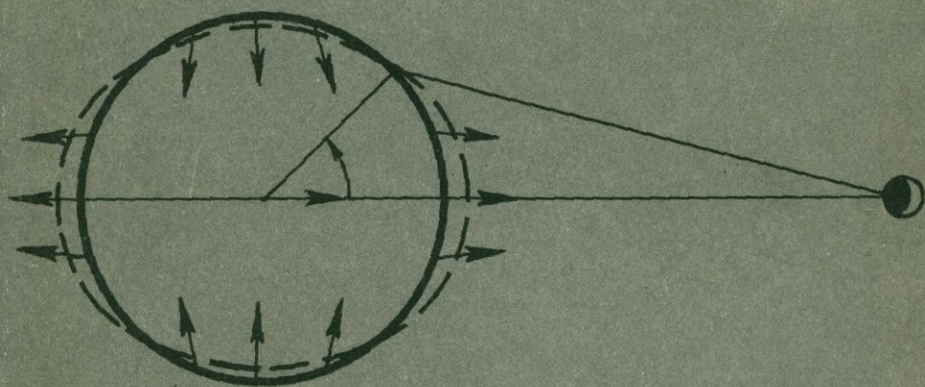


Приливные деформации Земли



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Ордена Ленина Институт физики Земли
им. О. Ю. Шмидта

525.622

Приливные деформации Земли



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1975



1988

В сборнике приведены результаты многолетних наблюдений изменений силы тяжести и земноприливных наклонов на основной станции в Талгаре, а также в Обнинске, Красной Лахре и наклономерных наблюдений в Гарме, Вигне (ЧССР) и ряде шурфов. Даны описания новых систем гравиметра и накломера. В статьях сборника также рассмотрены методические вопросы влияния изменений магнитного поля, температуры и давления на показания гравиметров и вопросы, связанные с их эталонированием.

Сборник рассчитан на исследователей и практиков геофизиков, гравиметристов, геодезистов, астрономов, а также студентов и аспирантов соответствующих вузов.

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР Н.Н. ПАРИЙСКИЙ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вниманию читателей предлагается очередной (одиннадцатый) сборник работ, посвященных исследованиям приливных деформаций Земли, выполненным в Институте физики Земли АН СССР. Приливные деформации широко изучаются во многих странах путем измерения временных изменений силы тяжести с помощью гравиметров, изменений наклонов поверхностных слоев Земли относительно отвесной линии с помощью наклономеров и изменений сжатия и расширения поверхностных слоев под действием приливных сил, для чего используют деформографы. Результаты этих измерений позволяют получить ценные данные для глобальных характеристик Земли (чисел Лява), связанных с ее внутренним строением, и для изучения региональных особенностей мантии и коры.

Измерение приливных изменений силы тяжести в ряде пунктов с возможно большей точностью необходимо для введения полноценных поправок при установлении гравиметрической сети и для развивающихся сейчас работ по измерению длительных изменений силы тяжести с целью изучения процессов, происходящих внутри Земли.

В сборнике представлены материалы по всем трем методам изучения приливных деформаций Земли: гравиметрическому, наклономерному и экстензиометрическому. По гравиметрическому методу даны результаты отдельных рядов измерений приливных параметров в трех пунктах: Талгаре, Красной Пахре и Обнинске. Кроме того, для основной земноприливной станции СССР в Талгаре,

где проводились наиболее длительные наблюдения по сравнению с другими приливными станциями на земном шаре, приведены сводные значения приливных параметров. Приливные параметры в Талгаре получены из наблюдений, произведенных тремя гравиметрами "Аскания" GS-11, обнимающих 14,8 приборо-лет. Шесть статей посвящены методическим и инструментальным исследованиям гравиметрическим методом, исследованию влияния температуры, магнитного поля, определению постоянных приборов и исследованию новых гравиметров с кварцевой пружиной.

По наклономерному методу исследования приливных деформаций приводятся результаты наблюдений наклономерами Островского в Талгаре, Гарме, Вигне (ЧССР) и макетом наклономера Гриднева в Обнинске. Кроме того, сравнивается точность наблюдений в шурфах и в штольнях с помощью наклономеров Островского. Несколько работ посвящено методическим вопросам исследования наклономеров, их эталонирования, определения барометрических коэффициентов и изготовления кварцевых систем для наклономеров Гриднева.

Экстензиометрическим работам посвящена одна статья об измерениях с различными способами регистрации на станции "Талгар".

Н.Н. Парийский

1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Н. Н. Парийский, С. Н. Барсенков, В. А. Волков,
Д. Г. Гриднев, М. В. Кузнецов, Л. В. Кузнецова,
Б. П. Перцев, Ю. Ф. Шibaев

ПРИЛИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ТАЛГАРЕ ПО МНОГОЛЕТНИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Талгарская станция Института физики Земли АН СССР расположена в центральной части Азиатского материка, в 2200 км от Аравийского моря на юге и в 2800 км от Карского моря на севере, и является основной земно-приливной станцией СССР. Талгар находится у южной границы поднятой равнины на высоте около 1000 м в 24 км к востоку от Алма-Аты. Эта станция в международном земно-приливном центре (Брюссель) носит название Алма-Ата (Талгар).

Приливные наблюдения в Талгаре начались с 1961 г.

До 1964 г. наблюдения проводились в помещении, описанном в [1], а с ноября 1964 г. — в новой наземной станции, подробно описанной в [2]. Новая станция (Талгар II) расположена всего в 20 м к востоку от первой. Камеры с гравиметрами и регистрирами расположены внутри здания и окружены термостатированным коридором, что позволило поддерживать стабильность температуры в них до нескольких сотых градуса в течение суток и в пределах одного градуса в течение года.

Наблюдения проводились тремя гравиметрами "Аскания" GS-11 № 126, 134 и 167. Для всех наблюдений с гравиметрами № 126 и 167 и трех первых рядов с гравиметром № 134 подробности опубликованы в работах [1-9].

Основные особенности наблюдений и обработки следующие.

1. Регулярно через несколько месяцев определялась кривая нелинейности записи и при ее изменениях поправки за нелинейность вводились различные даже внутри одного ряда наблюдений [1-3] и [5-7].

2. Калибровка масштабной линейки проводилась многократно как перекаткой шариков, так и на 5 различных полигонах, показавших отличную устойчивость цены деления (в милдигалах) в пределах 0,1%. Подробности описаны в [8].

3. Калибровка масштаба записи, как известно, определяется менее точно, и она проводилась через 10-15 сут. методом Перцева

путем двух противоположных сдвигов через сутки. Перевод измеренных ординат в микрогалы проводился как с переменным графически интерполированным масштабным коэффициентом, так и с постоянным.

4. Вводилась поправка за рен - неточное равенство одного деления масштабной линейки 100 делениям микрометра. Эта поправка в значении δ составляла $-0,006$ для гравиметра № 126, $-0,009$ для гравиметра № 134 и $-0,002$ для гравиметра № 167.

5. Вводилась инерционная поправка за приливные вертикальные колебания почвы [10], составлявшая в значениях δ - $0,0037$ для волны M_2 , $-0,0041$ для волны S_2 , $-0,0009$ для волны K_1 и $-0,0010$ для волны O_1 .

6. Анализ всех наблюдений проводился методом Перцева [11] (с учетом поправки в калибровке за нелинейность дрейфа [12]) со сдвигом центрального дня на каждые сутки. Для первого 19-месячного ряда с гравиметром № 126 анализ проведен также спектральным методом [4] (с прямоугольным окном) и методом Венедикова, проведенным Мельхиором целиком для всего ряда [13]. Для второго и третьего ряда с гравиметром № 126 Мельхиор прислал нам также обработку методом Венедикова. Результаты анализа различными методами хорошо сходятся, и мы приняли средние значения. Четвертый ряд для гравиметра № 134 и шесть рядов по гравиметру № 167 были нами также обработаны методом Венедикова месячными сериями со сдвигом на двое суток.

7. Особое внимание было обращено на определение инструментального запаздывания [14-16], о чем подробнее изложено ниже.

8. Средние квадратические ошибки результатов каждого ряда определялись в случае анализа по методу Перцева по внутренней сходимости независимых месячных анализов, причем это определение обычно делалось трехкратно, сдвигая независимые ряды на 10 и 20 сут., и из полученных трех ошибок брались средние.

9. Исследовалось влияние изменений магнитного поля на показания гравиметров и гальванометров, показавшее его несущественность [17].

10. При осреднении не отбрасывались отклоняющиеся результаты за исключением величин $\Delta\phi$ для волны S_2 в первом ряду наблюдений гравиметром № 126, где были отброшены данные для декабря 1962 г. и января 1963 г., явно аномальные, как видно из графика с суточным сдвигом центрального дня, приведенным в [1].

11. В отличие от опубликованных данных определение запаздываний фаз произведено заново до $0,01^\circ$.

12. Учет влияния океанов произведен Перцевым по улучшенной теории. Поправки существенно отличаются от прежде опубликованных [7]. Учтено несохранение объема водных масс в ранее использованных котидальных картах К.Т. Богданова и В.А. Магарика [24]. Результаты измерений по отдельным гравиметрам и рядам приведены в табл. 1.

При обработке наблюдений методом Перцева волна K_1 выделяется из группы волн, включающей K_1, P_1, S_1 , в предположении, что за-

паздывание фаз у этих волн одинаковое, а отношение амплитуд равно отношению теоретических амплитуд (не учитывая влияния жидкого ядра). Однако влияние жидкого ядра на значение δ , получаемое по волнам K_1 и P_1 , отличается по расчетам М.С. Молоденского [18] всего на 0,003, и, учитывая, что амплитуда волны P_1 приблизительно в 3 раза меньше, чем волны K_1 , мы можем пренебречь различием в значениях δ .

Хуже обстоит дело с влиянием волны S_1 на K_1 . Теоретическое значение амплитуды волны S_1 составляет по таблицам Дудсона 423/53050=0,80%, а по таблицам Картрайта 416/53011=0,79% от амплитуды волны K_1 . Из наблюдений же, обработанных методом Венедикова при длине ряда более года, значения δ для волны S_1 иногда получаются значительно большими единицы и в крайних случаях достигают значения $\delta(S_1) = 18$ (как, например, для двухгодичного ряда в 1967-1969 гг. гравиметром "Аскания" № 167). В этом случае амплитуда волны S_1 составляла около 12% от волны K_1 и могла сильно исказить значение $\delta(K_1)$, определяемое методом Перцева. Однако средние значения $\delta(K_1)$ для этого ряда, определенные методами Венедикова и Перцева, отличаются между собой всего на 0,5%. Это естественно, так как обрабатывался интервал, почти равный двум годам (677 сут.), а период интерференции волн K_1 и S_1 равен одному году. В среднем за год искажающее влияние волны S_1 на волну K_1 исключается, если ее амплитуда и фаза сохраняют свое значение. Расхождение между значениями δ , получаемыми методами Венедикова и Перцева, почти всегда меньше ошибок определения δ , поэтому мы принимали для дальнейших выводов среднее значение из получаемых двумя методами.

Средние по каждому гравиметру для каждой волны получены с весами, обратно пропорциональными квадратам приведенных в табл. 1 средних квадратических ошибок каждого ряда. Средние квадратические ошибки средних получены по отклонениям Δk результатов каждого ряда k с весами $p_k = 1/\epsilon_k^2$, где ϵ_k - средняя квадратическая ошибка среднего для ряда k для данной волны;

$$\epsilon_{\text{CP}} = \pm \sqrt{\frac{\sum p_k \Delta k^2}{(n-1)\sum p_k}}, \quad (1)$$

где n - число рядов.

Как видно из табл. 1 и 2, эти ошибки в среднем немного больше, нежели ошибки, вызываемые неточностью определения калибровочных коэффициентов.

Влияние случайных ошибок определения калибровочных коэффициентов на среднее значение δ для каждого ряда значительно меньше, так как величины ϵ_k определяются также систематическими изменениями k с течением времени, а эти изменения при обработке учитывались.

Таблица 1

Значение δ в Талгаре, исправленные за рен*

Номер гравиметра	Ряд	Период наблюдений	Число суток	M_2	S_2	K_1	O_1	Метод анализа
126	1	XI 1961-V 1963 гг.	547	1,165 ± 48	1,175 ± 84	1,152 ± 73	1,175 ± 99	Перцев, Сп.**, Ве- недигов
	2	VIII 1963-III 1964 гг.	355	1,151 ± 50	1,151 ± 100	1,130 ± 68	1,145 ± 71	Перцев, Венедиков
	3	I 1965-XII 1965 гг.	361	1,158 ± 37	1,136 ± 52	1,127 ± 47	1,152 ± 73	То же
	4	XII 1965-XII 1966 гг.	362	1,134 ± 73	1,121 ± 98	1,102 ± 100	1,126 ± 79	Перцев
	5	XII 1966-VII 1967 гг.	207	1,148 ± 67	1,131 ± 53	1,120 ± 100	1,143 ± 87	"
		Среднее		1,155 ± 44	1,139 ± 78	1,129 ± 66	1,146 ± 71	
134	1	XI 1961-VI 1963 гг.	568	1,156 ± 41	1,136 ± 129	1,152 ± 132	1,158 ± 82	Перцев
	2	XI 1964-XII 1965 гг.	390	1,179 ± 79	1,178 ± 109	1,155 ± 111	1,170 ± 105	"
	3	XII 1966-VII 1967 гг.	207	1,171 ± 83	1,201 ± 80	1,127 ± 113	1,176 ± 163	"
	4	X 1970-VI 1971 гг.	280	1,176 ± 91	1,196 ± 127	1,148 ± 114	1,181 ± 86	Перцев, Венедиков
	Среднее		1,164 ± 57	1,184 ± 134	1,145 ± 65	1,170 ± 56		
167	1	VIII 1967-VI 1969 гг.	677	1,153 ± 33	1,156 ± 67	1,146 ± 95	1,164 ± 128	Перцев Венедиков
	2	VIII 1969-V 1970 гг.	294	1,164 ± 67	1,161 ± 133	1,133 ± 62	1,157 ± 50	Перцев
	3	X 1970-VIII 1971 гг.	290	1,183 ± 43	1,148 ± 91	1,192 ± 105	1,167 ± 140	Перцев Венедиков
	4	XI 1971-VI 1972 гг.	237	1,153 ± 27	1,155 ± 56	1,140 ± 44	1,163 ± 60	То же
	5	VII 1972-XI 1972 гг.	165	1,158 ± 30	1,152 ± 50	1,144 ± 50	1,160 ± 70	"
	6	XII 1972-I 1974 гг.	372	1,171 ± 20	1,172 ± 41	1,149 ± 42	1,178 ± 59	"
	7	I-V 1974 г.	124	1,179 ± 37	1,196 ± 68	1,163 ± 79	1,187 ± 107	Перцев, Венедиков
		Среднее		1,165 ± 42	1,164 ± 57	1,147 ± 49	1,166 ± 39	

* Поправка к значениям δ за проектирование теоретического приливного изменения силы тяжести на нормаль [25] не введена. Она составляет - 0,02% для суточных волн и +0,31% для полусуточных.

