувствительности между собой и с записями приборов в Геттингене. В результате было обнаружено “прекрасное согласие всех трех маятников” и сделан вывод, что “принципы, введенные в основание сейсмических наблюдений в Пулкове, а именно пользование апериодическими маятниками и гальванометрическим способом регистрации, вполне оправдались”. Хорошее согласие получилось при сравнении записей двух сопоставлявшихся в эксперименте станций.

С помощью сейсмографов Голицына в Пулкове начались рутинные наблюдения – стала осуществляться непрерывная регистрация сейсмических колебаний. Высокая чувствительность приборов Голицына обеспечивала получение высококачественных записей сейсмических колебаний от сильных землетрясений, происходивших во всех регионах мира. Сразу после начала первых испытаний своих приборов Б. Б. Голицыным оперативно публиковалась информация о наиболее примечательных сейсмических событиях (см., например, [Голицын, 1907а]), что значительно повышало интерес научного сообщества к сейсмологии.

После успешных испытаний сейсмографов с гальванометрической регистрацией в Юрьеве, и особенно в Пулкове, началось их массовое распространение. Приборами Голицына были оснащены практически все сейсмические станции России и практически одновременно многие станции за рубежом. Б. Б. Голицын на деле реализовывал следующий принцип: “При настоящем состоянии сейсмологии следует избегать работать с плохими и дешевыми приборами, которые очень часто ровно ничего не дают, а всячески стремиться пользоваться сейсмографами, имеющими действительно научное значение и дающими возможность перейти от записей на сейсмограммах к абсолютным смещениям земной поверхности в месте наблюдений” [Голицын, 1909б, с. 1030]. Сейсмографы Голицына более полувека оставались лучшими приборами для регистрации телесеismicких событий.

### 3.6. Вертикальный сейсмограф

Б. Б. Голицын предложил оригинальный метод изучения внутреннего строения Земли на основе изучения зависимости скорости распространения сейсмических волн от глубины, получаемой по данным измерения угла выхода сейсмических волн. Он развил теорию соответствия между эпицентральной расстоянием, направлением выхода продольных волн и характером изменения скорости сейсмических волн в недрах Земли. Для достаточно точного и надежного определения угла выхода волны необходимо было иметь на станции трехкомпонентную регистрацию идентичными и высокостабильными приборами.

Как было показано выше, уже в первые годы XX века Б. Б. Голицын создал адекватные обсуждаемой задаче горизонтальные сейсмографы. Но у него не было вертикального сейсмографа с теми же основными параметрами, прежде всего периодом и затуханием маятника, что у горизонтальных сейсмографов. При ухудшении чувствительности и уменьшении собственного периода маятника четкость первого вступления удаленного землетрясения и, следовательно, точность измерений быстро ухудшались.

Основная трудность практического создания такого прибора была обусловлена присущим всем вертикальным сейсмографам значительным температурным эффектом. При увеличении прибора порядка 100 единиц изменение температуры в помещении на сотые доли градуса приводило к изменению нуля записи на величину до десятков сантиметров [Голицын, 1912]. Никакими компенсаторами устранить этот эффект в достаточной мере не удавалось. Здесь следует отметить, что Голицын обнаружил влияние атмосферы непосредственно на маятники длиннопериодных сейсмографов и первым поместил маятник в вакуумированное пространство.

При гальванометрической регистрации статическая зависимость положения равновесия гальванометра от положения равновесия маятника отсутствует. При медленных изменениях положения равновесия маятника (а на практике при наблюдении даже самых элементарных превентивных мер температура всегда изменяется достаточно плавно) температурный эффект на записи приборов с гальванометрической регистрацией пренебрежимо мал, если вообще проявляется.

В 1910 г. Б. Б. Голицын создал вертикальный сейсмограф с гальванометрической регистрацией [Голицын, 1912], обладающий теми же характеристиками, что и горизонтальные сейсмографы аналогичной конструкции. Это позволило ему на практике приступить к определению азимута угла выхода сейсмических волн и изучению внутреннего строения Земли.

