

УДК 528.27+525.622

И. А. ДЫЧКО, В. Г. БУЛАЦЕН, В. Г. БАЛЕНКО

РАБОТЫ А. Я. ОРЛОВА ПО ГРАВИМЕТРИИ И ИХ РАЗВИТИЕ В ПОЛТАВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

При изучении творческого наследия А. Я. Орлова обращает на себя внимание разнообразие его научных интересов. Изменяемость широт и движение земных полюсов, определение орбит и теория кометных хвостов, переменные звезды и вращение Солнца, теория затмений и математические методы обработки наблюдений, различные задачи сейсмологии и сейсмометрии, гравиметрии и изучение земных приливов — он не только глубоко понимал все эти вопросы, но и внес в их изучение заметный, а в некоторых случаях значительный вклад.

В данной статье предлагается краткий обзор работ по изучению гравитационного поля Земли (гравиметрические связи, изучение медленных и приливных изменений силы тяжести), выполненных А. Я. Орловым, а также его сотрудниками, учениками и последователями в Полтавской гравиметрической обсерватории.

Еще в 1911 г. А. Я. Орлов представил Русскому астрономическому обществу план работ по определению силы тяжести в Сибири с целью получения материала для изучения изостазии. Предлагалось выполнить наблюдения в Западно-Сибирской низменности и Горном Алтае. По данным А. Е. Медунина [13] и З. Н. Аксентьевой [3], в России в то время было всего шесть комплектов маятников Штернека и два комплекта маятников Штократа, с помощью которых в 1896—1917 гг. было определено более 400 гравиметрических пунктов: из них в Средней Азии — 135, в Европейской части России — 93, на Кавказе — 70.

Гравиметрическая экспедиция, направленная Русским астрономическим обществом в Западную Сибирь по инициативе А. Я. Орлова и при его активнейшем участии, состоялась в 1912 г. [7]. В 1916—1917 гг. были проведены экспедиции в Горный Алтай [18]. В тяжелых условиях Сибири эти экспедиции, состоявшие из двух-трех человек, определили 16 гравиметрических пунктов, отстоящих друг от друга на тысячи километров.

Уже в этих работах А. Я. Орлов внес значительные усовершенствования в методику гравиметрических наблюдений с маятниками. Так, в Алтайской экспедиции применялись специальные часы, изготовленные под его руководством механиком И. А. Тимченко. Впоследствии при гравиметрических определениях на Украине по чертежам А. Я. Орлова механиком Гамбургской морской обсерватории Брекингом был изготовлен оптический счетчик, получивший затем широкое распространение в гравиметрических наблюдениях.

В 1924 г. в Харькове состоялся съезд по изучению естественных производительных сил Украины. К этому времени на Украине было определено 11 гравиметрических пунктов, из них 4 — с невысокой точностью с помощью маятников Репсольда. Но изучение производительных сил, в числе которых полезные ископаемые занимают одно из главных мест, было невозможно без подробной гравиметрической карты. Присутствовавший на съезде А. Я. Орлов предложил проект гравиметрической площадной съемки Украины [2]. Для выполнения этих работ при Украинской Главной палате мер и весов в 1926 г. была организована Полтавская гравиметрическая обсерватория. Первой ее задачей было создание гравиметрической карты Украины.

До начала гравиметрической съемки Украины определения силы тяжести велись, как правило, по профилям, А. Я. Орлов впервые поставил задачу общей площадной съемки огромной территории (более 600 тыс. км²), которую необходимо было покрыть густой сетью гравиметрических пунктов и провести изоаномалы силы тяжести.

Относительные определения силы тяжести с помощью маятников — весьма трудоемкая работа. Достаточно сказать, что для получения уверенного значения ускорения свободного падения качания маятников наблюдались в течение суток. Некоторые пункты были рассчитаны на наблюдения по двухсуточной программе. Немногочисленный в то время коллектив Полтавской гравиметрической обсерватории в течение 1926—1938 гг. выполнил огромную работу — было определено около 500 гравиметрических пунктов. Экспедиционное оборудование (маятники, счетчики, хронометры, барометры, радиостанция и др.) перевозились из одного пункта в другой обыкновенным крестьянским возом, часто по бездорожью, в глухих, удаленных от железной дороги уголках Украины [3]. Ежегодно работало несколько экспедиций, которые сменяли друг друга или вели наблюдения параллельно. Всего было проведено 42 экспедиции. Под руководством А. Я. Орлова в экспедициях принимали участие сотрудники обсерватории: З. Н. Аксентьева, Т. А. Буй, В. В. Гуссова, В. А. Елистратов, Е. В. Лаврентьева, Н. К. Мигаль, П. И. Михайловский, Н. А. Попов и работники дру-

гих учреждений: И. А. Дюков, А. С. Козаков, Б. В. Новопашенный, А. Р. Орбинский. Количество гравиметрических определений, выполненных Полтавской гравиметрической обсерваторией за это время, приводится в табл. 1.