**Сп. - метод спектрального анализа.

Таблица 2

Сводка определений калибровочных коэффициентов регистрограмм

Номер гравиметра	Ряд	Число определений	k , мкг/мм	ϵ , %
126	1	44	$8,62 \pm 0,051$	0,59
	2	23	$6,07 \pm 0,024$	0,40
	3	24	$4,62 \pm 0,031$	0,67
	4	19*	$8,48 \pm 0,020$	0,23
	5	16	$9,32 \pm 0,060$	0,64
			Среднее	0,51
134	1	46	$4,66 \pm 0,029$	0,62
	2	30	$5,43 \pm 0,025$	0,47
	3	15	$11,10 \pm 0,061$	0,55
	4	18	$3,41 \pm 0,041$	1,20
			Среднее	0,71
167	1	56	$4,31 \pm 0,027$	0,63
	2	20	$3,24 \pm 0,033$	1,02
	3	16	$6,11 \pm 0,020$	0,33
	4	16	$2,19 \pm 0,021$	0,96
	5	12	$2,64 \pm 0,014$	0,53
	6	35	$4,04 \pm 0,016$	0,41
	7	16	$3,84 \pm 0,016$	0,42
			Среднее	0,60

*Без первых четырех месяцев, во время которых гравиметр работал на большой чувствительности.

В среднем по трем гравиметрам можно сказать, что неточность определения калибровочных коэффициентов дает ошибку в значении δ для ряда около 0,6%. Между тем по сходимости средних значений по четырем волнам для отдельных рядов мы получаем ошибку одного годового ряда, равную 0,96%. Таким образом, по-видимому, кроме ошибок, вызванных неточностью калибровок, имеются другие источники ошибок.

Исследование возможного влияния переменных барометрических нагрузок было исследовано М.В. Ивановой и Б.П. Перцевым [19] и показало незначительность этого влияния.

В 1972 г. нами было исследовано возможное влияние изменений магнитного поля на показания гравиметров. Для этого гравиметры или гальванометр помещали в катушку Гельмгольца и поле менялось на 20 000 у. Изменение поля на 10 у давало эффект, эквивалент-

ный изменению силы тяжести меньше 0,005 мкгг, как при изменениях вертикальной, так и горизонтальных составляющих поля. Подробно этот эксперимент изложен в [17]. Так как суточные изменения естественного магнитного поля имеют амплитуды меньше 50γ [20], то влияние этих изменений на гравиметры "Аскания" неопутимо и не может объяснять наблюдаемых изменений в значениях δ .

Средние значения δ по отдельным гравиметрам и волнам, полученные с весами, обратно пропорциональными средним квадратическим ошибкам ($p = 1/\epsilon^2$), и весами, пропорциональными длительности каждого ряда ($p = T$), приведены в табл. 3, где даны также средние по всем гравиметрам и по всем четырем волнам.

В последних двух столбцах табл. 3 приведены средние значения δ по четырем волнам с весами $p = 1/\epsilon^2$ и весами, пропорциональными амплитудам волн a .

Ошибки в двух последних столбцах получены по сходимости результатов для отдельных волн по формуле (1), где $n = 4$ и Δ_k - отклонение значения δ для отдельных волн от среднего по четырем волнам. Исключение составляют средние в строках 4-й и 11-й, полученные из отдельных значений δ для каждого гравиметра, стоящих выше в том же столбце.

В строках 6-й, 7-й и 13-й, 14-й таблицы даны средние по трем гравиметрам с весами, пропорциональными длительности наблюдений ($p = T$) и без весов ($p = 1$).

Мы принимаем как наиболее вероятное среднее значение δ в Талгаре, полученное с весами $p = 1/\epsilon^2$ из табл. 3

$$\delta = 1,1613 \pm 0,0046 (\pm 0,4\%).$$

Отклонения от этого среднего следующие: гравиметр № 126 -1,2%; № 134 +0,4%; № 167 +0,2%. Отклонения результатов по отдельным волнам (из строки 5-й табл. 3): M_2 -0,17%; S_2 -0,41%; K_1 +0,32%; O_1 +0,31%.

Поправки за влияние дальних зон океанических приливов были заново вычислены Перцевым, пользовавшимся котидальными картами Богданова и Магарика. В отличие от прежних своих работ он учел члены первого порядка в разложении влияния морского прилива от каждого элемента площади и принял уточненные значения нагрузочных коэффициентов высшего порядка, а также немного исправил карты Богданова за счет несохранения объема воды в первоначальных вариантах карт. Новые поправки существенно отличаются от прежде опубликованных. Эти поправки значений δ и соответствующие исправленные значения $\delta_{ис}$ по четырем волнам даны ниже:

Волна	M_2	S_2	K_1	O_1
Без учета океанов δ	1,1571	1,1543	1,1628	1,1627
Поправки за океаны $\Delta\delta$	-0,0077	+0,0036	+0,0045	+0,0026
Исправленные значения $\delta_{ис}$	1,1494	+1,1579	1,1674	1,1653

Таблица 3

Средние значения δ в Талгаре по отдельным гравиметрам с поправками за рен, инерционный эффект, +0,022 для волны K_1 за влияние жидкого ядра

Номер гравиметра	Число суток	M_2	S_2	K_1	O_1	Средние из 4-х волн	
		$a=39,87$	$a=18,60$	$a=43,60$	$a=30,97$	$p = 1/\epsilon^2$	$p = a$
$p = 1/\epsilon^2$							
126	1832	1,151	1,135	1,150	1,145	1,1473	1,1470
		± 44	± 78	± 66	± 71	± 32	± 31
134	1445	1,160	1,180	1,166	1,169	1,1659	1,1669
		± 57	± 134	± 66	± 56	± 30	± 36
167	2159	1,161	1,160	1,168	1,165	1,1637	1,1641
		± 42	± 57	± 49	± 39	± 17	± 19
						$\delta_{\text{ср}}$	1,1613
Средние							± 46
							± 52
$p = 1/\epsilon^2$		1,1571	1,1543	1,1628	1,1627	1,1591	1,1599
		± 33	± 102	± 54	± 58	± 25	± 6
$p = T$		1,1574	1,1569	1,1614	1,1593	1,1584	1,1591
		± 31	± 124	± 58	± 73	± 9	± 10
$p = T$		1,1573	1,1583	1,1613	1,1597	1,1584	1,1593
		± 34	± 67	± 43	± 40	± 9	± 3
$p = T$							
126	1832	1,149	1,143	1,150	1,150	1,1486	1,1487
		± 46	± 103	± 88	± 88	± 12	± 14
134	1445	1,164	1,164	1,169	1,167	1,1668	1,1663
		± 59	± 157	± 52	± 52	± 12	± 13
167	2159	1,160	1,156	1,172	1,166	1,1629	1,1648
		± 45	± 46	± 71	± 33	± 29	± 34
						$\delta_{\text{ср}}$	1,1581
Средние							± 62
							± 61
$p = 1/\epsilon^2$		1,1568	1,1545	1,1663	1,1648	1,1603	1,1614
		± 44	± 37	± 55	± 33	± 29	± 28
$p = T$		1,1574	1,1537	1,1638	1,1609	1,1586	1,1598
		± 43	± 66	± 70	± 55	± 19	± 20
$p = I$		1,5777	1,1543	1,1637	1,1610	1,1588	1,1594
		± 44	± 61	± 69	± 55	± 18	± 19

После введения поправок за влияние океанических приливов сходимость результатов по полусуточным и суточным волнам несколько ухудшается. Без учета океанических приливов мы имеем: $\delta_{\text{пс}} = 1,1557$; $\delta_{\text{с}} = 1,1627$. Разница составляет 0,6%. После введения поправок за океаны: $\delta_{\text{пс}} = 1,1536$; $\delta_{\text{с}} = 1,1663$. Разница равна 1,1%. Не исключена возможность, что это различие объясняется неточностью котидальных карт.

При образовании общего среднего по всем четырем волнам поправкам за влияние океанов нет оснований придавать веса, соответствующие ошибкам наблюдаемых значений δ . Среднее значение поправки за океаны с весами, пропорциональными амплитудам волн, составляет: $\Delta\delta = +0,0003$ ($p = a$), а без весов $\Delta\delta = +0,0008$ ($p = 1$).

Мы принимаем за среднее значение δ в Талгаре без учета влияния океанов $\delta = 1,161 \pm 0,00046$, а с поправкой за влияние океанов $\delta_{ис} = 1,162 \pm 0,005$.

Если бы это значение было представительно для всей Земли в целом, то, учитывая малую зависимость отношения чисел Лява h и k от модели строения Земли, как показано М.С. Молоденским [21], мы получили бы, принимая $h = 2,04$ или $k = 0,49h$, $\delta = 1 = 0,54k$ и $k = 0,300 \pm 0,009$. Не учитывая влияния океанов $\delta = 1,161$, что соответствует $k = 0,298 \pm 0,009$. Эта точность уже позволила бы использовать полученное значение k для некоторого ограничения возможных моделей внутреннего строения Земли.

Необходимы длительные наблюдения повышенной точности во многих местах с тщательным анализом их точности, чтобы получить представительное значение δ для всей Земли. Очень существенно при этом иметь правильные котидальные карты для надежного учета влияния океанов с точностью до 10-15%.

Влияние жидкого ядра на различие факторов δ для волн O_1 и K_1 получено следующим:

Номер гравиметра	$\delta(O_1) - \delta(K_1)$
126	+0,017
134	+0,025
167	+0,019
Среднее	
$p = 1$	+0,020 \pm 0,0024
$p = T$	+0,020 \pm 0,0016

В пределах точности измерений эта разность согласуется с принятым нами значением $\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0,022$, согласно теории М.С. Молоденского.

При обработке наблюдений запаздывания фаз особое внимание было обращено на инструментальное запаздывание системы гравиметр-регистрирующий гальванометр, которое определялось методом, изложенным в [15]. Маятнику гравиметра в момент t_0 давался сдвиг шпindelом измерительной пружины. Ординаты записи после момента t_0 аппроксимировались функцией

$$y(t) = y_0 + H_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + H_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + at, \quad (2)$$

где время t отсчитывается от момента t_0 .

Член at учитывает дрейф прибора и линейную часть приливного изменения силы тяжести. Для гравиметров "Аскания" GS-11, снабженных фирменными гальванометрами, H_1 на порядок меньше H_2 и $\tau_1 \ll \tau_2$. Поэтому, как показано в [15], тангенс инструментально-го запаздывания по фазе определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \kappa = H_2 \tau_2 \omega, \quad (3)$$

где $H_2' = \frac{H_2}{H_2 + H_1}$ и ω — частота входного синусоидального сигнала.

Для каждого определения H_1 , H_2 и τ_2 запись производилась в течение более часа на значительно большей развертке, чем запись приливов — 8,6 мм/мин с минутными марками времени. Такие определения делались на сравнительно линейных участках записи, в промежутках между экстремумами приливной кривой, парами со смещениями в противоположные стороны.

В случае отсутствия запаздывания запись после сдвига шпинделем представлялась бы линией

$$y_1(t) = y_0 + H_1 + H_2 + at. \quad (4)$$

Эта линия проводилась на регистрограмме как касательная к кривой в момент, отстоящий от t_0 на 50–70 мин, когда влияние экспонент уже не ощутимо. Точность проведения этой касательной является главным источником ошибок определения H и τ_2 . При $t = 0$ графически определяется

$$H_1 + H_2 = y_1(0) - y_0. \quad (5)$$

На каждую минуту в моменты t_k , начиная с момента t_1 или t_2 , когда влияние первого члена в выражении для $y(t)$ уже не ощутимо, измеряются величины

$$y_1(t_k) - y(t_k) = y'(t_k) = H_2 e^{-\frac{t_k}{\tau_2}}, \quad (6)$$

имея

$$y'(t_1) = H_2 e^{-\frac{t_1}{\tau_2}},$$

τ_2 определяется как среднее из 20–25 значений, получаемых при различных t_k из выражений

$$\tau_{2k} = \frac{(t_k - t_1) \operatorname{Ige}}{\lg y'(t_1) - \lg y'(t_k)} \quad \text{и} \quad H_k = y'(t_k) e^{\frac{t_k}{\tau_2}}. \quad (7)$$

Второй способ заключался в определении $\lg H_2$ и $\lg e/\tau_2$ из линейного соотношения

$$\lg y'(t_k) = \lg H_2 - \frac{\lg e}{\tau_2} t_k \quad (8)$$

по способу наименьших квадратов или чисто графически, наносят значения $\lg y'(t_k)$ на график по аргументу t_k и проводят по полученным точкам прямую. Ордината точки пересечения этой прямой с осью y дает $\lg H_2$, а абсцисса T точки пересечения с осью t_k позволяет определить

$$\tau_2 = \frac{T \lg e}{\lg H_2} \quad (9)$$

Оба способа имеют сходящиеся результаты. Другие методы определения запаздывания с помощью периодического подведения под гравиметр 3-тонного груза и периодического вертикального смещения гравиметра на колебательной платформе описаны в статье В.А. Войкова и Н.Н. Парийского [16]. Эти методы более трудоемки и продолжают разрабатываться и уточняться.

Средние результаты определений инструментального запаздывания приведены в табл. 4.

В 1972 г. для гравиметра № 134 инструментальное запаздывание было определено заново, и хотя значения τ_2 и H_2 несколько отличаются, но их произведение, определяющее запаздывание, совпадает вполне удовлетворительно со старым.