Уже по результатам первых испытаний вертикального сейсмографа Б. Б. Голицын [1912] отметил, что “такой сейсмограф прекрасно передает малейшие детали вертикальных смещений почвы. Но особенно ценные услуги он оказывает при определении точного момента начала первой фазы землетрясения Р (момент вступления первых продольных волн), особенно при удаленных эпицентрах. На соответствующих сейсмограммах момент Р обычно

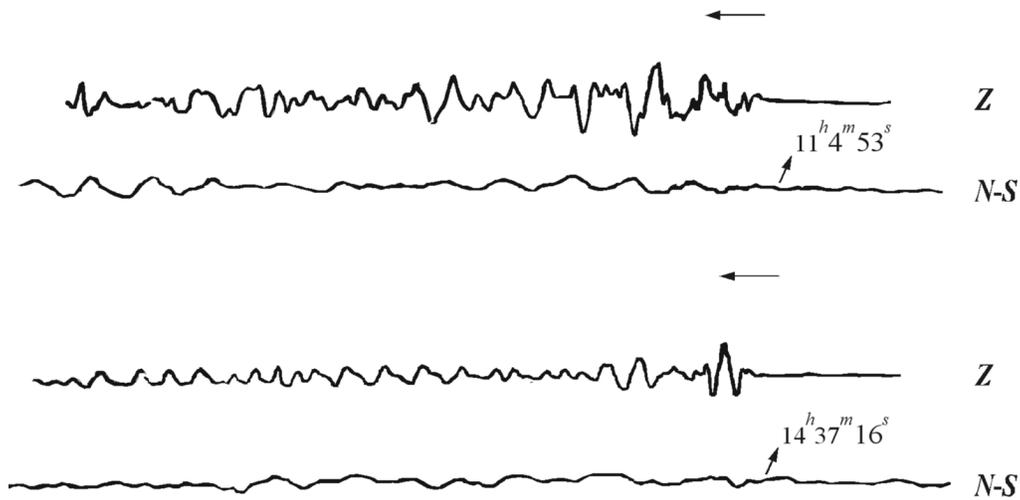


Рис. 3. Начальные участки сейсмограмм двух землетрясений 29 июня 1910 г.

венно бывает резко выражен, в виде внезапного уклонения прибора от положения равновесия, тогда как на сейсмограммах от горизонтального маятника соответствующая фаза часто бывает очень неотчетлива”. Эти слова Б. Б. Голицына иллюстрирует Рис. 3, на котором приведены копии начала двух сейсмограмм, полученных на станции Пулково 29 июня 1910 г. с помощью вертикального (Z) и горизонтального (составляющая N-S) сейсмографов.

На Рис. 4 приведены полученные на станции Пулково

записи вертикальных смещений почвы от землетрясения 9 сентября 1910 г. в районе Курильских островов. Хотя эпицентр землетрясения находился на расстоянии около 7500 км, амплитуда записи весьма велика, что свидетельствует о высокой чувствительности прибора.

Разработкой вертикального сейсмографа Б. Б. Голицын завершил создание трехкомпонентного комплекта сейсмографов с гальванической регистрацией. С помощью этих приборов на станции Пулково непрерывно регистрировались сейсмические волны от сильных земле-

