

**Региональные проблемы поиска, разведки и разработки месторождений  
полезных ископаемых / Regional problems of searching, exploration and  
development of mineral deposits**

УДК 550.312

DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2021.7.3.002

**РАЗВИТИЕ ГРАВИРАЗВЕДКИ В XX в.  
И ЕЕ РОЛЬ В ИЗУЧЕНИИ СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ И ПОИСКОВ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

© Абубакарова Элиза Ахметовна

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; отдел топливно-энергетического комплекса, в.н.с., к.г.-м.н., eliza\_ggni@mail.ru

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация. г. Грозный

*Аннотация.* В статье приведена краткая история развития гравиметрии и гравиразведочных работ в России в XX в. Обозначены основные задачи гравиметрии и ее роль. Рассмотрены методы и приборы для измерения ускорения силы тяжести и их первое практическое применение. В заключении даны краткие сведения о гравиразведочных работах Чеченской Республики во второй половине XX в.

*Ключевые слов:* гравиразведка, история, задачи гравиметрии, гравитационное поле, измерение сила тяжести, методы и приборы.

**DEVELOPMENT OF GRAVITY IN THE XX CENTURY  
AND ITS ROLE IN THE STUDY OF THE STRUCTURE OF THE EARTH AND THE  
SEARCH OF MINERAL RESOURCES**

© Abubakarova Eliza Akhmetovna

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; senior researcher, candidate of geological and mineralogical Sciences, eliza\_ggni@mail.ru

Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny

*Abstract.* The article provides a brief history of the development of gravimetry and gravity exploration in Russia in the XX century. The main tasks of gravimetry and its role are outlined.

Methods and instruments for measuring the acceleration of gravity and their first practical application are considered. In the conclusion, brief information is given about the gravity exploration work of the Chechen Republic in the second half of the 20th century.

**Key words:** gravity prospecting, history, gravimetry problems, gravitational field, gravity measurement, methods and devices.

Гравиразведка является одним из геофизических методов, основанный на изучении естественного поля силы тяжести на земной поверхности изменения которого обусловлено плотностными неоднородностями разреза земной коры. Идея гравиметра - прибора, в котором сила тяжести компенсируется упругостью газа или пружины, - была высказана еще М. В. Ломоносовым. Однако до двадцатых годов нашего столетия уровень развития техники не позволял построить достаточно точный прибор, основанный на этом принципе.

В тридцатых годах в Америке и Швеции появились первые пригодные для разведки гравиметры. После второй мировой войны этот тип гравитационного прибора практически вытеснил все остальные из практики гравитационной разведки. В 1941г. был построен первый опытный образец советского гравиметра системы М. С. Молоденского. Во время войны работы над этим прибором были прекращены. Они были вновь возобновлены в 1944 – 1945 гг. и увенчались в 1947 г. созданием серийного образца гравиметра ГКМ. Несколько позже, в 1950г., появился кварцевый гравиметр СН-3. Далее создаются гравиметр-высотомер (ГВ) и кварцевый астазированный гравиметр (ГАК).

В 1939г. были приобретены гравиметры Исинг и Болиден, позже были получены гравиметры Норгард, Хейлаид, Мотт-Смит, Уорден и некоторые другие. Эти приборы наряду с отечественными широко применялись в гравитационной разведке [5].

*Краткая история развития гравиразведки в России в XX в.* Впервые в России гравитационная разведка была применена при изучении Курской магнитной аномалии, где П.М. Никифоровым (1884-1944), Л. В. Сорокиным (1886-1954) и др. была выполнена гравиметрическая съемка с вариометрами и маятниковым прибором и под руководством А.Д. Архангельского (1879-1940). В дальнейшем гравиметрическая съемка с вариометрами получила в России широкое распространение. Этому особенно способствовало освоение отечественной промышленностью усовершенствованной модели вариометра, которая стала широко применяться в практике поисков и разведки нефтяных и газоносных структур, а также при поисках других полезных ископаемых. К концу тридцатых годов число работающих вариометрических партий превысило полторы сотни [6].

Однако низкая производительность работ с гравитационным вариометром и тем более с маятниковым прибором ограничивала возможности метода разведочной гравиметрии и сдерживала его развитие. Только после изобретения и внедрения в практику гравитационной разведки нового типа гравиметрических приборов - статических гравиметров, значительно повысивших точность измерений и производительность труда, гравиметрия стала одним из наиболее широко используемых методов геофизической разведки. Об эффективности гравиметрической разведки свидетельствует чрезвычайно быстрый рост ее объемов. Так, число отрядов с гравиметрами значительно увеличилось с 1940 г. до 1956 г. На сегодняшний день гравиметровыми съемками покрыты не только в России, но и в других странах, значительные территории. На основании этих съемок, сведенных в единую систему,

составлены региональные гравиметрические карты, играющие в настоящее время огромную роль в решении ряда геологических вопросов, служащих основой тектонического районирования и выбора направления дальнейших геологоразведочных работ.