Гравиметр GS-11 № 167 работал с различными гальванометрами и для каждого определялось запаздывание. Особенно сильно отличаются результаты для голландского гальванометра А54-10804. Последний ряд наблюдений с гравиметром GS-11 № 167 проводился с гальванометром от гравиметра GS-11 № 124. Определения запаздывания проведены при различных напряжениях на лампе фотоэлемента: 5,75 (рабочее напряжение) и 5,50 (измененное). Результаты приведены в двух предпоследних строках табл. 4. Разница практически в пределах ошибок. Запаздывания вызваны почти исключительно гальванометром. Для иллюстрации в последней строке табл. 4 приведены запаздывания, полученные в 1961-1962 гг. для гравиметра № 124 с его гальванометром. Эти запаздывания практически совпадают с запаздываниями записи гравиметра № 167 с тем же гальванометром от гравиметра № 124. Аналогичное совпадение мы наблюдаем и для гальванометра № 134 (сравнить строки 2-, 3- и 4-ю со строкой 6-й табл. 4).

После введения поправок за инструментальное запаздывание, исправленные значения по каждому гравиметру приведены в табл. 5. Для гравиметров № 126 и 134 эти поправки взяты из 1-й и 2-й строчек табл. 4, а для гравиметра № 167 — различные для различных рядов из 5-, 6- и 7-й строк той же таблицы.

Таблица 4

Инструментальное запаздывание $\Delta\phi_{\text{ин}}$ для различных гравиметров

Номер гравиметра	Гальванометр	Дата	Число определений	τ_2 , мин	N'_2	$\tau_2 N'_2$, мин	$\Delta\phi_{\text{ин}}^{\sigma}$			
							M_2	S_2	K_1	O_1
126	126	VII 1967 г.	28	5,68 ± 4	0,923 ± 1	5,24 ± 4	2,53 ± 2	2,61 ± 2	1,31 ± 1	1,22 ± 1
134	134	VII 1967 г.	26	6,95 ± 8	0,909 ± 3	6,32 ± 8	3,04 ± 4	3,16 ± 4	1,59 ± 2	1,47 ± 2
134	134	VI 1972 г. (анал.)	11	6,62 ± 11	0,934 ± 13	6,18 ± 14	2,99 ± 7	3,10 ± 7	1,55 ± 4	1,44 ± 3
134	134	VI 1972 г. (граф.)	11	6,60 ± 12	0,949 ± 19	6,26 ± 17	3,02 ± 8	3,13 ± 8	1,57 ± 4	1,45 ± 4
167	A-54	VII 1967 г.	24	1,01 ± 2	0,442 ± 4	0,45 ± 1	0,22 ± 5	0,23 ± 5	0,10 ± 2	0,11 ± 2
167	134	VI 1970 г.	10	6,61 ± 6	0,935 ± 9	6,18 ± 8	2,98 ± 4	3,08 ± 4	1,55 ± 2	1,44 ± 2
167	124	VII 1972 г. (5,75в)	11	9,30 ± 10	0,960 ± 4	8,93 ± 10	4,30 ± 5	4,45 ± 5	2,23 ± 2	2,08 ± 2
167	124	VII 1972 г. (5,50в)	11	9,55 ± 14	0,964 ± 7	9,21 ± 15	4,43 ± 7	4,60 ± 7	2,32 ± 4	2,15 ± 4
124	124	IV 1967 г.	19	9,50 ± 9	0,950 ± 4	9,02 ± 9	4,35 ± 4	4,50 ± 4	2,26 ± 2	2,10 ± 2

Таблица 5

1988

Значения $\Delta\phi$ в Талгаре, исправленные за инструментальное запаздывание

2 640

Номер гравиметра	Ряд	Период наблюдений	Число суток	M_2	S_2	K_1	O_1	Метод анализа
126	1	XI 1961- V 1963 гг.	547	-0,62 ± 19	-1 75 ± 29	-0,04 ± 26	+0,25 ± 35	Перцев, Сп., Венедиков
	2	VIII 1963-III 1964 гг.	355	-0,88 ± 18	-1,48 ± 60	-0,58 ± 39	+0,49 ± 32	
	3	I 1965- XI 1965 гг.	361	-0,55 ± 14	-0,79 ± 22	+0,07 ± 20	+0,04 ± 33	
	4	XII 1965- XII 1966 гг.	362	-0,44 ± 25	-0,63 ± 48	+0,16 ± 17	+0,07 ± 22	Перцев
	5	XII 1966- VII 1967 гг.	207	+0,22 ± 23	-0,57 ± 40	+0,76 ± 63	+0,53 ± 43	"
		Среднее		-0,52 ± 16	-1,03 ± 23	+0,06 ± 12	+0,22 ± 10	
134	1	XI 1961- VI 1963 гг.	568	-0,36 ± 20	-1,51 ± 15	+0,45 ± 52	-0,11 ± 34	Перцев
	2	XI 1964- XII 1965 гг.	390	-0,36 ± 11	+0,31 ± 55	+0,98 ± 54	+0,07 ± 48	
	3	XII 1966- VII 1967 гг.	207	+0,24 ± 30	+0,48 ± 53	+2,40 ± 87	+1,03 ± 60	"



Таблица 5 (окончание)

Номер гравиметра	Ряд	Период наблюдений	Число суток	M_2	S_2	K_1	O_1	Метод анализа
134	4	X 1970-VI 1971 гг.	280	-0,22	-0,50	+0,21	+0,47	Перцев, Венедиков
				± 20	± 38	± 29	± 33	
		Среднее		-0,26	-1,16	+0,53	+0,26	
				± 13	± 39	± 33	$\pm .21$	
167	1	VIII 1967-VI 1969 гг.	677	+0,12	+2,10	-0,80	-0,29	Перцев, Венедиков
				± 16	± 32	± 48	± 63	
	2	VIII 1969-V 1970 гг.	294	-0,73	+0,02	+0,13	+0,08	Перцев
				± 23	± 36	± 46	± 30	
	3	X 1970-VIII 1971 гг.	290	-0,66	-1,32	+3,24	+0,11	Перцев, Венедиков
				± 21	± 44	± 50	± 88	
	4	XI 1971-V 1972 гг.	237	-1,23	-1,25	-0,56	-0,32	То же
				± 11	± 23	± 69	± 29	
	5	VII 1972-XI 1972 гг.	165	-1,11	-0,11	-0,97	-0,35	"
				± 13	± 25	± 25	± 35	
	6	XII 1972-I 1974 гг.	372	-0,74	-0,64	-0,05	-0,02	"
				± 15	± 31	± 24	± 33	
	7	I-V 1974 г.	124	-0,65	+0,02	+1,15	+0,40	"
				± 18	± 32	± 39	± 51	
		Среднее		-0,82	-0,23	0,00	-0,10	
				± 17	± 42	± 46	± 10	

Таблица 6

Средние значения $\Delta\phi$ в Талгаре с учетом инструментального запаздывания

Номер гравиметра	Число суток	M_2	S_2	K_1	O_1
126	1832	-0,52 ± 16	-1,03 ± 23	+0,06 ± 12	+0,22 ± 10
134	1445	-0,26 ± 13	-1,16 ± 39	+0,53 ± 33	+0,26 ± 21
167	2159	-0,82 ± 17	-0,23 ± 42	0,00 ± 46	-0,10 ± 10
Среднее		-0,48 ± 16	-0,91 ± 23	+0,11 ± 10	+0,08 ± 12
$p = 1/\epsilon^2$		-0,57 ± 16	-0,75 ± 23	+0,16 ± 16	+0,18 ± 13
$p = T$		-0,53 ± 24	-0,81 ± 41	+0,20 ± 24	+0,13 ± 16

Ошибки средних запаздываний фаз увеличены за счет ошибки определения инструментального запаздывания.

Результаты определения исправленных запаздываний фаз изменения силы тяжести для каждого ряда наблюдений приведены в табл. 5, где даны также средние для каждого гравиметра, полученные с весами $p_k = 1/\epsilon_k^2$, где ϵ_k — средняя квадратическая ошибка фазы каждого ряда, полученная по внутренней сходимости результатов независимых месячных анализов, входящих в данный ряд.

Ошибки среднего запаздывания по каждому гравиметру для каждой волны ϵ_g получены по внутренней сходимости отдельных рядов с учетом весов p . Средние значения запаздывания фазы изменений силы тяжести даны в табл. 6.

Запаздывание приливного горба Θ определялось для каждой волны по формуле Сликтера

$$\Theta = T \frac{\delta}{\delta - 1} \Delta\phi = c\Delta\phi, \quad (10)$$

где T — период волны в долях средних суток; δ было принято для каждой волны из 5-й строки табл. 3, но в $\delta(K_1)$ не введено изменение за влияние жидкого ядра.

В табл. 7 приведены средние значения Θ по каждому гравиметру с весами $p = 1/\epsilon^2$, а также среднее по всем гравиметрам. Среднее Θ для всех гравиметров с весами, пропорциональными T , получается близким к нулю. По-видимому, чисто случайно расхождение значений Θ , полученных по различным гравиметрам, ока-

Таблица 7. Определение запаздывания $\Theta(p=1/\epsilon^2)$

Номер гравиметра	Число суток		M_2	S_2	K_1	O_1	Средние Θ°	
							$p = 1/\epsilon^2$	$p = a$
		$T_{\text{сут}}$	0,517	0,500	0,997	1,075		
		δ	1,1575	1,1543	1,1408	1,1627		
		c	3,7995	3,7404	8,0780	7,6823		
126	1832	$\Delta\phi$	-0°,52 ± 16	-1°,03 ± 23	+0°,06 ± 12	+0°,22 ± 10		
		Θ	-1,98 ± 61	-3,85 ± 86	+0,48 ± 97	+1,69 ± 77	-1,06 ± 1,17	-0,58 ± 1,10
134	1445	$\Delta\phi$	-0,26 ± 13	-1,16 ± 39	+0,53 ± 33	+0,26 ± 21		
		Θ	-0,99 ± 49	-4,34 ± 1,46	+4,28 ± 2,67	+2,00 ± 1,61	-0,93 ± 0,90	+0,96 ± 0,72
167	2159	$\Delta\phi$	-0,82 ± 17	-0,23 ± 42	+0,00 ± 46	-0,10 ± 10		
		Θ	-3,12 ± 65	-0,86 ± 1,57	0,00 ± 3,72	-0,77 ± 77	-1,42 ± 1,06	-0,88 ± 0,76
						Θ_{cp}	-1,12 ± 0,15	-0,54 ± 0,41
		$\Delta\phi_{\text{cp}}$	-0°,48 ± 16	-0°,91 ± 23	+0°,11 ± 10	+0°,08 ± 12		
		Θ_{cp}	-1,82 ± 61	-3,41 ± 86	+0,89 ± 81	+0,62 ± 92	-1,10 ± 0,94	
		$\Delta\phi_g$ ($\Theta - 1,12$)	-0,29	-0,30	-0,14	-0,15		

залось малым. Мы условно этому среднему приписываем ошибку несколько большую $\pm 0,5^\circ$, т.е. среднюю из ошибок по сходимости результатов: по отдельным гравиметрам $\pm 0,15$ и по отдельным волнам $\pm 0,94$ и принимаем

$$\Theta = -1,1^\circ \pm 0,5^\circ$$

Для суточных волн при определении Θ возможно следовало бы учитывать среднее значение косинуса отклонения Луны и Солнца, но это значение близко к единице, и мы им пренебрегаем.

Если мы примем это значение Θ , то соответствующие запаздывания фаз изменений силы тяжести по отдельным волнам будут очень малы: $0^\circ,3$ для полусуточных волн и $0^\circ,15$ для суточных. Соответствующие числа приведены в последней строке табл. 7.

Если бы мы условно приняли это значение Θ характерным для всей Земли, то замедление вращения Земли, вызываемое земными приливами, давало бы удлинение суток в столетие, равное $\Delta T = 0,85$ мсек/столетие. Вековое замедление, вызываемое морскими приливами, значительно больше.

Методом моментов, используя котидальные карты Богданова - Магарика, Пекериса - Асада и Цахеля в среднем, Н.Н. Парийским и М.В. Кузнецовым [22, 23] было получено замедление вращения Земли от океанических приливов, соответствующее

$$\Delta T = +3,2 \text{ мсек/столетие.}$$

Таким образом, влияние земных приливов дало бы около 20% от общего приливного замедления.

Результаты, приведенные в табл. 7, получены без учета влияния океанических приливов на $\Delta\phi_g$.

Новые поправки $\Delta\phi_0$ за влияние дальних зон океанических приливов вычислены Б.П. Перцевым по картам Богданова и Магарика для Талгара, как указано выше. Исправленные значения $\Delta\phi_{ис} = \Delta\phi_g + \Delta\phi_0$, соответствующие значениям $\Theta_{ис}$ и поправкам в $\Theta - \Delta\Theta_0$ за влияние океанов, приведены ниже:

Волны	M_2	S_2	K_1	O_1
Наблюдаемое запаздывание $\Delta\phi_g$	-0,48	-0,91	+0,11	+0,08
Влияние океанов $\Delta\phi_0$	+0,53	+0,43	-1,31	-0,16
Исправленное запаздывание $\Delta\phi_{ис} = \Delta\phi_g + \Delta\phi_0$	+0,05	-0,48	-0,20	-0,08
$\Theta_{ис}$	+0,19	-1,80	-1,61	-1,61
Влияние океанов $\Theta - \Delta\Theta_0$	+2,02	+1,61	-2,50	-1,23

Осреднять эти значения $\Theta_{ис}$ с весами $p = 1/\epsilon^2$ не имеет смысла, тем более что ошибки $\Delta\phi_0$ не известны. Если мы отдельно осредним поправки $\Delta\Theta_0$ без весов, то получим неощутимую поправку

$$\Delta\Theta_0 = -0,02^\circ.$$

При осреднении с весами $p = a$, $\Delta\theta_0 = -0,27^\circ$ и исправленное значение $\theta_{ис}$ будет

$$\theta_{ис} = \theta + \Delta\theta_0 = -1,12^\circ - 0,27^\circ = -1,39^\circ,$$

всего на 24% больше, чем без учета влияния океанов.

Приведенные подсчеты, относящиеся к глобальным эффектам, конечно, условны и иллюстративны, поскольку наблюдения в одном пункте не являются репрезентивными для всей Земли, хотя Талгарская станция и уникальная по своему положению в центре материка и по длительности наблюдений.

Необходима еще большая работа по выяснению возможных региональных различий в значениях δ и $\Delta\phi$, для чего весьма существенно создание более точных котидальных карт и более стабильных гравиметров.