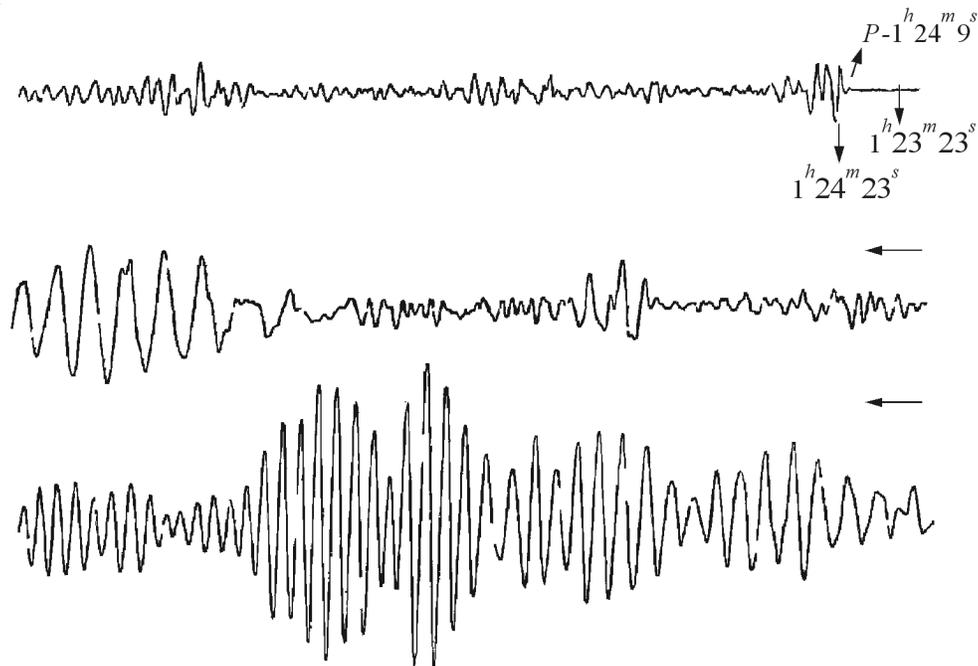
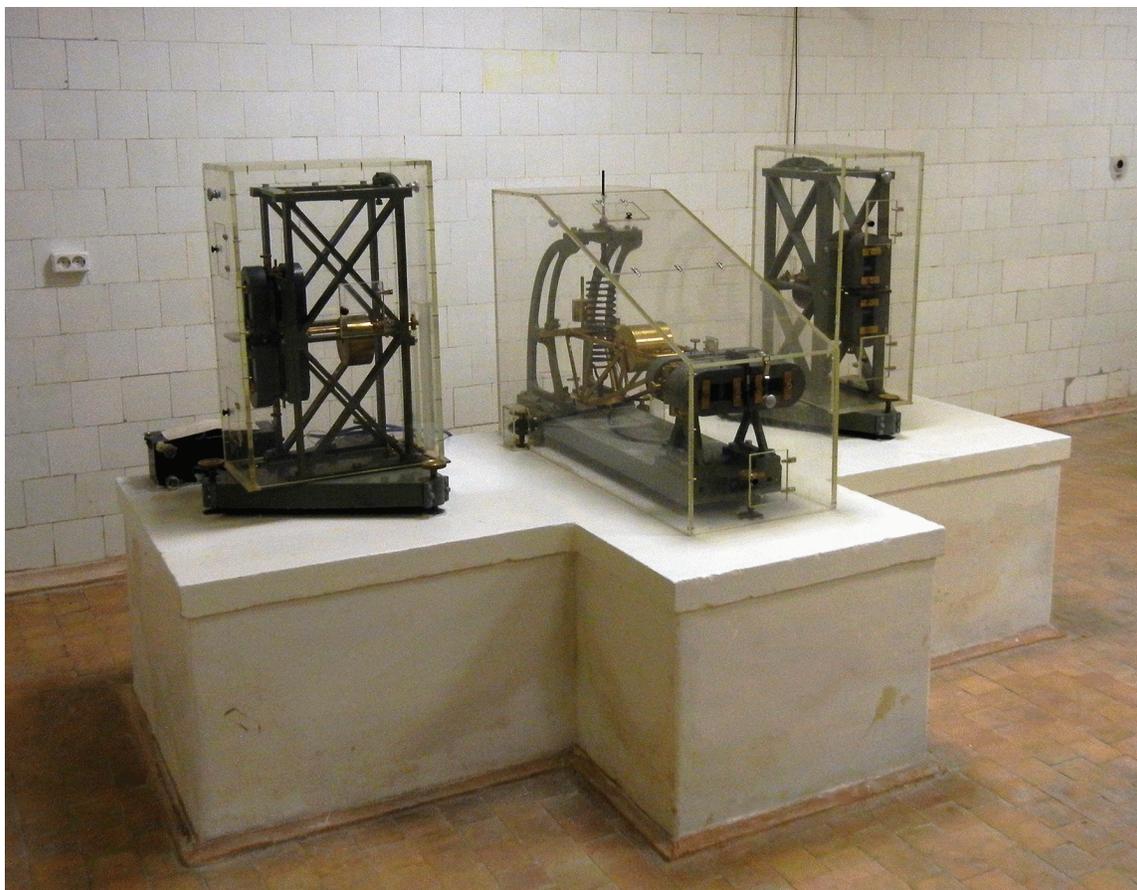


Рис. 4. Копии сейсмограмм землетрясения 9 сентября 1910 г. в районе Курильских островов. Нижние кривые – продолжение верхних, перерывы кривой – минутные метки.