Сначала пользовались маятниками Штюкрата, приобретенными Одесской магнито-метеорологической обсерваторией в 1907 г. С развертыванием фронта работ одного комплекта приборов было недостаточно. Поэтому А. Я. Орлов решил использовать маятники Штернека на стенном штативе. При хорошем закреплении стенного штатива сокачание его ничтожно и маятники Штернека могут дать такую же точность, как и маятники Штюкрата. Выполненные впоследствии параллельные наблюдения с обоими типами маятников по гравиметрической связи Полтавы с Одессой, Черниговом и Главной палатой мер и весов в г. Ленинграде дали идентичные результаты.

Таблица 1

Количество гравиметрических пунктов, определенных Полтавской гравиметрической обсерваторией

Год	Количество пунктов	Год	Количество пунктов
1926	21	1933	38
1927	34	1934	68
1928	7	1935	55
1929	27	1936	30
1930	45	1937	—
1931	78	1938	9
1932	53		

К 1938 г. гравиметрическая карта Украины была завершена и передана в распоряжение геологических организаций для использования и дальнейшей детализации. Работа эта получила высокую оценку специалистов. Крупный советский гравиметрист и астроном акад. А. А. Михайлов писал: «Лишь на Украине был произведен Полтавской обсерваторией первый успешный и правильно поставленный опыт проведения сплошной гравиметрической съемки, но с небольшой густотой пунктов» [14]. Закономерности распределения силы тяжести в пределах этой территории оказались весьма сложными. Четко вырисовывался целый ряд аномалий: Киевская, Кировоградская, Красноградская, Брянская, Черниговская и др. Особого внимания заслуживает Черниговская аномалия как самая значительная. Метод площадной гравиметрической съемки получил всеобщее признание и впоследствии был положен в основу съемки территории СССР, которая началась в 1932 г.

Выполнение гравиметрической съемки Украины было бы невозможным без тщательного определения опорного гравиметрического пункта в г. Полтаве, относительно которого велась вся съемка. С этой целью под руководством А. Я. Орлова была осуществлена связь гравиметрического пункта Полтавской обсерватории с Потсдамом — центром Европейской гравиметрической системы, а также со всеми пунктами СССР, которые уже были связаны с Потсдамом. Эта работа, наиболее важная для молодой Полтавской гравиметрической обсерватории, выполнялась параллельно с площадной съемкой Украины. С 1926 по 1933 гг. были осуществлены гравиметрические связи Полтавы: шесть раз с Одессой, три раза с Пулковом и Москвой, два раза с Казанью и Тбилиси, обсерватории которых были связаны непосредственно с Потсдамом, а также четыре раза с Ленинградом (Главная Палата мер и весов, ныне ВНИИМ), который служил исходным пунктом для многих определений силы тяжести на Украине, выполненных ранее (табл. 2).

С созданием гравиметрической карты Украины работы по изучению гравитационного поля Земли в Полтавской обсерватории не прекратились. Продолжалась разработка вариометра, которой занималась небольшая группа сотрудников обсерватории, руководимая П. К. Нечипоренко [11].

В годы Великой Отечественной войны работы были приостановлены на длительное время и только в 1969 г., благодаря усилиям З. Н. Аксентьевой, изучение гравитационного поля Земли возобновилось. В Полтавской

гравиметрической обсерватории Б. И. Бродским [5, 6] создан образец баллистического гравиметра. Он состоит из вакуумной камеры со свободно падающим телом, интерференционного измерителя перемещения падающего тела и электронного измерителя времени. Точность измерения ускорения свободного падения с этой установкой — около $1 \cdot 10^{-4}$ см/с². После дальнейшего усовершенствования предполагается использовать ее в стационарных условиях для изучения неприливных (медленных) изменений силы тяжести, достигающих десятков микрогал. Они могут происходить от вариаций скорости вращения Земли, вызываемых изменениями ее тензора