В заключение мы выражаем благодарность начальнику комплексной сейсмологической экспедиции Талгарской геофизической станции ИФЗ АН СССР И.Л. Нерсесову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г. Гриднев и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скольжениями методом по 19 месячным наблюдениям двумя гравиметрами. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967, стр. 62 (ВИМ -50).
2. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, М.В. Кузнецов и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре II. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". М., "Наука", 1970, стр. 26 (ВИМ -66).
3. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, М.В. Кузнецов, Н.Н. Парийский. Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Талгаре I в 1963-1964 гг. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". М., "Наука", 1970, стр. 3 (ВИМ-61).
4. С.Н. Барсенков. Сравнение результатов спектрального и гармонического анализов приливных вариаций силы тяжести. - Сб. "Медленные движения земной коры". М., "Наука", 1972, стр. 24.
5. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, М.В. Кузнецов и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре в 1966 г. - Сб. "Медленные движения земной коры". М., "Наука", 1972, стр. 53.
6. М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Н.Н. Парийский. Результаты полугодового ряда наблюдений за приливными вариациями ускорения силы тяжести в Талгаре в 1967 г. - Сб. "Медленные движения земной коры". М., "Наука", 1972, стр. 79.
7. Н.Н. Парийский, С.Н. Барсенков, В.А. Волков и др. Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Азиатской части СССР. - Сб. "Изучение приливных деформаций Земли". "Наука", 1973, стр. 6.
8. В.А. Волков, М.В. Кузнецов, Н.Н. Парийский. О стабильности калибровочных коэффициентов гравиметров "Аскания". - Сб. "Медленные движения земной коры". М., "Наука", 1972, стр. 42.

9. М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Н.Н. Парийский, Ю.Ф. Шибаев. Результаты шестилетних наблюдений вариаций силы тяжести гравиметром "Аскания" № 167 в Талгаре. - Наст. сб., стр. 24.
10. Н.Н. Парийский. Поправка за вертикальные ускорения при наблюдениях приливных изменений силы тяжести. - Гравиметрические исследования, № 1, М., Изд-во АН СССР, 1961, стр. 39.
11. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8, 946.
12. Ю.С. Доброхотов. Ошибки определения калибровочного коэффициента при регистрации нуля гравиметров. - Сб. "Изучение земных приливов. Гравиметрия", № 3, М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 92 (ВИМ-36).
13. P. Melchior. Analyse de longs enregistrements de marées terrestres. - ВИМ, 1966, N 46, 1878.
14. В.А. Волков, Н.Н. Парийский, Б.П. Перцев. Первые результаты определения фазовой характеристики приливорегистрирующей системы гравиметр - гальванометр с помощью подвижного груза. - Сб. "Комплексные геофизические наблюдения в Обнинске", Обнинск, Изд. ИФЗ АН СССР, 1970, стр. 128.
15. В.А. Волков, Ф.П. Гусева, С.Н. Барсенков. Определение динамических характеристик приливорегистрирующей системы гравиметр - гальванометр при помощи платформы эталонирования гравиметров (ПЭГ). - Сб "Медленные движения земной коры". М., "Наука", 1972, стр. 140.
16. В.А. Волков, Н.Н. Парийский, Учет фазовых характеристик гравиметров "Аскания" при измерении запаздывания земных приливов. - Сб. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973, стр. 34 (ВИМ-60).
17. Д.Г. Гриднев, Н.Н. Парийский, Б.Ф. Шибаев. Исследование влияния магнитного поля на показания гравиметров "Аскания". - Наст. сб., стр. 136.
18. М.С. Молоденский. Теория нутации и суточных земных приливов. - Сб. "Земные приливы и нутация Земли", № 3, М., Изд-во АН СССР, 1961.
19. М.В. Иванова, Б.П. Перцев. Оценка влияния колебаний атмосферного давления на приливные изменения силы тяжести. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". М., "Наука", 1970, стр. 113 (ВИМ-65).
20. Б.М. Яновский. Земной магнетизм, М., 1953, гл. VI.
21. М.С. Молоденский. Упругие приливы, свободная нутация и некоторые вопросы строения Земли. - Труды Геофиз. ин-та, № 19 (146), М., Изд-во АН СССР, 1953.
22. Н.Н. Парийский, М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова. О влиянии океанических приливов на вековое замедление вращения Земли. - Физика Земли, 1972, № 2, 3.
23. М.В. Кузнецов. Расчет векового замедления вращения Земли по современным котидальным картам. - Физика Земли, 1972, № 12, 3 (ВИМ-66).
24. К.Т. Богданов, В.А. Магарик. Численное решение задач о распространении приливных волн в Мировом океане. - Изв. АН СССР, серия физика атмосферы и океана, 1969, № 12.
25. H.G. Wenzel. The correction of tidal development to ellipsoidal normal. - ВИМ, 1974, N 68.

М. В. Кузнецов, Л. В. Кузнецова,
Н. Н. Парийский, Ю. Ф. Шибаяв

РЕЗУЛЬТАТЫ ШЕСТИЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ГРАВИМЕТРОМ «АСКАНИЯ» № 167 В ТАЛГАРЕ

Наблюдения, обсуждаемые в настоящей статье, проводились на приливной станции "Талгар II" [1] в период с августа 1967 г. по май 1974 г. Исключая перерывы в регистрации, объем наблюдений охватывает 2159 дней, что составляет почти 6 лет. Методика наблюдений в основном осталась прежней [2]. Для уточнения инструментального запаздывания системы гравиметр — гальванометр и получения более точного значения запаздывания фазы земного прилива регистрация проводилась с разными внешними гальванометрами.

Непосредственная запись велась на фоторегистроре РГ-1. Вращение барабана с фотобумагой размером 28×90 см осуществлялось асинхронным мотором. Система сменных шестерен позволяла менять скорость развертки от 15 мм/ч при обычной записи до 540 мм/ч при сильных землетрясениях или каких-либо исследовательских экспериментах, в частности, при определении инструментального запаздывания. В случае большой скорости развертки фирменные часы, дающие часовую метку, заменялись морским хронометром с меткой через минутные интервалы.

Температура термостатирования прибора была установлена на +40°C при окружающей температуре в камере $+21,5 \pm 1^{\circ}\text{C}/\text{год}$. В целях уменьшения электрических помех в цепи внешнего гальванометра внешний термостат гравиметра был отключен. Внутренний термостат прибора работал в режиме нагрева II с частотой включения и выключения около 2 мин.

Цена деления шпинделя гравиметра k определялась методом прекатывания шарика. В период работы прибора эти эталонировки дали следующие результаты:

Дата	k , мгл/дел	t , °C
2. VI 1965 г.	0,06934 ± 22	35
29. IX 1966 г.	0,06933 ± 12	35
22. VI.1967 г.	0,06942 ± 12	35
2. VIII 1967 г.	0,06934 ± 10	40
7. VII 1972 г.	0,06939 ± 49	40

Калибровка, сделанная в 1975 г. дала значения $k = 0,06935 \pm 0,00020$.

В 1967 г. в связи с переходом температуры термостатирования с 35° на 40°C исследовалось влияние этого перехода на чувствительность гравиметров. Исследование показало, что изменения чувствительности лежат в пределах точности измерений. Поэтому в качестве рабочего значения чувствительности гравиметра № 167 было взято среднее из двух ближайших определений, т.е. 22. VI 1967 и 2. VIII 1967 $k = 0,06938$ мгл/дел.

Контрольное эталонирование в 1972 г. подтвердило это значение. Переводной коэффициент E для получения значения k был взят равным 39,763, $\Delta g/g_0 = 39,7153$.

Калибровка записи проводилась через каждые 10–12 дней путем задания сдвигов маятнику прибора на определенное количество делений шпинделя измерительной пружины. Результаты этих определений даны в Приложении. Следует отметить, что из-за большой жесткости измерительной пружины мы могли делать сдвиги не более чем на 10 дел, что соответственно снижало точность определения калибровочных коэффициентов C для перевода ординат записи из миллиметров в миллигалы. Поэтому на обработку сдвигов записи было обращено особое внимание.

Мы исследовали вопрос о том, как вычислить величину сдвига на регистрограмме. Дело в том, что в целях большей автоматизации и ускорения обработки все сдвиги приливной кривой обрабатывались на ЭВМ [3]. При этом в качестве интерполирующей функции принимались многочлены

$$y(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2,$$

постоянные которых определялись по трем часовым отсчетам до и после сдвигов. Однако практика показала, что многие сдвиги записи, особенно те, которые обязаны неисправностям аппаратуры, выбранный нами многочлен аппроксимирует недостаточно точно.

Более удовлетворительные результаты можно получить графическим способом [4]. Для проверки мы взяли наблюдения за 10 мес. и построили график хода чувствительности записи по значениям C , которые были вычислены как на ЭВМ, так и графическим способом. Результаты приведены на рис. 1. Из этого графика видно, что при аналитическом вычислении сдвигов могут возникать ошибки до нескольких процентов, что естественно должно отразиться в такой же мере и на величинах δ , что иллюстрируется рис. 2, а.

Следует отметить, что метод учета сдвигов практически не влияет на величину $\Delta\phi$. И на рис. 2, б мы не смогли из-за малости масштаба показать это различие. Однако все сдвиги в обсуждаемых наблюдениях убирались с помощью графического метода. Вычисление коэффициентов C после получения величины сдвигов на регистрограмме проводилось 49-часовым методом Перцева [5].

Имея столь длительный ряд наблюдений, нами была сделана попытка проанализировать реальность хода изменения чувствительности C . Для этого мы взяли первый ряд наблюдений (охватывающий

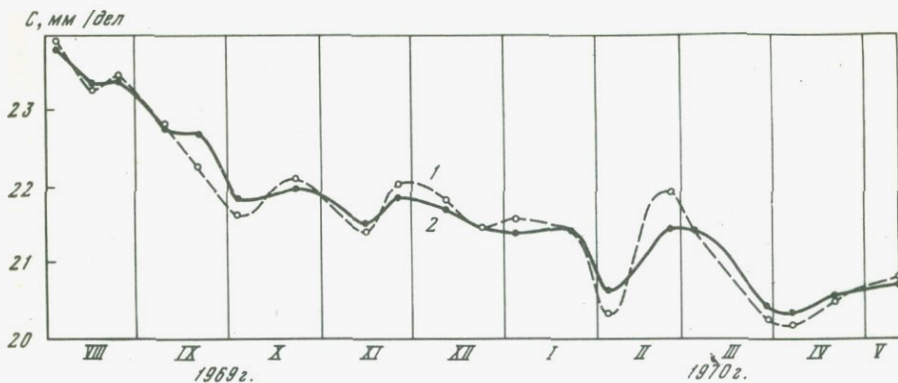


Рис. 1. Ход чувствительности записи прилива в зависимости от метода определения коэффициента C .
1 - аналитический метод; 2 - графический метод

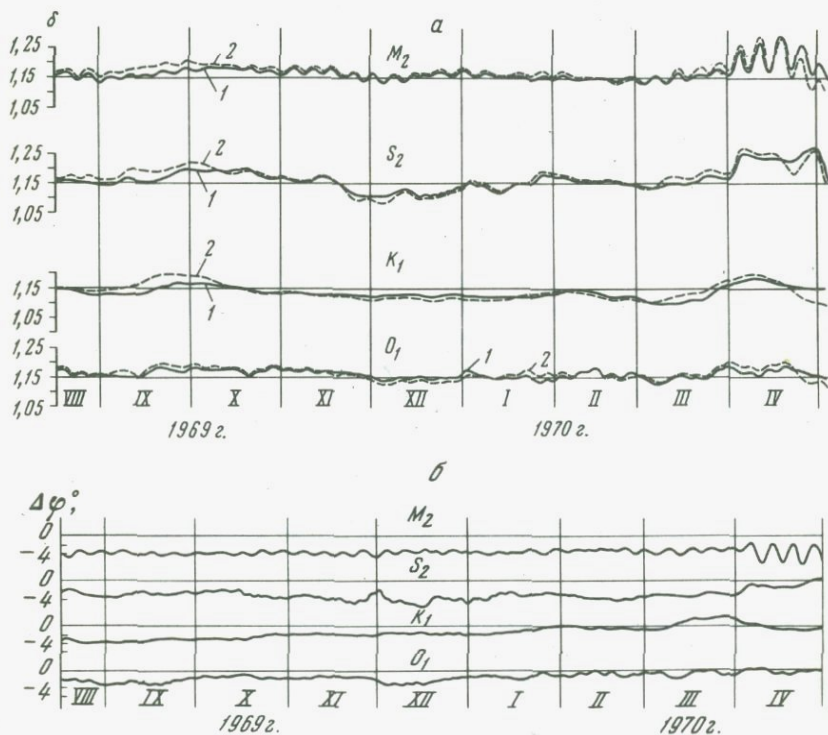


Рис. 2. Влияние метода вычисления коэффициентов C на значения $\delta(a)$

1 - графический метод; 2 - аналитический метод;
и значения величин $\Delta\phi(b)$, соответствующих значениям $\delta(a)$

период 22 мес.) и сопоставили кривую значений δ , полученных методом гармонического анализа, в среднем для четырех групп волн прилива (M_2, S_2, K_1, O_1) с кривой калибровочных коэффициентов C за тот же период. Для наглядности мы построили графики, приведенные на рис. 3, относительных уклонов величин C и δ от их среднего значения, т.е. кривые $\Delta\delta/\bar{\delta}$ и $\Delta C/\bar{C}$, где δ — среднее значение, пропорциональное амплитудам для волн M_2, S_2, K_1, O_1 ; \bar{C} — среднее значение за весь период

$$\Delta\delta = \delta_i - \bar{\delta}, \quad \Delta C = C_i - \bar{C}.$$

Графики рис. 4 прежде всего вызывают интерес потому, что кривые $\Delta\delta/\bar{\delta}$ и $\Delta C/\bar{C}$ находятся в противофазах. Это становится понятным, если вспомнить, что величины δ и C находятся в обратной зависимости, т.е. $\delta = \text{const}/C$. Следовательно, если мы теперь сложим графически величины $\Delta\delta/\bar{\delta}$ и $\Delta C/\bar{C}$, то получим новую кривую уклонов $\Delta\delta'/\bar{\delta}$ для случая, когда все значения вычислялись с постоянным калибровочным коэффициентом C .

При сравнении этой кривой со значениями $\Delta\delta_i/\bar{\delta}$ видно, что если отдельные отрезки кривой $\Delta\delta'/\bar{\delta}$ располагаются ближе к среднему значению, то общий ход этой кривой значительно больше отходит от среднего значения по сравнению с кривой значений $\Delta\delta/\bar{\delta}$.

Таким образом, мы приходим к существенному выводу: отдельные определения калибровочных коэффициентов C могут вносить ошибку в значения δ до 8–10%, длительные изменения C реальны и требуют вычисления величин δ с переменным значением C . Исключение составляет четвертый 7-месячный ряд наблюдений (рис. 4, а, б).

