

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Р. ЭТВЕША В СССР В ОБЛАСТИ ГРАВИМЕТРИИ

В. А. КУЗИВАНОВ

Институт Физики Земли АН СССР, Москва

И

М. У. САГИТОВ

Государственный Астрономический Институт, Москва

Поступило 28. 9. 1963

SUMMARY

The achievements of the distinguished Hungarian physicist in the field of gravimetry and gravitational attraction did not diminish in value up to the present. His method, ideas and instruments have been continued to develop and accomplish and are extensively employed in many countries, so in the USSR too.

In the present we are going to give an account about the development of his ideas in the USSR, in the field of gravimetry.

Работы выдающегося венгерского физика Роланда Этвеша в области гравиметрии и тяготения не потеряли своего значения до настоящего времени. Его методы, идеи и приборы продолжают развиваться, совершенствоваться и получают все большее применение во многих странах, в том числе и в СССР.

В настоящем докладе остановимся кратко на развитии в СССР идей Р. Этвеша в области гравиметрии.

Известно, что гравитационное поле Земли может быть охарактеризовано различными величинами: силой тяжести, потенциалом силы тяжести, отклонениями отвеса, первыми, вторыми и более высшими производными силы тяжести.

Одной из замечательных заслуг Р. Этвеша является то, что для геодезических и геологических целей он предложил изучать не только силу тяжести и первые производные потенциала силы тяжести (сила тяжести, условия отвеса), но и показал на практике возможность использования вторых производных силы тяжести (горизонтальные градиенты силы тяжести и кривизна уровенной поверхности).

Использование высших производных потенциала силы тяжести в ряде случаев, особенно в гравиразведочной практике, может быть более выгодным, чем использование самой силы тяжести. Если сравнить отношение величины аномалий горизонтальных градиентов силы тяжести к нормальной величине этих градиентов, обусловленной фигурой Земли и ее суточным вращением, с соответствующим отношением для силы тяжести, то первое будет во много раз больше второго. Это обстоятельство позволяет при помощи вторых производных потенциала силы тяжести более детально изучать уровенную поверхность и аномальные массы, особенно поверхностные, что важно для гравиметрической разведки.

Р. Этвеш не только предложил использовать для изучения гравитационного поля Земли вторые производные, но и, что особенно ценно, разработал теорию и конструкцию высокоточного гравиметрического прибора — гравитационного вариометра и применил его на практике. Стоит подчеркнуть, что теория и конструкция гравитационных вариометров Р. Этвешом была разработана в такой степени, что они остались практически теми же самыми и по сей день.

Гравитационные вариометры Этвеша получили всемирное признание и повсеместно, широко вошли в практику гравиметрических работ, в том числе и в СССР.

Вначале в СССР гравитационные вариометры Этвеша применялись лишь для геодезических целей, для детального исследования фигуры уровенной поверхности силы тяжести. Так, в России были выполнены еще в 1915–16 гг. наблюдения с гравитационным вариометром вдоль ряда перво-классной триангуляции Пулково — Николаев. Эти работы с гравитационным вариометром были вторыми в мире после наблюдений Этвеша в Венгрии.

Развитие промышленности и ее потребности в сырье привели к бурному развитию в 20-х годах гравиметрической разведки. С этого времени в практике гравиметрических работ в СССР широкое применение получают гравитационные вариометры, которые являлись долгое время единственными приборами, позволяющие выполнять детальную гравиметрическую съемку с разведочными задачами.

В 1926 г. начинаются массовые измерения гравитационными вариометрами в районе Курской Магнитной Аномалии (КМА) с целью определения глубины залегания и формы железорудных месторождений. Работа на КМА явилась важной школой развития советской геофизики. Здесь была разработана и затем эффективно применена в СССР методика проведения количественной интерпретации результатов детальных вариометрических гравиразведочных работ на пластовых железорудных месторождениях (Шмидт, Никифоров, Сорокин).

Успехи вариометрических работ на КМА показали, какие огромные возможности имеет вариометрический метод гравиразведки.

Вслед за КМА гравитационные вариометры были использованы при разведке промышленно-важного Криворожского железорудного месторождения. Здесь, как и на КМА, выяснялись структуры железорудных месторождений и в соответствии с результатами наблюдений выбирались места для последующего бурения.