Т а б л и ц а 2

Фундаментальные гравиметрические связи Полтавской гравиметрической обсерватории

Год	Пункт	Маятник (номер)	Наблюдатель
1927	Потсдам	Штюкрата (100, 101, 102, 103)	Д. В. Пясковский
1926	Пулкovo	То же	То же
1926	»	» »	Т. А. Буй, П. И. Михайловский
1932—1933	»	» »	В. А. Елистратов
1926	Одесса	» »	А. Я. Орлов, Д. В. Пясковский
1926	»	» »	Т. А. Буй, П. И. Михайловский
1930	»	» »	В. А. Елистратов, Д. В. Пясковский
1926	Ленинград	» »	Т. А. Буй, П. И. Михайловский
1929	»	» »	А. Я. Орлов
1929	»	» »	То же
1929	»	Штернека (84, 85, 109, 131, 132, 133)	» »
1927	Казань	Штернека (86, 87, 88, 130)	И. А. Дюков
1932	»	Штюкрата (100, 101, 102, 103)	В. А. Елистратов
1931	Тбилиси	То же	То же
1931	»	» »	» »
1932	Москва	» »	» »
1932	»	» »	» »
1932—1933	»	» »	» »

П р и м е ч а н и е. По пункту Одесса приведены только связи, выполненные с маятниками Штюкрата.

инерции, от перемещения полюсов, колебаний уровня грунтовых вод, конвективных и других перемещений вещества в коре и верхней мантии и от других причин, изучение которых является весьма актуальным направлением современной геодинамики.

К нему примыкают и наблюдения земных приливов. Приливные эффекты очень малы: амплитуда приливных изменений силы тяжести составляет всего $3 \cdot 10^{-7}$ самой этой силы, а приливногo наклона — $0.02''$. Настроенные на предельную чувствительность приборы для наблюдений земных приливов подвержены различным возмущениям и должны быть по возможности защищены от них. С этой целью они устанавливаются в глубоких подземных помещениях. Одной из причин, по которой для организации гравиметрической обсерватории была выбрана Полтава, было наличие здесь глубоких погребов, постройку которых относят к XVIII ст. [19].

Как известно, первые успешные наблюдения приливных наклонов земной поверхности осуществил Ребер-Пашвиц еще в 1892 г. с помощью горизонтального маятника [21]. Благодаря работам русских ученых Г. В. Ле-

Наблюдения приливных изменений силы тяжести, выполненные Полтавской обсерваторией

Пункт	Глубина подвала, м	Эпоха	Гравиметр
Полтава	4	1955	Граф-2
Полтава-1	5	1961—1964	Аскания GS-11
Симферополь	2	1965—1966	Аскания GS-11
Ялта	—	1966—1968	Аскания GS-11
Бахчисарай	2	1968—1971	Аскания GS-11 и GS-12
Полтава-2	5	1973—1976	Аскания GS-11 и GS-12

Примечания. 1. Положительное Δg соответствует опережению наблюдаемого прилива относительного запаздывание. 2. По пунктам Симферополь и Ялта приведены средние из результатов, полученных методами

вицкого и А. Я. Орлова [16, 21] горизонтальный маятник Цельнера с подвесом на металлических нитях около пятидесяти лет оставался основным и надежным прибором для наблюдений земных приливов. Что же касается наблюдений вертикальной составляющей приливной силы, то уверенные результаты были получены здесь только в 50-х годах нашего столетия с появлением современных высокоточных гравиметров. Однако, начиная с первого опыта Швейдара [26] в 1914 г., не прекращались попытки ученых пронаблюдать это интересное явление [27—29], которое совместно с наблюдениями горизонтальной составляющей прилива позволяет получить упругие параметры Земли — числа Лява k и h — чисто эмпирически, независимо от каких бы то ни было гипотез относительно внутреннего строения нашей планеты.

Этого рода наблюдениям А. Я. Орлов уделял большое внимание. Хотя технические возможности не позволяли в то время их осуществить, он живо интересовался последними достижениями в приборостроении, тщательно обсуждал и проверял каждую появившуюся возможность. В обширном его исследовании по земным приливам [22], опубликованном еще в 1915 г., вертикальной компоненте прилива посвящено два заключительных параграфа. В одном из них «О гравиметре кн. Б. Б. Голицына» подробно обсуждается вопрос о возможности наблюдений этой компоненты с помощью вертикального сейсмографа Б. Б. Голицына и делается вывод: «Из того, что здесь сказано, следует, что гравиметр кн. Б. Б. Голицына даже в настоящем его виде пригоден для определения с ним величины $\frac{\Delta g}{g}$ ». Обсуждению теории вертикального сейсмографа, которая является также теорией гравиметра (разница заключается только в частоте регистрируемых волн), посвящено несколько статей А. Я. Орлова [20]. К сожалению, эти работы не получили дальнейшего развития и не были доведены до практического использования сейсмографа Б. Б. Голицына для наблюдений земных приливов.