Что касается запаздывания фазы прилива, то здесь также были проведены некоторые исследования, касающиеся уточнения этой величины. Для этого мы проводили регистрацию гравиметром с разными внешними гальванометрами. Это голландский гальванометр А-54 с периодом 5 сек, внутренним сопротивлением двух катушек 330 ом, чувствительностью по току $3 \cdot 10^{-11}$ а/мм·м, а также два фирменных гальванометра из комплектов № 134 и 124 гравиметров. Прежде всего было определено инструментальное запаздывание системы гравиметр — гальванометр $\Delta\phi_{\text{ин}}$ по известной схеме [6]. Результаты этих определений (гравиметр № 167) приведены ниже:

Гальванометр	M_2	S_2	K_1	O_1
А-54	0 ⁰ ,22	0 ⁰ ,23	0 ⁰ ,10	0 ⁰ ,11
134	2 ⁰ ,98	3 ⁰ ,08	1 ⁰ ,55	1 ⁰ ,44
124	4 ⁰ ,30	4 ⁰ ,45	2 ⁰ ,23	2 ⁰ ,08

Как известно, инструментальное запаздывание регистрирующей системы в основном зависит от внешнего гальванометра, поэтому использование разных гальванометров с одним и тем же гравиметром позволяет в некоторой степени исключить систематическую

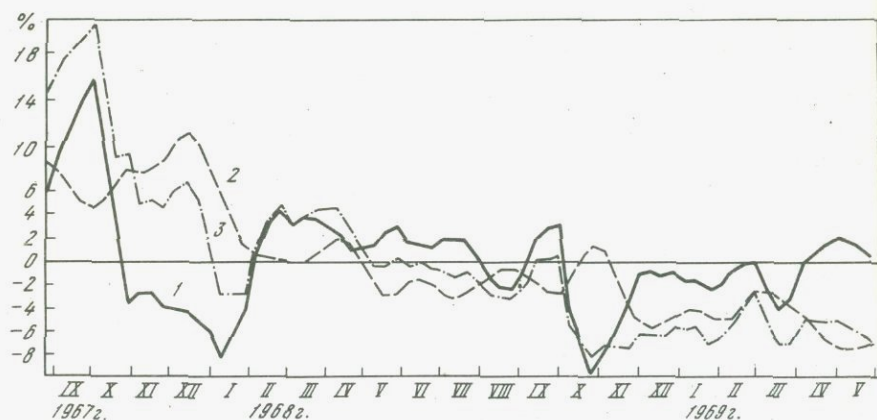


Рис. 3. Корреляция между изменением чувствительности записи и значениями δ

$$1 - \frac{\Delta\delta}{\delta}; \quad 2 - \frac{\Delta C}{C}; \quad 3 - \frac{\Delta\delta}{\delta} + \frac{\Delta C}{C}$$

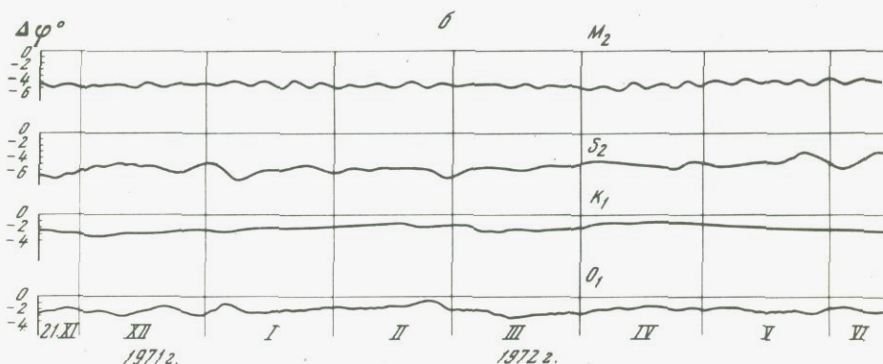
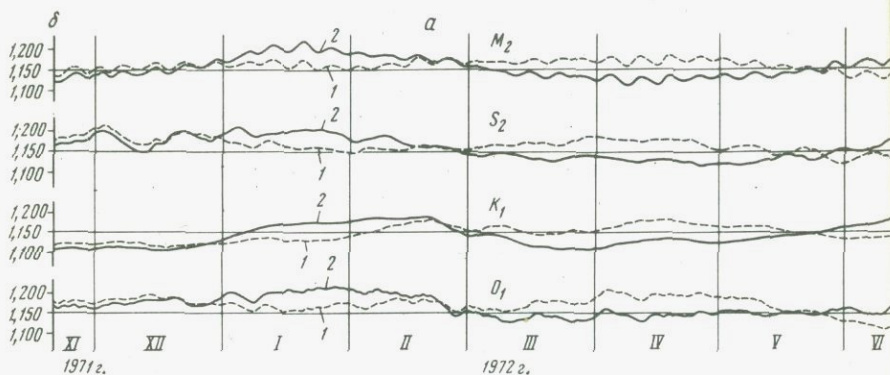


Рис. 4. Различия величин δ при вычислении их значений с постоянным (1) и переменным (2) коэффициентом C (а) и значения $\Delta\phi$ (б)

ошибку и в конечном счете получить более объективное значение искомого запаздывания фазы прилива $\Delta\phi$.

Непосредственные вычисления значений δ и $\Delta\phi$ проводились методами Перцева [7] и Венедикова [8]. Цель такого двойного счета заключалась, во-первых, в сравнении этих методов и, во-вторых, в выделении большего числа волн, которое позволяет сделать применение метода Венедикова.

Метод Венедикова обычно применяется ко всему материалу рассматриваемого ряда и дает одно осредненное значение δ и $\Delta\phi$. Нас интересовал временной ход этих величин. Поэтому мы несколько изменили программу и получили среднемесячные значения δ и $\Delta\phi$ методом Венедикова, смещая средний день через 2 сут. для сравнения со скользящим методом Перцева. Полученные таким образом результаты представлены на рис. 5, а, б.

Как видно, расхождения между двумя методами только в отдельных случаях доходят до 7%. Однако это относится к участкам кривых, где происходит их сильный излом или абсолютные значения определяемых величин значительно отклонились от своего среднего значения. Это указывает на большой шум в наблюдениях, но не на недостатки какого-либо из методов. Разности на других, более спокойных участках кривой носят знакопеременный характер и лежат в пределах 2-3%. Средние же значения по отдельным рядам сходятся еще лучше.

Эти значения мы приводим в табл. 1. Анализ результатов этой таблицы не позволяет отдать предпочтение какому-либо методу. Поэтому в дальнейшем графики значений δ и $\Delta\phi$ строились только по результатам метода Перцева. Они приведены на рис. 6-8.

Вычисление окончательных средних значений δ приводилось следующим образом. Весь материал, благодаря перерывам в записи, был разбит на семь рядов различной продолжительности. Каждый ряд обрабатывался отдельно двумя методами с выделением 4-х основных волн M_2 , S_2 , K_1 , O_1 . По каждой волне определялось среднее значение.

Средняя квадратическая ошибка этому среднему придавалась та, которая получается по методу Венедикова. Затем бралось средневесовое значение по всем рядам для каждой волны отдельно. Веса взяты пропорционально $p = 1/\epsilon^2$.

Чтобы показать, каким образом меняются средние значения величины δ от введения различного рода поправок, мы приводим средние значения δ без поправок и с поправками, раздельно в конце табл. 2.

Условно мы приняли, что поправки за влияние океана составляют 30% из-за неточности исходного материала. Поэтому средние квадратические ошибки окончательных значений δ и $\Delta\phi$ несколько увеличены.

Что касается оценки точности значений $\Delta\phi$, то мы ее провели по внутренней сходимости для отдельных волн за весь период на-

блюдений, а также по углу запаздывания прилива θ [9]. Эти результаты приведены в табл. 3.

И, наконец, в заключение мы даем таблицы с полным списком волн, выделяемых методом Венедикова. Для пояснения этих таблиц отметим, что метод Венедикова в зависимости от продолжительности

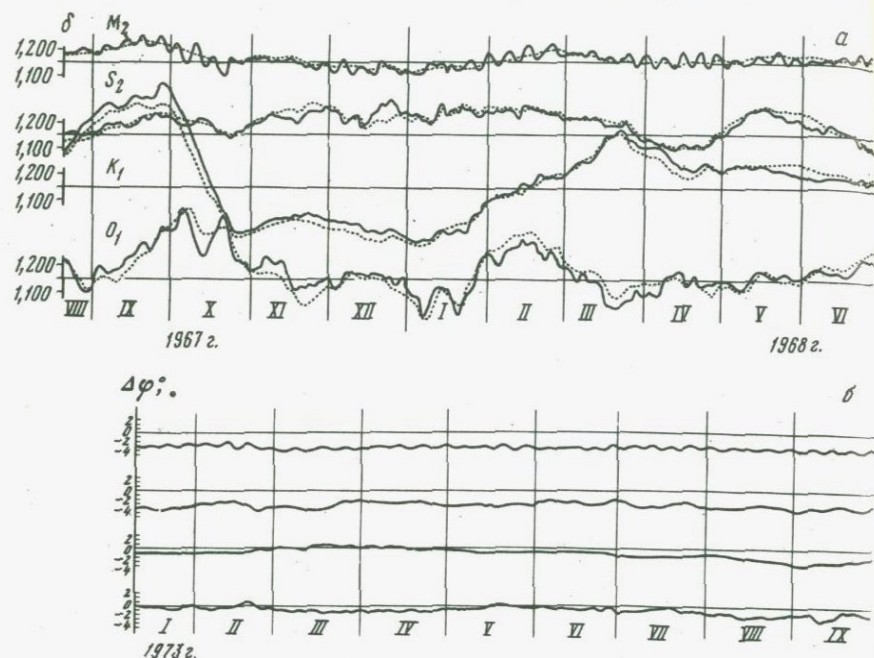


Рис. 5. Значения величин $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$, вычисленных методом

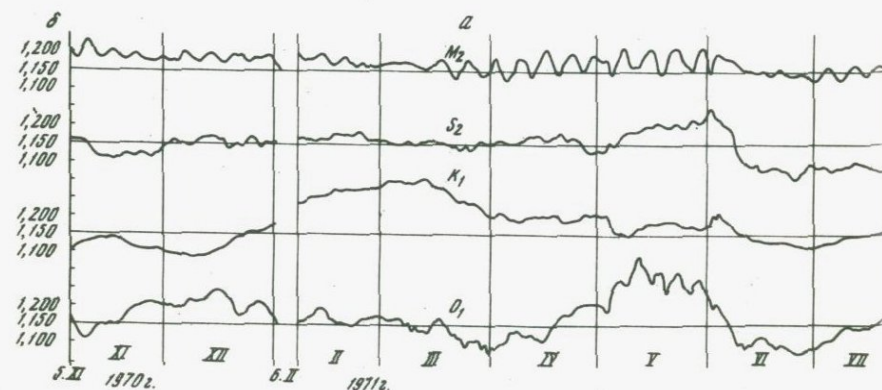
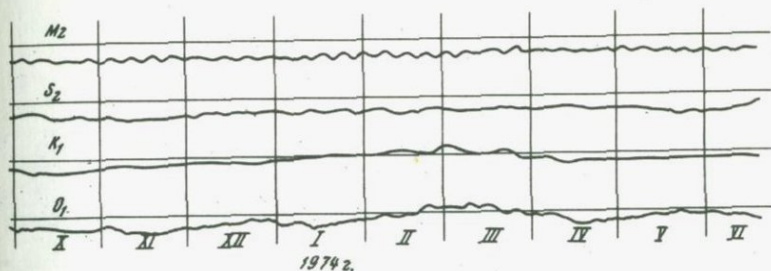
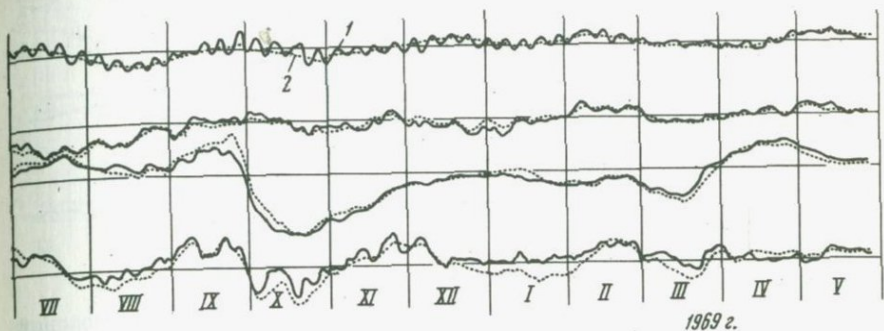
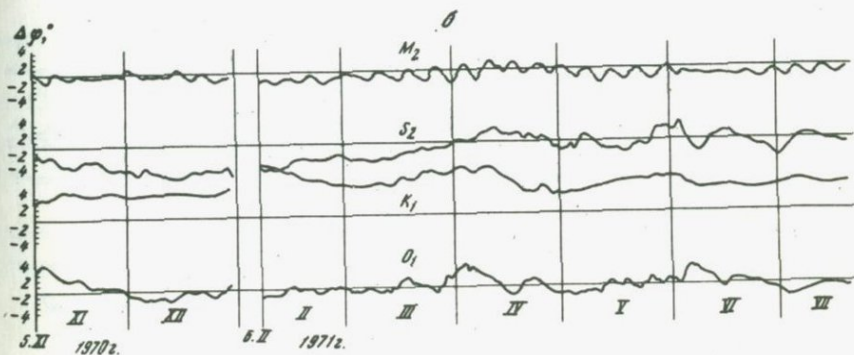


Рис. 6. Значения $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$, соответствующие 3-му ряду наблюдений

сти обрабатываемого материала позволяет в группе суточных волн разделять волны P_1, S_1 и K_1 . Для полного разделения необходим ряд продолжительностью более 1 года, для разделения K_1 и совместной волны P_1S_1 - от 0,5 года до 1 года. В рядах протяженностью меньше 6 мес. эти волны не разделяются.