В практике применения гравиметрии в разведке огромную роль сыграло также и повышение точности определения аномалий силы тяжести. Если маятниковый прибор обеспечивал точность определения силы тяжести в 2 - 4 мГал, первые гравиметры в 0,8 - 1,5 мГал, то современные гравиметры имеют точность в 0,3 - 0,03 мГал при очень высокой производительности. Это существенно повысило разрешающую способность, гравитационной разведки, позволив применять ее, например, при поисках полиметаллических месторождений и месторождений железа, золота, и т.п., т.е. в случаях, когда величина аномалий составляет всего несколько миллигал или даже десятые доли его. Повышение точности гравиметрических измерений открывает новые возможности для изучения физики земной коры. Кроме изучения силового гравитационного поля в пространстве, открываются возможности изучения его изменений во времени. Уже сейчас работает ряд станции, на которых ведутся наблюдения за периодическими вариациями силы тяжести, имеющими своей причиной возмущающие гравитационные влияния Луны и Солнца. Материалы таких наблюдений дают представление о характере приличных явлений в земной коре, что в свою очередь связано с упругими свойствами ее. Предпринимающиеся в настоящее время работы по изучению вековых вариаций силы тяжести позволят получить новые количественные данные о новейших движениях земной коры и внутренних процессах, в ней происходящих. За последнее время появилась реальная возможность производить наблюдения на борту как подводных, так и надводных кораблей. Началось изучение гравитационного поля океанов. Это открывает перспективы изучения фигуры Земли на новом уровне изученности гравитационного поля, когда теория Стокса становится практически применимой без необходимости введения произвольных гипотез. Широкое изучение гравитационного поля Земли в целом открывает возможности подробного изучения мощностей коры на всем земном шаре, что позволит с новых позиций рассмотреть вопросы геологической истории и геологического строения Земли [1,4].

*Основные задачи и роль гравиразведки.* Центральной задачей является - изучение и объяснение строения Земли, от центра Земли до верхних границ атмосферы. И здесь руководящей должна быть историческая точка зрения. В особенности на долю геофизики падает выяснение истории Земли от ее зарождения как планеты и до истории образования коры, дальнейшие судьбы которой относятся уже к геологии. Основным средством проникновения в глубокие слои Земли является изучение землетрясений. Но объяснить строение этих слоев нельзя, не выяснив физического состояния веществ в глубоких недрах Земли при давлениях в десятки или сотни тысяч атмосфер. Сами понятия твердого и жидкого состояний видоизменяются при таких давлениях, теряют свой прежний смысл. В этой задаче геофизика предьявляет запрос физике; с другой стороны, она тесно связана с геохимией, в особенности в задаче возникновения атмосферы и изменения ее состава в различные эпохи [2].

Основной круг задач гравиметрии решается путём изучения стационарного пространственного гравитационного поля. Для изучения упругих свойств Земли производится непрерывная регистрация вариаций силы тяжести во времени. Вследствие того, что Земля неоднородна по плотности и имеет неправильную форму, её внешнее гравитационное поле характеризуется сложным строением. Для решения различных задач удобно рассматривать