В СССР первые наблюдения приливных изменений силы тяжести были выполнены только в 1955 г. в Полтавской гравиметрической обсерватории З. Н. Аксентьевой с гравиметром Граф-2. Широкое развитие они получили в обсерватории с начала шестидесятых годов, после приобретения двух гравиметров фирмы «Аскания» GS-11 и GS-12. Программа наблюдений охватывает два направления. Первое — определение гармонических постоянных приливных волн в различных пунктах для вывода региональных значений этих постоянных. Второе направление — длительные наблюдения (в течение десятков лет) приливных изменений силы тяжести в одном пунк-

Волна M_2		$\delta(O_1) - \delta(K_1)$	Наблюдатель, литературный источник
δ	$\Delta \varphi$		
1.25	+8.9	—	З. Н. Аксентьева [1]
1.181±5	+0.8±0.2	0.032±16	И. А. Дычко [7]
1.174±4	-0.4±2	0.006±22	П. С. Корба [8]
1.170±4	+0.4±0.2	0.028±17	П. С. Корба [9]
1.164±5	+0.1±0.2	0.023±18	П. С. Корба [10]
1.187±3	+0.38±8	0.020±5	В. Г. Баленко, В. Г. Булацен, В. П. Шляховый, П. С. Корба, В. И. Токарь, И. А. Дычко [4]

тельно теоретического. Во все эти значения, кроме первой строки, введены поправки за инструментальное П. С. Матвеева [12] и Б. П. Перцева [24].

те — Полтавской гравиметрической обсерватории — с целью усовершенствования методики наблюдений, выявления тонких эффектов: возможного изменения упругих свойств коры и мантии, вызванного глубинными процессами, запаздывания земного прилива (вязкости твердой компоненты Земли), резонансного влияния жидкого ядра на земной прилив и др.

Первый ряд наблюдений в Полтаве получен в 1961—1964 гг. И. Я. Дычко [7]*. В 1964—1973 гг. П. С. Корба [8—10] провел двухлетние ряды наблюдений в трех пунктах Крымского полуострова, а в 1973—1976 гг. в Полтаве были выполнены повторные наблюдения с гравиметрами GS-11 и GS-12 [4]. Результаты наблюдений приливных изменений силы тяжести, выполненные Полтавской обсерваторией по главной приливной волне M_2 , приведены в табл. 3. Здесь же помещены разности $\delta(O_1) - \delta(K_1)$, которые характеризуют резонансное влияние жидкого ядра на волну K_1 [15, 25]. Хотя точность их еще недостаточна, чтобы сделать выбор той или иной модели Земли, предложенной теоретиками, лучший результат (Полтава-2) больше тяготеет к моделям М. С. Молоденского (по М. С. Молоденскому эта разность равна +0.023 или +0.022, а по Джеффрису и Висенте — +0.038 или +0.026.)

Как следует из опыта, гравиметрические приливные наблюдения в меньшей степени зависят от геологических особенностей местности, чем, например, наклономерные, а поэтому более пригодны для характеристики глобальных упругих свойств Земли. Подтверждением этому являются также результаты, полученные на трех станциях Крымского полуострова [8—10]. В условиях расчлененного рельефа и сложного геологического строения результаты по всем трем пунктам в пределах ошибок совпадают между собой.

В заключение отметим, что намеченные А. Я. Орловым направления научных исследований Полтавской гравиметрической обсерватории успешно развиваются. Это в полной мере относится также к работам по изучению гравитационного поля Земли и исследованию земных приливов. Работы эти получили широкую известность и высокую оценку специалистов [23]. Нужны были редкая интуиция и прозорливость, какими обладал А. Я. Орлов, чтобы определить на десятилетия вперед перспективу актуальных работ для целого научного коллектива.

* Наблюдения З. Г. Аксентьевой имеют низкую точность и представляют лишь исторический интерес.