Перцева (1) и скользящим методом Венедикова (2)



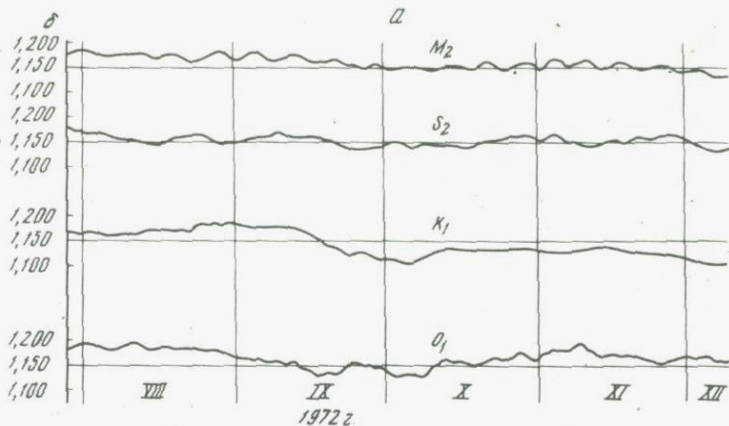


Рис. 7. Значения $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$, для 5-го ряда наблюдений

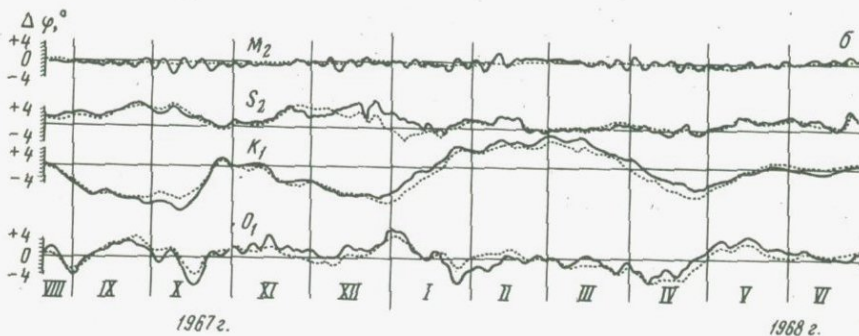
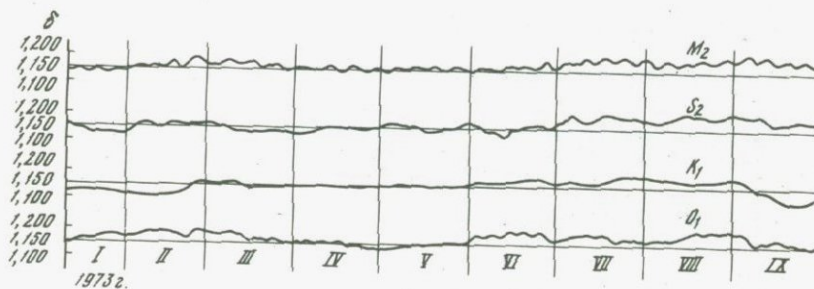
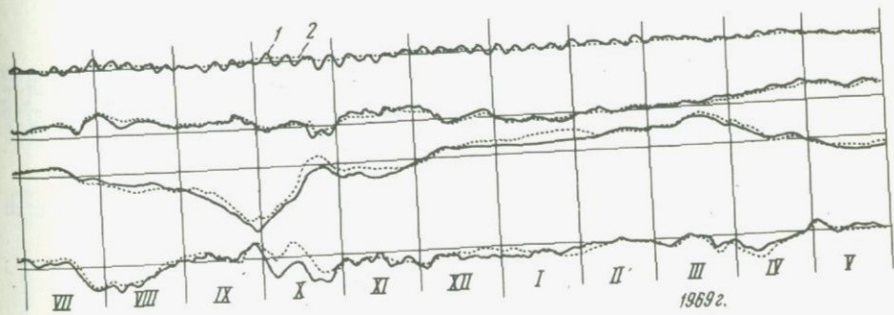
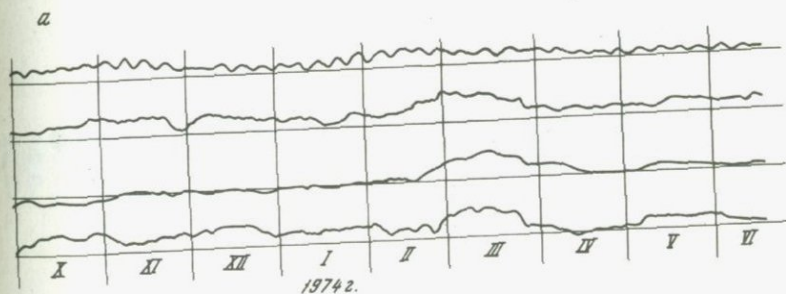
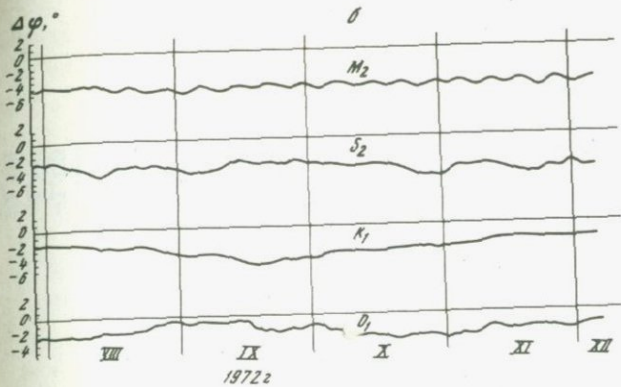


Рис. 8. Значения $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$ для 6-го и 7-го рядов наблюдений



1 - метод Перцева; 2 - метод Венедикова

Таблица 1

Средние значения δ и $\Delta\phi$, полученные методом Перцева (П) и Венедикова (В), по отдельным рядам наблюдений без поправок

Ряд	Метод	M_2	Процент расхождения	S_2	Процент расхождения	K_1	Процент расхождения	O_1	Процент расхождения
					δ				
1	П	1,156		1,159		1,148		1,173	
	В	1,153	0,3	1,157	0,2	1,149	0,1	1,160	1,1
3	П	1,186		1,152		1,193		1,164	
	В	1,184	0,2	1,149	0,3	1,194	0,1	1,174	0,9
4	П	1,155		1,158		1,140		1,164	
	В	1,155	0,0	1,156	0,2	1,444	0,3	1,166	0,2
5	П	1,160		1,152		1,144		1,164	
	В	1,160	0,0	1,156	0,4	1,147	0,3	1,160	0,4
6	П	1,175		1,172		1,151		1,180	
	В	1,170	0,4	1,175	0,3	1,151	0,0	1,180	0,0
7	П	1,179		1,195		1,172		1,191	
	В	1,184	0,4	1,202	0,6	1,159	1,1	1,187	0,4
					$\Delta\phi^\circ$				
1	П	+0,01		+1,92		-0,84		-0,47	
	В	-0,11		+1,81		-0,96		-0,34	
3	П	-0,78		-1,28		+3,21		+0,11	
	В	-0,99		-1,82		+3,07		-0,12	
4	П	-5,46		-5,59		-2,13		-2,19	
	В	-5,60		-5,80		-3,45		-2,61	
5	П	-5,64		-4,62		-3,57		-2,47	
	В	-5,18		-4,51		-2,82		-2,39	
6	П	-3,53		-3,51		-1,39		-1,38	
	В	-3,92		-3,92		-1,80		-1,53	
7	П	-3,50		-3,21		-0,71		-1,08	
	В	-3,76		-2,92		-0,09		-1,99	

Таблица 2

Значения δ , исправленные за рен

Ряд	Период наблюдения	Число суток	Внешний гальванометр	M_2	S_2	K_1	O_2
1	VIII 1967- VI.1969 гг.	677	A-54	1,1525 + 33	1,1560 + 67	1,1465 + 95	1,1645 + 128
2	VIII 1969-V 1970 гг.	294	134	1,1640 + 67	1,1610 + 133	1,1330 + 62	1,1570 + 50
3	X 1970- VIII 1971 гг.	290	A-54	1,1830 + 43	1,1485 + 91	1,1915 + 105	1,1670 + 140
4	XI 1971- VI 1972 гг.	237	124	1,1530 + 27	1,1550 + 56	1,1400 + 44	1,1630 + 60
5	VII-XI 1972 г.	165	124	1,1580 + 30	1,1520 + 50	1,1438 + 50	1,1599 + 70
6	XII 1972-I 1974 гг.	372	134	1,1706 + 20	1,1715 + 41	1,1491 + 42	1,1780 + 59
7	I-VI 1974 г.	124	134	1,1792 + 37	1,1964 + 68	1,1633 + 77	1,1870 + 107
		Среднее		1,1648 + 42	1,1640 + 57	1,1466 + 49	1,1657 + 39
Поправки							
инерционный член				-0,0037	-0,0041	-0,0010	-0,0009
эффект жидкого ядра				0	0	+0,0220	0
$\delta_{ис}$				1,1611	1,1599	1,1676	1,1648
за влияние океанов				-0,0077 + 23	+0,0036 + 11	+0,0046 + 14	+0,0026 + 8
Окончательное значение $\delta_{ср}$				1,1534 + 48	1,1635 + 57	1,1722 + 51	1,1674 + 40

Таблица 3

Значения $\Delta\phi$ (в град), полученные как среднее из методов Перцева и Венедикова, исправленные за инструментальное запаздывание

Ряд	M_2	S_2	K_1	O_1
1	+0,12 ± 16	+2,10 ± 32	-0,80 ± 48	-0,29 ± 63
2	-0,73 ± 23	+0,02 ± 36	+0,13 ± 46	+0,08 ± 30
3	-0,66 ± 21	-1,32 ± 44	+3,24 ± 50	+0,11 ± 88
4	-1,23 ± 11	-1,25 ± 23	-0,56 ± 69	-0,32 ± 29
5	-1,11 ± 13	-0,11 ± 25	-0,97 ± 25	-0,35 ± 35
6	-0,74 ± 15	-0,64 ± 31	-0,05 ± 24	-0,02 ± 33
7	-0,65 ± 18	+0,02 ± 32	+1,15 ± 39	+0,40 ± 51
$\Delta\phi_{\text{ср}}(p = 1/\epsilon^2)$	-0,82 ± 17	-0,23 ± 42	+0,00 ± 46	-0,10 ± 10
Поправка за океан	+0,53 ± 16	+0,43 ± 13	-0,31 ± 9	-0,16 ± 5
$\Delta\phi_{\text{ис}}$	-0,29 ± 23	+0,20 ± 44	-0,31 ± 47	-0,26 ± 11

Примечание. $\theta(p = 1/\epsilon^2) = -1^{\circ},95 \pm 0,70$.

$\theta(p = A) = -1^{\circ},09 \pm 0,80$.

$\theta(p = A/\epsilon^2) = -1^{\circ},90 \pm 0,86$.

Таблица 4

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений с VIII 1967 по VI 1969 гг.

Суточные волны

	δ	$\Delta\phi^{\circ}$
Q_1	1,0596 ± 0,0620	+0,58 ± 3,35
O_1	1,1610 ± 0,0118	-0,34 ± 0,58

Таблица 4 (окончание)

Суточные волны

	δ	$\Delta\phi^\circ$
M_1	$0,9210 \pm 0,1351$	$-9,50 \pm 8,50$
P_1	$0,9956 \pm 0,0296$	$+3,37 \pm 1,71$
S_1	$18,1749 \pm 0,1759$	$-31,03 \pm 52,48$
K_1	$1,1487 \pm 0,00880$	$-0,96 \pm 0,44$
J_1	$1,0891 \pm 0,1537$	$-10,87 \pm 8,25$
OO_1	$1,3556 \pm 0,1844$	$-10,13 \pm 8,01$

Полусуточные волны

$2N_2$	$1,0641 \pm 0,0869$	$+0,37 \pm 4,68$
N_2	$1,1570 \pm 0,0184$	$-0,44 \pm 0,91$
M_2	$1,1533 \pm 0,0033$	$-0,11 \pm 0,16$
L_2	$1,1059 \pm 0,0642$	$-5,60 \pm 3,35$
S_2	$1,1571 \pm 0,0067$	$+1,81 \pm 0,32$
K_2	$1,1730 \pm 0,0186$	$+0,05 \pm 0,91$

$O_1/K_1 = 1,0107$; $1 - O_1/1 - K_1 = 1,0827$; $M_2/O_1 = 0,9934$.

Таблица 5

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений с X. 1970 по VIII. 1971 гг.

Суточные волны

	δ	$\Delta\phi^\circ$
Q_1	$1,1813 \pm 0,0758$	$+2,73 \pm 3,68$
O_1	$1,1740 \pm 0,0140$	$-0,12 \pm 0,68$
M_1	$1,0936 \pm 0,1315$	$+11,69 \pm 7,06$
$P_1 S_1$	$1,1188 \pm 0,0346$	$+6,41 \pm 1,79$
K_1	$1,1938 \pm 0,0105$	$+3,07 \pm 0,50$
J_1	$1,2525 \pm 0,1815$	$+17,32 \pm 8,86$
OO_1	$0,9064 \pm 0,2159$	$+6,12 \pm 13,70$

Таблица 5 (окончание)

Полусуточные волны		
	δ	$\Delta\phi^\circ$
$2N_2$	$1,1725 \pm 0,1249$	$+4,10 \pm 6,12$
N_2	$1,1818 \pm 0,0240$	$+0,98 \pm 1,16$
M_2	$1,1842 \pm 0,0043$	$-0,99 \pm 0,21$
L_2	$1,0287 \pm 0,1562$	$+8,08 \pm 8,78$
S_2	$1,1495 \pm 0,0091$	$-1,82 \pm 0,44$
K_2	$1,1842 \pm 0,0264$	$-1,31 \pm 1,28$
$O_1/K_1 =$ $=0,9834;$	$1 - O_1/1 - K_1 = 0,8978;$	$M_2/O_1 = 1,0087$

Таблица 6

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений с XI 1971 по VI 1972 гг.

Суточные волны		
	δ	$\Delta\phi^\circ$
Q_1	$1,1395 \pm 0,0304$	$-33,95 \pm 1,53$
O_1	$1,1661 \pm 0,0060$	$-2,60 \pm 0,29$
M_1	$1,1188 \pm 0,0696$	$-3,19 \pm 3,57$
$P_1 S_1$	$1,1850 \pm 0,0141$	$-0,89 \pm 0,68$
K_1	$1,1436 \pm 0,0044$	$-2,52 \pm 0,22$
J_1	$1,0919 \pm 0,0707$	$-3,68 \pm 3,72$
OO_1	$1,1736 \pm 0,1068$	$+0,011 \pm 5,21$
Полусуточные волны		
$2N_2$	$1,1473 \pm 0,0648$	$-5,45 \pm 3,25$
N_2	$1,1555 \pm 0,0133$	$-5,43 \pm 0,66$
M_2	$1,1551 \pm 0,0027$	$-5,60 \pm 0,13$
L_2	$0,9751 \pm 0,1252$	$-12,78 \pm 7,53$
S_2	$1,1556 \pm 0,0056$	$-5,84 \pm 0,27$
K_2	$1,1432 \pm 0,0174$	$-3,85 \pm 0,87$
$O_1/K_1 =$ $=1,0216;$	$1 - O_1/1 - K_1 = 1,1704;$	$M_2/O_1 = 0,9913$

Таблица 7

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений
с VI-XI 1972 г.