гравитационное поле состоящим из двух частей: основного - называемого нормальным, изменяющегося с широтой места по простому закону, и аномального - небольшого по величине, но сложного по распределению, обусловленного неоднородностями плотности пород в верхних слоях Земли. Нормальное гравитационное поле соответствует некоторой идеализированной простой по форме и внутреннему строению модели Земли (эллипсоиду или близкому к нему сфероиду). Разность между наблюдённой силой тяжести и нормальной, вычисленной по той или иной формуле распределения нормальной силы тяжести и приведённой соответствующими поправками к принятому уровню высот, называется аномалией силы тяжести. Если при таком приведении принимается во внимание только нормальный вертикальный градиент силы тяжести, равный 3086 этвеш (т. е. в предположении, что между пунктом наблюдения и уровнем приведения нет никаких масс), то полученные таким путём аномалии называются аномалиями в свободном воздухе. Вычисленные так аномалии чаще всего применяются при изучении фигуры Земли. Если при приведении учитывается ещё и притяжение считающегося однородным слоя масс между уровнями наблюдения и приведения, то получаются аномалии, называемые аномалиями Буге. Они отражают неоднородности в плотности верхних частей Земли и используются при решении геологоразведочных задач. В гравиметрии рассматриваются также изостатические аномалии, которые специальным образом учитывают влияние масс между земной поверхностью и уровнем поверхности на глубине, на которую вышележащие массы оказывают одинаковое давление (Изостазия). Кроме этих аномалий, в гравиметрии вычисляется ряд других (Прея, модифицированные Буге и пр.). На основании гравиметрических измерений строятся гравиметрические карты с изолиниями аномалий силы тяжести. Аномалии вторых производных потенциала силы тяжести определяются аналогично как разности наблюдённого значения (предварительно исправленного за рельеф местности) и нормального значения. Такие аномалии в основном используются для разведки полезных ископаемых. В задачах, связанных с использованием гравиметрических измерений для изучения фигуры Земли, обычно ведутся поиски эллипсоида, наилучшим образом представляющего геометрическую форму и внешнее гравитационное поле Земли.

Следующей задачей является изучение сил, действующих в земном шаре. В первую очередь - это механические силы. Движение континентов, образование гор, изостатическое выравнивание силы тяжести, приливы должны изучаться с привлечением современной теории упругости и пластичности. Сюда же относится развитие математической и физической теорий сейсмических волн и выяснение причин землетрясений, особенно глубоких.

Можно быть уверенным, что механические силы, действующие на Земле, тесно связаны с ее тепловым состоянием, которое, наряду с давлением, определяет физическое состояние вещества в глубоких слоях Земли. По современным воззрениям, термика Земли обусловлена (кроме действия Солнца на земной поверхности) радиоактивным распадом. Распределение радиоактивных веществ, подсчет выделяемого тепла, механическое и химическое действие.

Выше упоминалась уже загадка земного магнетизма, причины которого мы не знаем. Наука до сих пор больше занималась описанием магнитного поля Земли с помощью математических формул; задача же состоит в физическом объяснении этого поля, которое, оче-

видно, связано с происхождением Земли и ее строением. Для решения этой задачи требуется экспериментальная работа, а также повышение точности наблюдений, создание более совершенной аппаратуры.

Слабым местом в геофизической разведке является интерпретация наблюдений, т. е. восстановление по полученным измерениям той геологической структуры, которая вызывает наблюдаемые магнитные, электрические и прочие явления. Трудность состоит в том, что одинаковые величины на поверхности Земли могут иметь причиной различное, в известных пределах, распределение подземных структур. Наряду с решением теоретических вопросов («обратная задача» теории потенциала), большое значение имеет выработка методики комплексной интерпретации данных, при которой сейсмометрические, гравиметрические и тому подобные наблюдения так накладываются друг на друга, чтобы, несмотря на закономерно присущую каждому отдельному методу неопределенность в ответе на вопрос о геологической структуре, в результате наложения разных методов получить по возможности однозначный и точный ответ.

Чтобы применить геофизику к геологии, надо знать физические свойства горных пород (упругость, теплопроводность, магнитные свойства и т. д.). До сих пор было обращено недостаточно внимания на большую изменчивость этих свойств: одинаковый по виду песчаник может иметь различные свойства в зависимости от геологической эпохи, условий образования, примесей и т. д. В то же время физические свойства очень характерны для более мелких подразделений каждой геологической формации в данном районе и часто служат важным признаком в поисках полезных ископаемых. Составление атласа физических констант тесно связано с геологическими, минералогическими и геохимическими исследованиями, но геофизика должна помочь этому делу разработкой методики и созданием удобной (в том числе полевой) аппаратуры.

Таким образом, задачи гравитационной - разведки - прямая и обратная были поставлены и решены, конечно, простейшим способом путем построения гравитационного поля над аномальным телом и нахождения аномального тела по гравитационному полю.

Гравитационная (разведка рассматривает приложение гравиметрии к изучению распределения масс в земной коре. Земная кора и, по-видимому, подкорковый субстрат характеризуются неоднородностью плотностей слагающих их горных пород, изменяющейся не только с глубиной, но также и в горизонтальном направлении. Это обусловлено, во-первых, тем, что в связи с особенностями геологического строения на один гипсометрический уровень выходят породы различного петрографического состава и различной степени метаморфизма, и во-вторых, изменениями плотности горных пород в зависимости от характера современных и предшествующих тектонических процессов. Отсюда следует, что плотностная неоднородность земной коры находится в тесном соответствии с особенностями ее геологического строения и развития. Поэтому по данным, характеризующим плотностную неоднородность земной коры, можно составить представление о геологическом строении и особенностях развития данного региона. Характер плотностного строения земной коры находит отражение в аномалиях силы тяжести, изучаемых при гравиметрических исследованиях.