С конца 20-х годов вариометрический метод гравиразведки используется при поисках каменного угля. Такие работы велись в 1929 г. в Донецком каменноугольном бассейне, а последующем на Урале, Кузбассе, Караганде, Грузии и в других районах страны. При этом в основном решается задача расширения известных угленосных площадей, поскольку залежи каменного угля бывают скрыты мощными поверхностными отложениями.

В 30-х годах гравитационные вариометры получают все большее и большее применение в гравиразведке. Они успешно используются при изучении пластовых месторождений калийной соли (в районе Соликамска), выполняются работы по поискам хромитов и сульфидов на Урале (Юньков, Андреев). Здесь следует отметить, что результаты применения гравитационных вариометров для разведки хромитовых и сульфидных месторождений представляли особый методический интерес, так как они практически показали возможность на основе исследования аномального гравитационного поля изучать не только крупные геологические структуры, но и небольшие геологические объекты, какими являются хромитовые, сульфидные и другие изолированные рудные месторождения.

Особенно большой вклад внес вариометрический метод гравиразведки в деле поисков нефтяных месторождений.

Начало гравиметрических работ в нефтяной промышленности в СССР было положено производством вариометрической съемки на реке Эмбе в 1925 г.

На первом этапе (с 1925 г. до 1930 г.) работы велись в небольшом объеме в Урало—Эмбенском районе, Азербайджане, на Северном Кавказе и Средней Азии с целью выяснения гравиметрического (вариометрического) метода при разведке нефти. Напомним, что к этому времени были достигнуты первые успехи вариометрической разведки в изучении железнорудных месторождений.

Результаты вариометрических работ в районах, где предполагалось наличие нефти, показала действенность этого метода в поисках нефти, что способствовало резкому увеличению объема гравиметрических работ. Только в 1931—32 гг. число вариометрических работ было в 2 раза больше, чем за все предыдущие годы вместе взятые.

Начиная с середины 30 годов ликвидируется прежняя разрозненность гравиметрических работ в СССР, разорванность детальных и региональных исследований, осуществляется широкая связь с другими геофизическими методами разведки.

В 40-х годах на техническое вооружение гравиметрической разведки стали входить гравиметры, которые позволили значительно расширить фронт гравиразведочных работ и производить их на огромных площадях.

Расширяются возможности гравиразведки. Наряду с открытием и изучением отдельных нефтяных структур, данные гравиметрической (гравиметровой и вариометрической) съемки используются для выделения целых областей, перспективных для поисков нефти для осуществления тектонического районирования. Так были, например, оконтурены Урало—Эмбенский р-н, Апшероно—Нижне—Куринский нефтеносный район и т. п.

И в настоящее время, несмотря на широкое внедрение в производство гравиметрических работ гравиметров, гравитационные вариометры занимают почетное место в гравиразведке.

Успешному развитию гравиразведки в СССР способствовали работы советских ученых по разработке отечественных гравитационных вариометров, первые из которых были изготовлены в 1924 г. под руководством Никифорова. В последующие годы были сконструированы и изготовлены вариометры различных систем: двухрычажные, трехрычажные, вариометры с короткой крутильной нитью и т. д. Большое внимание при этом уделялось повышению чувствительности вариометров и повышению производительности с ними. В настоящее время в СССР разрабатываются и широко используются в гравиразведке короткопериодические горизонтальные градиентометры с кварцевой крутильной системой (Поддубный). Эти градиентометры миниатюрны, просты и надежны в обращении. Основным их преимуществом перед обычными гравитационными вариометрами является значительно большая производительность съемки при сохранении почти той же точности наблюдений.

Известно, что новые перспективы в гравиразведке могла бы открыть возможность использования второй вертикальной производной потенциала силы тяжести.

В 1922 году известный русский математик Стеклов, проведя в более общей постановке анализ уравнения движения коромысла гравитационного вариометра, составленного Этвешем, пришел к выводу о том, что Этвеш рассматривал лишь одно из возможных движений крутильной системы. Оказалось, что два других уравнений момента позволяют не только определять горизонтальные градиенты, но и вертикальный градиент силы тяжести, чего не предполагал Этвеш. Стеклов показал также, что для получения величин градиентов силы тяжести можно значительно упростить принятую методику наблюдений. Он предполагал также внести некоторые изменения в конструкцию прибора. К сожалению, подробности работы Стеклова не опубликованы, а небольшая статья по этому вопросу была незаслуженно забыта.