Суточные волны

	δ	$\Delta\phi^\circ$
Q_1	$1,1716 \pm 0,1352$	$-3,61 \pm 1,71$
O_1	$1,1668 \pm 0,0069$	$-2,25 \pm 0,33$
M_1	$1,1902 \pm 0,1154$	$+0,46 \pm 5,68$
$P_1 S_1 K_1$	$1,1416 \pm 0,0049$	$-2,93 \pm 0,25$
J_1	$1,0314 \pm 0,1171$	$+1,68 \pm 4,58$
OO_1	$1,1858 \pm 0,1352$	$-3,19 \pm 6,56$

Полусуточные волны

$2N_2$	$1,2534 \pm 0,0614$	$-6,55 \pm 2,83$
N_2	$1,1671 \pm 0,0124$	$-7,72 \pm 0,62$
M_2	$1,1600 \pm 0,0025$	$-5,24 \pm 0,12$
L_2	$1,0834 \pm 0,1078$	$-2,38 \pm 5,70$
S_2	$1,1544 \pm 0,0050$	$-4,42 \pm 0,24$

$O_1/K_1 = 1,0221$; $1-O_1/1-K_1 = 1,1780$; $M_2/O_1 = 0,9942$

Таблица 8

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений
с XII 1972 по I 1974 гг.

Суточные волны

	δ	$\Delta\phi^\circ$
Q_1	$1,1550 \pm 0,0309$	$-2,54 \pm 1,53$
O_1	$1,1795 \pm 0,0059$	$-1,27 \pm 0,29$
M_1	$1,2180 \pm 0,1482$	$-5,15 \pm 7,01$
P_1	$1,1682 \pm 0,0132$	$-0,24 \pm 0,65$
S_1	$2,4885 \pm 0,7954$	$-62,62 \pm 44,94$
K_1	$1,1508 \pm 0,0042$	$-1,43 \pm 0,21$
J_1	$1,1525 \pm 0,0699$	$3,46 \pm 3,48$
OO_1	$1,1455 \pm 0,1324$	$0,65 \pm 6,62$

Таблица 8 (окончание)

Полусуточные волны		
	δ	$\Delta\phi^\circ$
$2N_2$	$1,2554 \pm 0,0500$	$-6,80 \pm 2,31$
N_2	$1,1841 \pm 0,0096$	$-4,61 \pm 0,47$
M_2	$1,1701 \pm 0,0020$	$-3,51 \pm 0,10$
L_2	$1,0189 \pm 0,0897$	$-6,86 \pm 5,09$
S_2	$1,1750 \pm 0,0041$	$-3,51 \pm 0,20$
K_2	$1,1696 \pm 0,0143$	$-1,70 \pm 0,70$
$O_1/K_1 = 1,0249; \quad 1 - O_1/1 - K_1 = 1,1903; \quad M_2/O_1 = 0,9920$		

Таблица 9

Результаты обработки методом Венедикова периода наблюдений с I-V 1974 г.

Суточные волны		
	δ	$\Delta\phi^\circ$
Q_1	$1,1744 \pm 0,2115$	$1,15 \pm 2,64$
O_1	$1,1870 \pm 0,0107$	$-1,99 \pm 0,51$
M_1	$1,1170 \pm 0,1496$	$-4,65 \pm 7,70$
K_1	$1,1590 \pm 0,0079$	$-0,09 \pm 0,39$
J_1	$1,0987 \pm 0,1248$	$-7,07 \pm 6,56$
QO_1	$1,1571 \pm 0,2115$	$7,15 \pm 10,58$

Полусуточные волны		
$2N_2$	$1,3070 \pm 0,0960$	$-6,47 \pm 4,25$
N_2	$1,1735 \pm 0,0184$	$-1,97 \pm 0,90$
M_2	$1,1837 \pm 0,0037$	$-3,76 \pm 0,18$
L_2	$1,2806 \pm 0,2082$	$-8,81 \pm 9,48$
S_2	$1,2015 \pm 0,0068$	$-2,92 \pm 0,32$
$O_1/K_1 = 1,0242; \quad M_2/O_1 = 0,9972; \quad 1 - O_1/1 - K_1 = 1,1761$		

Приложение

Сводка отдельных определений чувствительности записи за период 1967-1974 гг.

Дата	С	Дата	С	Дата	С	Дата	С
16. VIII 1967 г.	17,76	7. VIII	16,11	16. IV	15,62	30. III	20,26
5. IX	17,69	14. VIII	16,19	5. V	15,41	7. IV	20,19
28. IX	16,86	23. VIII	16,28	13. V	15,07	22. IV	20,53
31. X	17,91	2. IX	16,33	21. V	15,06	28. IV	21,83
15. XI	17,26	16. IX	14,36	28. V	15,11	13. V	20,80
6. XII	18,35	23. IX	15,94	5. VI	15,19	- *	- *
19. XII	18,41	2. X	15,80	11. VI	16,54	3. XI	11,56
18. I 1968 г.	16,88	15. X	16,24	- *	- *	19. XI	11,42
12. II	16,30	23. X	15,86	5. VIII	23,92	12. II 1971 г.	11,63
29. II	16,55	4. XI	17,03	17. VIII	23,28	23. II	11,70
11. III	16,16	16. XI	16,32	26. VIII	23,45	11. III	11,57
20. III	15,80	25. XI	16,67	9. IX	23,81	31. III	11,62
27. III	16,43	5. XII	15,44	20. IX	22,28	22. IV	11,65
9. IV	17,03	20. XII	15,43	3. X	21,73	14. V	11,40
16. IV	16,57	29. XII	15,44	22. X	22,10	26. V	15,46
25. IV	16,64	9. I 1969 г.	15,80	15. XI	21,44	10. VII	17,26
7. V	16,16	17. I	15,78	26. XI	22,05	22. VII	16,85
21. V	15,64	31. I	15,64	12. XII	21,82	- *	- *
3. VI	15,98	17. II	15,37	24. XII	21,47	25. XI	32,62
10. VI	16,32	25. II	15,60	4. I 1970 г.	21,57	9. XII	31,22
20. VI	16,25	11. III	16,22	23. I	21,44	21. XII	32,65
2. VII	15,80	20. III	16,06	25. II	21,95	4. I 1972 г.	30,81
10. VII	15,77	31. III	15,84	5. III	21,44	20. I	30,37

Приложение (окончание)

Дата	С	Дата	С	Дата	С	Дата	С
3. II 1972 г.	31,31	22. XII	26,34	17. VII.	16,79	9. IV	16,64
22. II	32,41	- *	- *	23. VIII	17,25	23. IV	16,44
3. III	32,70	29. XII	18,06	1. VIII	17,27	5. V	16,54
27. III	34,82	10. I 1973 г.	17,92	11. VIII	16,92	16. V	16,60
11. IV	33,75	20. I	17,65	23. VIII	16,74	26. V	16,48
24. IV	33,82	30. I	17,84	5. IX	16,72	4. VI	16,58
6. V	32,10	9. II	17,60	24. IX.	16,37	14. VI	16,68
16. V	32,16	19. II	17,66	29. X	16,54	25. VII	16,62
26. V	32,59	2. III	17,32	10. XI	16,97		
9. VI	31,20	14. III	17,42	21. XI	16,76		
20. VI	30,94	21. III	17,44	30. XI	16,47		
- *	- *	29. III	17,29	9. XII	16,90		
15. VII	26,99	3. IV	17,19	18. XII	16,64		
4. VIII	26,26	7. IV	17,02	28. XII	16,38		
15. VIII	26,75	16. IV	17,21	- *	- *		
27. VIII	26,23	26. IV	17,18	9. I 1974 г.	16,55		
3. IX	26,62	7. V	17,38	21. I	17,07		
25. IX	25,08	17. V	17,44	30. I	17,02		
16. X	26,25	23. V	17,45	15. II	17,18		
1. XI	26,28	30. V	17,45	26. II	16,42		
15. XI	26,60	17. VI	17,40	9. III	16,83		
30. XI	25,85	23. VI	17,34	18. III	16,79		
11. XII	26,15	4. VII	17,22	27. III	16,05		

*Смена внешнего гальванометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Барсенков, М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Н.Н. Парийский. Приливные наблюдения силы тяжести в Талгаре II. — Сб. "Изучение приливных деформаций и медленных наклонов земной поверхности". М., "Наука", 1970.
2. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г. Гриднев и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скользящим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. — Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967.
3. М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Н.Н. Парийский. Результаты полугодового ряда наблюдений за приливными вариациями ускорения силы тяжести в Талгаре в 1967 г. — Сб. "Медленные движения Земной коры". М., "Наука", 1972.
4. Н.Н. Парийский, Б.П. Перцев, Д.Г. Гриднев и др. Приливные изменения силы тяжести в Алма-Ате. — Сб. "Гравиметрические исследования". М., Изд-во АН СССР, 1960.
5. Б.П. Перцев. Опыт определения масштабных коэффициентов записи при наблюдениях приливных вариаций силы тяжести. — Сб. "Гравиметрические исследования". М., Изд-во АН СССР, 1960.
6. В.А. Волков, Н.Н. Парийский. Учет фазовых характеристик гравиметров "Аскания" при измерении запаздывания земных приливов. — Сб. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973.
7. Б.П. Перцев. Гармонический анализ 50-дневных рядов наблюдений силы тяжести. — Сб. "Изучение Земных приливов". М., Изд-во АН СССР, 1961.
8. A.P. Venedikov. Une methode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. — Bull. cl. sci. Acad. roy. Belgique, 1966, LIII, fasc. 3.
9. Н.Н. Парийский, С.Н. Барсенков, В.А. Волков и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре по многолетним наблюдениям, — Наст. сб., стр. 5.

В. А. Волков, С. Н. Барсенков, Ф. П. Гусева,
С. С. Засимов, Н. Н. Парийский

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМНЫХ ПРИЛИВОВ В ОБНИНСКЕ ГРАВИМЕТРОМ «АСКАНИЯ» GS-15

В начале 1973 г. ИФЗ АН СССР был получен гравиметр GS-15 № 220 с емкостным преобразователем смещения маятника в электрический ток в комплекте с приливорегистрирующей аппаратурой, состоящей из блока управления для подвода электропитания и обработки сигнала и компенсационного самописца "Компенсограф III" с непрерывной записью.

Первая пробная регистрация этим гравиметром была проведена на геофизической станции "Обнинск" ($\phi = 55^{\circ}11'$, $\lambda = 36^{\circ}27'$).

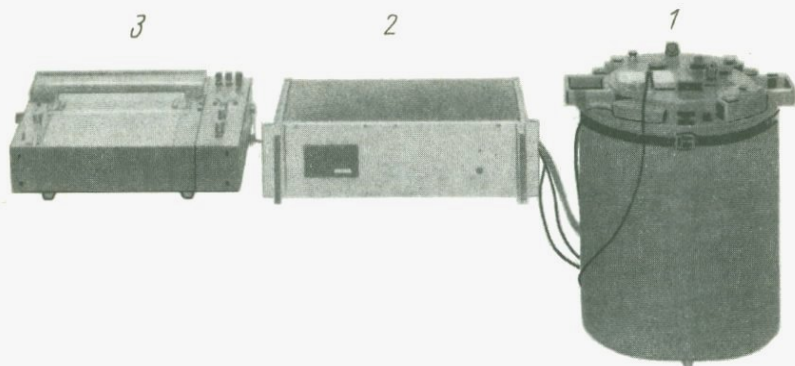


Рис. 1. Приливорегирующая установка "Аскания" GS-15
1 - гравиметр; 2 - блок управления; 3 - самописец

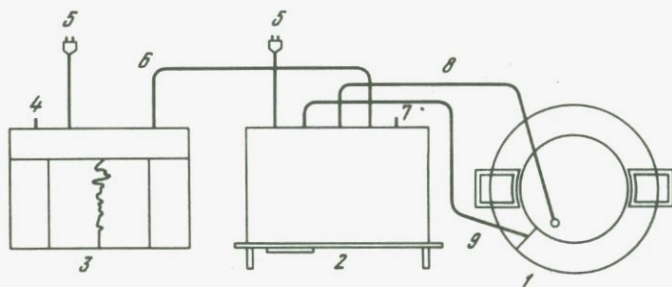


Рис. 2. Схема соединений между отдельными частями приливорегирующей системы гравиметров GS-15

1 - гравиметр; 2 - блок питания, усиления и преобразования сигнала; 3 - самописец; 4 - подключение контактного хронометра; 5 - сеть; 6 - двужильный кабель для подключения самописца; 7 - выход цифрового вольтметра; 8 - двужильный кабель ввода сигнала из гравиметра; 9 - шестизильный кабель питания

На рис. 1 и 2 представлены общий вид комплекта приливорегирующей системы GS-15 № 220 и схема соединений между ее отдельными узлами.

Гравиметр GS-15 в отличие от GS-11(12) имеет некоторые особенности [1].

В гравиметре GS-15 нуль-индикатором служит емкостный датчик смещения грузика маятника с чувствительным стрелочным гальванометром ($c=5 \cdot 10^{-7} a$). Емкостный датчик работает следующим образом. Конденсатор, имеющий три обкладки, из которых средняя

жестко соединена с грузиком маятника, включен в емкостный мостик (рис. 3), получающий питание от генератора с частотой 10 кГц. При изменении силы тяжести вследствие смещения средней обкладки конденсатора меняется соотношение между двумя емкостями конденсатора и нарушается равновесие мостика. В результате на средней обкладке конденсатора относительно массы возникает переменное напряжение, пропорциональное смещению средней обкладки. Это переменное напряжение усиливается, подается на фазочувствительный выпрямитель и далее на стрелочный гальванометр и блок управления (при регистрации земных приливов). Питание емкостного датчика осуществляется постоянным током 24 в.

Так же как и гравиметры GS-11(12), гравиметр GS-15 снабжен двойным термостатом, который можно общим переключателем установить в зависимости от наружной температуры на температурные диапазоны 25°; 35; 40; 45°С. Однако в гравиметре GS-15 внутренний термостат имеет непрерывное регулирование, т.е. ток нагрева непрерывно устанавливается термисторным датчиком, включенным в мостиковую схему.