Основной задачей гравитационной разведки является установление взаимных связей между элементами гравитационного поля данного района и его геологическим строением с

целью выяснения геологической структуры местности, как правило, недоступной для прямых геологических наблюдений и определения перспективности ее с точки зрения возможности обнаружения тех иных видов полезных ископаемых.

Объяснение физических свойств Земли требует выяснения истории ее образования, поэтому одной из важнейших задач является построение научной космогонии, по крайней мере, в части возникновения планетных систем, в том числе Земли. Такая теория должна в гораздо большей степени, чем прежние неудовлетворительные космогонии, опираться на геофизические данные и данные современной астрономии.

*Грави-, магнитометрические исследования в ЧР.* Гравиметрические исследования на территории Чеченской Республики были начаты в 1941 г. По результатам гравirazведки были построены карты аномалий силы тяжести в редукции Буге масштаба 1:100000, 1:200000, 1:500000; карты остаточных аномалий силы тяжести масштаба 1:500000; аномалий остаточного поля 1:100000. Геологическая интерпретация гравirazведочных данных на основе сравнения с результатами сейсмических исследований подтвердило существование ряда локальных структур - Брагунской, Минеральной, Горячейсточненской, Притеречной и др. Интерпретация результатов гравirazведочных работ проведенных в 1966 г. под руководством А.Д. Тушкановой на Эльдаровской площади показала, что Эльдаровское поднятие по меловым отложениям отделено от Али-Юртовской складки прогибом, а восточная периклиналь её кулисообразно заходит за Хаян-Кортовскую структуру. Методы гравиметрии и магнитометрии при поисково-разведочных работах получили широкого развития.

В 1945-1947 гг. магнитометрической партией под руководством В.С. Маркунского проведены магнитометрические исследования в Притеречной равнине. Результаты работ способствовали решению задач региональной тектоники. На их основе предполагается сложное, неоднородное строение фундамента [4].

В 1970-80 гг. на территории Чеченской Республики партией №12 проводились гравirazведочные работы с целью изучения глубинного строения территории в связи с поисками и разведкой нефти и газа.

Таким образом, гравirazведка позволяет более рационально направить бурение и геологоразведочные работы (ГРП) (в большей степени региональный этап ГРП), помогает исследовать горизонты земной коры и верхней мантии, недоступные бурению и обычным геологическим наблюдениям. Гравиметрические измерения используются для изучения неоднородностей плотности в верхних частях Земли с геологоразведочными целями. На современном уровне развития методов детального изучения гравитационного поля и измерительной техники, наиболее точными, производительными и информационными являются измерения ускорения силы тяжести, а также измерения вторых производных потенциала силы тяжести.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бровар В.В., Магницкий В.А., Шимбирёв Б.П. Теория фигуры Земли. М.: Недра, 1961.
2. Веселов К.Е., Сагитов М.У. Гравиметрическая разведка. М.: Недра, 1968.
3. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: Недра, 1963.

4. Даукаев А.А. История и перспективы развития геологоразведочных и научно-исследовательских работ на нефть и газ на Северном Кавказе (XIX-XXI вв). М.: Спутник, 2018. 224 с.
5. Огородова Л.В., Шимбирев Б.П., Юзефович А.П. Гравиметрия. М.: Недра, 1978.
6. Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. М.: Недра, 1980.

#### REFERENCES

1. Brovar V.V., Magnitskiy V.A., Shimbirev B.P. The theory of the figure of the Earth. Moscow: Nedra, 1961.
2. Veselov K.E., Sagitov M.U. Gravimetric exploration. Moscow: Nedra, 1968.
3. Grushinsky N.P. The theory of the figure of the Earth. Moscow: Nedra, 1963.
4. Daukaev A.A. History and prospects for the development of geological exploration and research work for oil and gas in the North Caucasus (XIX-XXI centuries). Moscow: Sputnik, 2018. 224 p.
5. Ogorodova L.V., Shimbirev B.P., Yuzefovich A.P. Gravimetry. Moscow: Nedra, 1978.
6. Yuzefovich A.P., Ogorodova L.V. Gravimetry. Moscow: Nedra, 1980.