Позднее, в начале 30-х годов вопрос об измерении вертикального градиента силы тяжести рассматривался Садовским, показавший технические трудности в изготовлении в то времена вертикального гравитационного градиентометра.

Возросшие технические возможности позволили в настоящее время поставить вопрос о создании подобного прибора и в этом направлении в Советском Союзе ведутся работы (Федынский).

Вертикальный градиентометр интересен еще тем, что его возможно конструктивно осуществить таким образом, что на его показания не будут сказываться вертикальные и горизонтальные поступательные перемещения основания прибора, т. е. при помощи его можно будет производить измерение вертикального градиента силы тяжести с самолета или корабля.

Практика использования вторых производных потенциала силы тяжести привела к развитию в 20—30-х годах методов количественной интерпретации, ориентированных на использовании этих производных. В эти

годы были разработаны методы расчета поля вторых производных для некоторых тел простой геометрической формы (ступени, параллелепипеда, шарового сегмента и т. д.), а также для двумерных тел произвольного сечения с помощью палеток. Были даны формулы для определения координат центра тяжести и избыточной массы по аномалиям градиента силы тяжести (Нумеров, Гамбурцев, Садовский, Заморев и др.). В те годы были разработаны способы тщательного учета рельефа местности при вариометрической съемке, получившие всеобщее признание (Нумеров и др.). Был изготовлен прибор, позволяющий сразу получать поправки за рельеф (Леонтовский), предлагались особые рейки для нивелировки местности, упрощающие дальнейшее вычисления и т. д.

На современном этапе в разведочной гравиметрии широко используются способы пересчета карт аномалий силы тяжести в карты аномалий вторых и более высоких производных силы тяжести (Веселов, Сагитов, Шванк и др.), что также в известной мере является развитием идей Этвеша, который, как отмечалось, предлагал изучать гравитационное поле Земли с помощью вторых производных потенциала силы тяжести.

В свое время Этвеш рассмотрел вопрос о введении в показания гравиметрических приборов, находящихся на движущемся основании, поправки за влияние силы Кориолиса. В настоящее время в СССР и других странах проводятся гравиметрические работы на кораблях и самолетах. Большие скорости движения самолетов, а также сложная траектория полета заставили заново проанализировать вопрос об учете эффекта Этвеша с тем, чтобы учитывать влияние квадратичных членов и кривизну траекторий полета. С этой целью были проведены специальные исследования.

Не потеряли своей актуальности и работы Этвеша по определению постоянной тяготения. В этих его работах, на наш взгляд, ценным являются не числовые значения определенной им постоянной тяготения, а метод определений. Заслуживают внимания два способа регистрации малых эффектов притяжения, с которыми обычно приходится иметь дело при опытах по тяготению, а именно применение для этой цели компенсатора тяготения и мультипликатора тяготения.

Этвеш, наряду с опытами по выявлению степени эквивалентности инертной и тяготеющей массы, ставил опыты по определению эффекта экранизации тяготения. С помощью вариометра II рода он показал, что поверхностный пласт Земли в 1 км толщиной не изменяет притяжения Солнца даже на 1 : 100 000 000 часть. В 1961 г. опыты по проверке экранизации тяготения в СССР были проведены В. Б. Брагинским и Рукманом в виде установки, которая периодически экранизировала некоторую массу. Экранизирующего эффекта не было обнаружено.

Одним из авторов доклада предпринимается попытка разработки нового определения постоянной тяготения. Излишне говорить, что задача более точного численного определения постоянной тяготения представляет большое теоретическое и практическое значение.

Мы не останавливаемся на опытах Этвеша по определению тождественности инерционной и тяготеющей массы, так как этот вопрос относится больше к компетенции физиков. Стоит лишь отметить, что и в этой области в Советском Союзе проводятся соответствующие исследования.

На грани 19–20 вв, когда вышли в свет работы Этвеша по тяготению, начинали решаться лишь некоторые геодезические и геологические задачи. В настоящее время в изучении гравитационного поля Земли нуждаются ряд отраслей науки; геодезия, геология, физика Земли, астрономия, теория и практика полетов искусственных спутников Земли. Отмечая прогресс и успехи современной гравиметрии, мы всегда с благодарностью вспоминаем Роланда Этвеша, который заслуженно занимает одно из первых мест среди видных гравиметристов мира.