**Рис. 5.** Мемориальный комплект сейсмографов Голицына на станции “Пулково”, 2012 г. Фото А. Я. Сидорина.

трясений из самых разных регионов мира. Высококачественные трехкомпонентные сейсмограммы, получаемые тщательно калиброванными приборами, позволяли Б. Б. Голицыну уверенно определять положение эпицентров и другие важнейшие характеристики происшедших землетрясений, разрабатывать новые методы сейсмологических исследований.

## Заключение

С именем академика князя Б. Б. Голицына связаны революционные изменения в сейсмометрии в начале XX века. Предложенное им преобразование сейсмического сигнала в электрический и создание гальванометрического способа регистрации сейсмических сигналов принципиально изменили стратегию дальнейшего развития сейсмометрической аппаратуры и организации сейсмических наблюдений.

Преобразование механической энергии сейсмических колебаний в энергию электрическую стало неотъемлемым элементом практически любого сейсмографа. Это позволило постоянно совершенствовать сейсмометрическую аппаратуру на основе использования достижений

электроники. На смену гальванометрической записи пришла запись магнитная, появились возможности ввода и обработки данных в компьютерах. Можно смело утверждать, что современный уровень развития сейсмометрической аппаратуры был бы невозможен без использования предложенного впервые Б. Б. Голицыным преобразования сейсмического сигнала в электрический.

Разработка теории и создание сейсмографов с гальванометрической регистрацией, использование магнитного демпфирования собственных колебаний маятников буквально мгновенно перевели сейсмометрию на принципиально новый уровень. Началась новая эра в развитии не только сейсмометрии, но и сейсмологии в целом, причем важнейшую роль в этом сыграли не только сейсмографы с гальванометрической регистрацией, но и сам Б. Б. Голицын.

Б. Б. Голицын разработал математическую теорию сейсмических лучей и расчета истинных смещений почвы по записям сейсмических волн на сейсмограммах и, используя в качестве экспериментальной основы результаты наблюдений с помощью разработанных сейсмографов, решил задачу определения эпицентра землетрясения по записям одной станции; разработал методы оценки сейсмической энергии, излучаемой очагом землетрясения, и изучения внутреннего строения Земли по значениям угла

выхода продольных волн на дневную поверхность; обнаружил не известные ранее границы раздела в недрах Земли. Он детально исследовал свойства микросейсмических колебаний, сформулировал концепции сейсмической разведки и инженерной сейсмологии, предложил программу исследований по поиску предвестников землетрясений, создал сеть сейсмических станций страны, а также решил много других важных задач. Вклад Б. Б. Голицына в сейсмологию столь велик, что его считают основоположником этой науки.

Умер Борис Борисович Голицын 17 мая 1916 г., простудившись на охоте.