1. *Аксентьева З. М.* Попередні дані про приливні варіації сили ваги в Полтаві.— Доп. АН УРСР, 1959, № 1, с. 29—31.
2. *Аксентьева З. Н.* Очерк жизни и творчества А. Я. Орлова.— В кн.: Орлов А. Я. Избр. тр. Киев : Изд-во АН УССР, 1961, т. 1, с. 3—37.
3. *Аксентьева З. М.* Дихання Землі.— К. : Т-во «Знання» УРСР, 1967.— 56 с.
4. *Баленко В. Г., Булацен В. Г., Шляховый В. П. и др.* Приливные изменения силы тяжести в Полтаве в 1973—1976 гг.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1978, вып. 10, с. 3—14.
5. *Бродский Б. И.* Предварительные результаты определения ускорения силы тяжести методом свободного падения тела.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1973, вып. 5, с. 10—11.
6. *Бродский Б. И.* Баллистический гравиметр Полтавской обсерватории.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1975, вып. 7, с. 24—26.
7. *Дычко И. А.* Приливные изменения силы тяжести в Полтаве.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1970, вып. 1, с. 192—198.
8. *Корба П. С.* Приливные вариации силы тяжести в Симферополе в 1964—1966 гг.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1970, вып. 1, с. 199—206.
9. *Корба П. С., Корба С. Н.* Приливные изменения силы тяжести в Ялте в 1966—1968 гг.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1970, вып. 2, с. 18—34.
10. *Корба П. С.* Приливные вариации силы тяжести в Бахчисарае в 1968—1971 гг.— Вращение и прилив. деформации Земли, 1973, вып. 5, с. 16—23.
11. *Коростеренко Н. К.* Гравитационный вариометр с двумя коромыслами, расположенными под углом 90°.— Разведка недр, 1939, № 6, с. 14—17.
12. *Матвеев П. С.* Гармонический анализ месячной серии наблюдений земных приливов.— В кн.: Земные приливы. Киев : Наук. думка, 1966, с. 51—79.
13. *Медунин А. Е.* Развитие гравиметрии в России.— М. : Наука, 1967.— 224 с.
14. *Михайлов А. А.* Успехи гравиметрии.— Фронт науки и техники, 1937, № 7, с. 47—58.
15. *Молоденский М. С., Крамер М. В.* Земные приливы и нутация Земли.— М. : Изд-во АН СССР, 1961.— 40 с.
16. *Орлов А. Я.* Наблюдения над деформациями Земли под влиянием лунного притяжения, произведенные в Юрьеве с горизонтальными маятниками Цельнера.— Изв. Император. Акад. наук, 1910, № 10, с. 775—784.
17. *Орлов А. Я.*— Определение силы тяжести в Западной Сибири.— Одесса, 1914.— 24 с.— (Тр. Астрон. обсерватории Новорос. ун-та; № 1).
18. *Орлов А. Я.* Определение силы тяжести в Горном Алтае (Ойротии) в 1916 и 1917 гг.— В кн.: Известия Всесоюзного треста основных геодезических и гравиметрических работ. М. : ОНТИ НКТП СССР, 1935, с. 7—18.
19. *Орлов А. Я.* Полтавская гравиметрическая обсерватория Академии наук УССР.— Тр. Полтав. гравиметр. обсерватории, 1950, 3, с. 3—12.
20. *Орлов А. Я.* Избранные труды : В 3-х т.— Киев : Изд-во АН УССР, 1961.— Т. 2—3.
21. *Орлов А. Я.* Первый ряд наблюдений с горизонтальными маятниками в Юрьеве над деформациями Земли под влиянием лунного притяжения.— Избр. тр. Киев : Изд-во АН УССР, 1961, т. 2, с. 156—215.
22. *Орлов А. Я.* Результаты Юрьевских, Томских и Потсдамских наблюдений над лунно-солнечными деформациями Земли.— Избр. тр., Киев, 1961, т. 3, с. 127—130.
23. *Парийский Н. Н.* Земные приливы.— В кн.: Развитие наук о Земле в СССР за 50 лет. М. : Наука, 1967, с. 27—34.
24. *Перцев Б. П.* Гармонический анализ упругих приливов.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 8, с. 946—958.
25. *Jeffreys H., Vicente R.* Theory of nutation and the variation of latitude.— Mont. Not. R. A. S., 1957, 117, p. 142—161.
26. *Schweydar W.* Beobachtung der Enderung der Intensität der Schwerkraft durch den Mond.— Sitzungsberichte K. Preuss. Akad. Wiss., 1914, 14, S. 454—465.
27. *Tomaschek R., Schaffernicht W.* Über die Messung der Zeitlichen Schwankungen der Schwerebeschleunigung mit Gravimetern.— Z. Geophys., 1933, 9, S. 125—136.
28. *Truman O.* Variations of gravity at one place.— Astrophys. J., 1939, 89, p. 445—462.
29. *Wolf A.* Tidal force observations (Oklahoma).— Geophysics, 1940, N 5, p. 317—320.