## Литература

- Голицынъ, Б. Б. (1903а), Докладъ кн. Б. Б. Голицына на Сейсмической комиссиі 15 ноября 1902 г., *Изв. Пост. центр. сейсм. комиссиі*, I, вып. 2, 264–267.
- Голицынъ, Б. Б. (1903б), Докладъ кн. Б. Б. Голицына на Сейсмической комиссиі 5 марта 1903 г., СПб., Тип. Императ. Академіи наук, 9.
- Голицынъ, Б. Б. (1904), Докладъ кн. Б. Б. Голицына на Сейсмической комиссиі 5 марта 1903 г., *Изв. Пост. центр. сейсм. комиссиі*, I, вып. 3, 339–347.
- Голицынъ, Б. Б. (1907а), Обь открытіи Сейсмической станціи въ Пулковѣ, *Изв. Акад. наукъ, 6-я сер.*, I, 1, 25–27.
- Голицынъ, Б. Б. (1907б), Заметка о методахъ сейсмическихъ наблюденій. Отчетъ обь общемъ собраніи Международной Сейсмологической Ассоціаціи въ Гаагѣ въ сентябрѣ 1907 года, 6-я сер., *Изв. Акад. наукъ, I*, 2, 41–43.
- Голицынъ, Б. Б. (1907в), Отчетъ обь общемъ собраніи Международной Сейсмологической Ассоціаціи въ Гаагѣ въ сентябрѣ 1907 года, *Изв. Акад. наукъ, 6-я сер.*, I, 15, 636–644.
- Голицынъ, Б. Б. (1907г), *Работы по сейсмологіи въ Германіи. Докладъ кн. Б. Голицына Сейсмической Комиссиі 23-го февраля 1907 г.*, СПб., Тип. Императ. Академіи наук, 10.
- Голицынъ, Б. Б. (1908), Краткое сообщеніе о двухъ сейсмограммахъ, полученныхъ в Пулковѣ, *Изв. Акад. наукъ, 6-я сер.*, II, 7, 549.
- Голицынъ, Б. Б. (1909а), *Къ вопросу обь изслѣдованіи колебаній зданій*, СПб., Тип. Императ. Академіи наук, 53.
- Голицынъ, Б. Б. (1909б), Отчетъ о засѣданіяхъ Постоянной Комиссиі международной сейсмологической Ассоціаціи въ Церматѣ въ августѣ-сентябрѣ 1907 года, *Изв. Акад. наукъ, 6-я сер.*, II, 15, 1025–1038.
- Голицынъ, Б. Б. (1912), *Лекціи по сейсмометріи*, СПб., Тип. Императ. Академіи наук, 654.
- Голицынъ, Б. Б. (1960), Лекціи по сейсмометріи, *Избранные труды, Т. 2, Сейсмологія*, М., Изд-во АН СССР, 7–228.
- Крыловъ, А. Н. (1951), Памяти Б. Б. Голицына. Очеркъ жизни и деятельности, *Собр. трудовъ академика А. Н. Крылова, Т. 1, ч. 2, Научно-популярные статьи. Биографическіе характеристики*, М.; Л.: Изд-во АН СССР, 170–171.
- Саваренскій, Е. Ф., И. Е. Губин, Д. А. Харин (ред.) (1961), *Землетрясенія в СССР*, М., Изд-во АН СССР, 412.
- Сидорин, А. Я. (2002а), Жизненный путь академика князя Б. Б. Голицына, *Сейсм. приборы*, вып. 37, 3–23.
- Сидорин, А. Я. (2002б), Б. Б. Голицынъ и революція в сейсмометріи в началѣ XX вѣка, *Сейсм. приборы*, вып. 38, 70–88.
- Dewey, J., P. Byerly (1969), The early history of seismometry (to 1900), *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 59, 1, 183–227.
- Galitzin, V. (1902), Uber seismometrische Beobachtungen, *Изв. Пост. центр. сейсм. комиссиі, 1902. 1*, вып. 1, 101–183.
- Galitzin, V. (1903), *Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen*, СПб., Тип. Императ. Академіи наук, 112.
- Galitzin, V. (1904), Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen, *Изв. Пост. центр. сейсм. комиссиі, I*, вып. 3, 1–112.
- Galitzin, V. (1908), Die elektromagnetische Registriermethode, *Изв. Пост. центр. сейсм. комиссиі, 3*, вып. 1, 1–106.
- Milne, J. (1901), Seismological investigations, *Rep. Brit. Assoc. Advmt. Sci.*, 40–54.
- Rebeur-Paschwitz, E. L. A. von. (1889), The earthquake of Tokyo, April 18, 1889, *Nature*, 40, 294.

А. В. Пономарев и А. Я. Сидорин, Учрежденіе Российской академіи наукъ Институтъ физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва Д-242, Б. Грузинская ул., 10, стр. 1. (avp@ifz.ru)