Система регулирования температуры внутри гравиметра работает при окружающей температуре, лежащей ниже выбранной рабочей температуры не менее 2,5°С.

Коэффициент термостатирования по данным фирмы составляет 0,001.

Ток, протекающий через внутренний термостат, в начальной стадии нагрева составляет 3,0 а, а по достижении рабочей температуры он равен 0,7 а.

Ток через наружный термостат при ступенях нагрева I, II и III составляет соответственно 1,0; 1,6 и 2,4 а.

Сигнал с емкостного датчика гравиметра поступает в блок управления (см. рис. 1). Отсюда после необходимого усиления и фильтрации с помощью активного фильтра типа Баттерворта сигнал подается на компенсационный самописец "Компенсограф III".

В блоке управления имеется аналого-цифровой преобразователь (миниатюрный цифровой вольтметр фирмы "Аналог Девайсиз", кото-

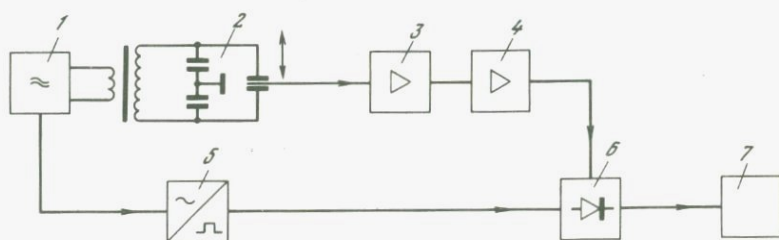


Рис. 3. Блок-схема емкостного преобразователя гравиметра GS-15

1 - генератор; 2 - мостовая схема включения дифференциального конденсатора; 3 - предусилитель; 4 - усилитель; 5 - усилитель-ограничитель; 6 - фазочувствительный детектор; 7 - гальванометр

рый параллельно аналоговому сигналу выдает дискретный сигнал в двоично-десятичном коде.

Для питания термостата и емкостного датчика гравиметра и питания активного фильтра в блоке управления имеются три стабилизаторных платы на 6; 24; 30 в.

Питание блока управления осуществляется от сети переменного тока 220/110 в. Потребляемая мощность в режиме холостого хода 22 вт, под нагрузкой - 60 вт.

Усилитель блока управления имеет следующие основные характеристики [2].

Регулируемый с помощью переключателя и потенциометра коэффициент усиления

Установка переключателя	1	2	3	4	5	6
Коэффициент усиления	0,5-1	1-2	2-4	5-10	10-20	20-40

Уровень шума на входе в усилитель в диапазоне от 0,01 гц до постоянного тока 1 мкв. Коэффициент температурного влияния 1 мкв/°С. Дрейф нуля 2 мкв/мес. Максимальное напряжение на входе ± 10 в. Цифровой вольтметр имеет диапазон измерения $\pm 1,000$ в и выбег 100%. Его точность 0,05% отсчета ± 1 знак. Компенсационный самописец "Компенсограф III" имеет допуск на измерение $\pm 0,25\%$ от конечной величины, но не лучше 10 мкв [2].

Диапазон измерений: 1 мв - 3 - 10 - 30 мв; 1 в - 3 - 10 - 30 - 100 в.

Скорость протяжки ленты: 30, 120, 600 мм/ч; 30, 120, 600, 1200 мм/мин.

Ширина ленты 200 мм (имеется возможность смещения нуля на ширину ленты). Напряжение питания 220/110 в. Потребляемая мощность 25 вт.

Для регистрации приливных вариаций силы тяжести была установлена чувствительность приблизительно 2 мкг/л на 1 мм записи, при этом усилитель блока управления был включен на диапазон 5в, а компенсограф - на диапазон 3в. Ноль компенсографа был установлен посередине.

Перед началом наблюдений были выполнены исследования фазовой характеристики приливорегистрирующего канала GS-15 и линейности регистрирующего звена [3].

В инструкции по эксплуатации приводится передаточная функция активного фильтра Баттеруорта, определяющая амплитудную $A(\omega)$ и фазовую $\kappa(\omega)$ характеристики фильтра

$$\Phi(i, \omega) = \frac{1}{1 + bi\omega\tau - \omega^2\tau^2}, \quad (1)$$

где $\tau = 1000/2\pi = 159$ с; 1000 с - время установления; $\bar{b} = \sqrt{2}$ - множитель, определяющий характеристику Баттеруорта, ω - круговая частота.

Как известно, функция $\Phi(\omega)$ может быть записана в виде

$$\Phi(i\omega) = P(\omega) + iQ(\omega) = A(\omega)l e^{i\kappa(\omega)}, \quad (2)$$

при этом модуль $A(\omega)$ и аргумент $\kappa(\omega)$ будут

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}, \quad \kappa(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}. \quad (3)$$

Пользуясь выражением (1) с учетом (2) и (3), получаем

$$\kappa(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2}\omega\tau}{1-\omega^2\tau^2}; \quad A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^4\tau^4}}. \quad (4)$$

Используя данное фирмой значение $\tau = 159$ с, были получены следующие фазовые сдвиги κ_ϕ , вносимые активным фильтром в основные приливные волны

M_2	S_2	K_1	O_1
$-1^\circ, 81$	$-1^\circ, 88$	$-0^\circ, 94$	$-0^\circ, 87$

Была проведена экспериментальная проверка частотной характеристики всего приливорегистрирующего тракта методом анализа переходного процесса $y(t)$, возникающего на выходе системы (компенсограф) от воздействия на ее вход (маятник гравиметра) единичного сдвига [4].

Пользуясь выражением (1) и известными соотношениями теории переходных процессов [3], получаем выражение для $y(t)$ при условии, что активный фильтр полностью определяет частотную характеристику всего приливорегистрирующего канала GS-15

$$y(t) = H \left[1 - e^{-\frac{b}{2r}t} \left(\sin \frac{b}{2r}t + \cos \frac{b}{2r}t \right) \right]. \quad (5)$$

Переходный процесс, вычерчиваемый пером компенсографа после единичного сдвига, задаваемого маятнику резким поворотом шпинделя, представлен на рис. 4.

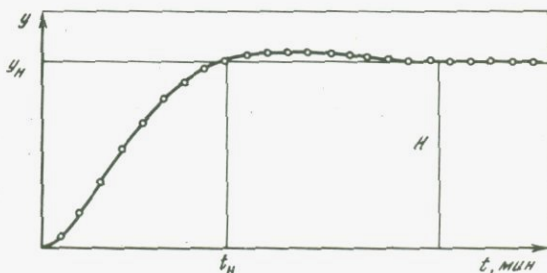


Рис. 4. Переходный процесс $y(t)$ на выходе приливорегистрционной системы GS-15

На графике точками отмечена кривая, вычисленная по формуле (5) с использованием данного фирмой значения $\tau_{\phi} = 159$ с.

Эта кривая практически совпадает с экспериментальной. Для экспериментального определения $\tau_{\text{ЭКСП}}$ использовались моменты t_H , в которых функция $y(t) = H$.

Для этих моментов справедливо соотношение

$$\tau = \frac{2\sqrt{2}}{3\pi} t_H. \quad (6)$$

Из серии в десять сдвигов имеем $t_H = 9,02 \pm 0,08$ мин. Откуда $\tau_{\text{ЭКСП}} = 2,71 \pm 0,01$ мин (163 с).

По формуле (4) получаем фазовые сдвиги $\kappa_{\text{ЭКСП}}$ для основных волн прилива

M_2	S_2	K_1	O_1
$-1^{\circ},85$	$-1^{\circ},92$	$-0^{\circ},96$	$-0^{\circ},89$
$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$

Таким образом, активный фильтр Баттеруорта в диапазоне приливных волн практически полностью определяет фазовую характеристику всего приливорегистрирующего канала GS-15.

Была проведена также проверка линейности блока управления и компенсографа. Для этого на вход блока управления (усилитель) и компенсографа с точностью до 0,1% подавались равные изменения электрического напряжения. Результаты записывались на компенсографе и отсчитывались по цифровому вольтметру блока управления.

Результаты исследований показали [3], что на всем диапазоне измерений отсчеты цифрового вольтметра и компенсографа в пределах точности 0,1% линейны, при этом смещения нуля компенсографа не вносят дополнительной нелинейности в измерительный тракт.

Определение цены деления масштабной линейки (шпинделя) проводилось методом перекачивания шарика.

Было выполнено три калибровки до начала наблюдений и одна после завершения данной серии наблюдений.

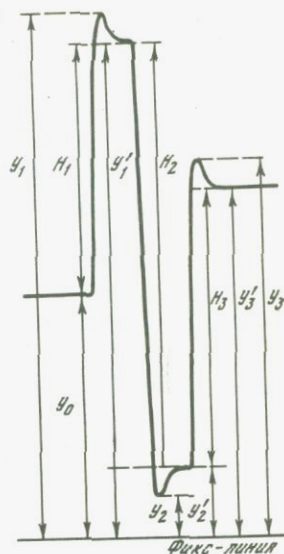
Результаты за 1973 г. (в мгл/м·дел) следующие:

3. IV	6. IV	11. IV	27. VIII	Среднее
0,049121	0,049126	0,049071	0,049088	0,049102
± 10	± 6	± 14	± 3	

Это среднее значение и было принято при обработке.

При определении масштаба записи использование 49-часового метода Перцева было затруднено вследствие большой чувствительности прибора и невозможности выполнения достаточно больших сдвигов. Поэтому применялся метод парных сдвигов, позволяющий на коротком интервале времени (1-2 ч) выполнить серию сдвигов почти на всю ширину ленты самописца.

Рис. 5. Схематическое изображение парных сдвигов



Как известно, определение масштаба записи по сумме двух взаимоположенных сдвигов, выполненных через равные интервалы времени, позволяет исключить линейную часть прилива и дрейфа.

Учитывая постоянную времени активного фильтра, сдвиги выполнялись через 30 мин. Обычно выполнялись три сдвига, таким образом, для каждой калибровки мы имели две пары сдвигов и, следовательно, два значения масштабного коэффициента, из которых бралось среднее.

Обработка парных сдвигов выполнялась двумя способами. В первом отсчеты с регистрограммы, используемые для вычисления масштабных коэффициентов, брались через 30 мин после сдвига (масштабные коэффициенты k_1).

Сущность второго способа, предложенного В.А. Волковым (метод экстремумов), заключается в следующем.

На рис. 4 видно, что переходный процесс, вычерчиваемый пером компенсографа после единичного сдвига, имеет характерный "горб" (экстремум). Из уравнения (5) легко найти соотношение между амплитудой сдвига H и экстремальным значением переходного процесса Δy_{\max} (вершина экстремума).

После дифференцирования и приравнивания нулю выражения (5) получим

$$t_{\max} = \frac{2\pi}{b} \tau_{\text{эксп}} = 12^m, 0. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим

$$\begin{aligned} \Delta y_{\max} &= H(1 + e^{-\pi}) \\ \text{или} \\ H &= a \Delta y_{\max}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } a = \frac{1}{1 + e^{-\pi}}.$$

Таким образом, отсчитывая на регистрограмме ординаты вершин экстремумов, можно легко получить величины сдвига H , необходимые для определения масштабного коэффициента записи.

В случае применения этого способа обработка парных сдвигов происходит в следующей последовательности (рис. 5):

1) снимаются начальная ордината y_0 и ординаты вершин экстремумов y_1, y_2, y_3 и т.д.;

Таблица 1
Масштабные коэффициенты k_I и k_{II}

Дата (1973 г.)	k_I (обычный метод)	k_{II} (по экстремумам)
16.V		23,83
25.V	22,99	22,76
18.VI	23,82	23,58
28.VI	23,07	23,15
10.VII	23,80	24,21
19.VII	23,25	23,14
30.VII	23,64	23,75
14.VIII	24,24	24,08
Среднее	23,544 $\pm 0,173$	23,562 $\pm 0,179$
Общее среднее		23,553 $\pm 0,176$

Таблица 2
Результаты анализа по методу Венедикова

Строка	Период наблюдений	Q_1	O_1	M_1	K_1
Значения δ'					
1	27.IV -24.VIII	1,232 $\pm 0,149$	1,160 $\pm 0,006$	0,939 $\pm 0,160$	1,155 $\pm 0,004$
2	28.IV -25.VIII	1,203 $\pm 0,170$	1,171 $\pm 0,007$	1,043 $\pm 0,181$	1,157 $\pm 0,004$
3	Среднее	1,218 $\pm 0,170$	1,166 $\pm 0,007$	0,991 $\pm 0,181$	1,156 $\pm 0,004$
4	27.IV -24.VIII	1,201 $\pm 0,134$	1,165 $\pm 0,006$	1,007 $\pm 0,144$	1,161 $\pm 0,007$
5	28.IV -25.VIII	1,235 $\pm 0,156$	1,162 $\pm 0,007$	0,852 $\pm 0,170$	1,157 $\pm 0,004$
6	Среднее	1,218 $\pm 0,156$	1,164 $\pm 0,007$	0,929 $\pm 0,170$	1,159 $\pm 0,007$
Значения $\Delta\phi^\circ$					
1	27.IV -24.VIII	-1,4 $\pm 1,3$	-1,0 $\pm 0,3$	2,1 $\pm 9,8$	-0,8 $\pm 0,2$
2	28.IV -25.VIII	-1,4 $\pm 1,5$	-0,5 $\pm 0,3$	12,0 $\pm 10,2$	-1,1 $\pm 0,2$
3	Среднее	-1,4 $\pm 1,5$	-0,8 $\pm 0,3$	7,0 $\pm 10,2$	-1,0 $\pm 0,2$
4	27.IV -24.VIII	-1,2 $\pm 1,2$	-1,1 $\pm 0,3$	13,5 $\pm 8,5$	-0,7 $\pm 0,2$
5	28.IV -25.VIII	-1,2 $\pm 1,4$	1,0 $\pm 0,3$	4,9 $\pm 11,5$	-0,8 $\pm 0,2$
6	Среднее	-1,2 $\pm 1,4$	-1,0 $\pm 0,3$	9,2 $\pm 11,5$	-0,8 $\pm 0,2$

2) последовательно вычисляются величины:

$$\Delta y_1 = y_1 - y_0; N_1 = a \cdot \Delta y_1; \check{y}_1 = y_0 + N_1; \Delta y_2 = \check{y}_1 - y_2; N_2 = a \cdot \Delta y_2;$$

$$\check{y}_2 = y_1 - N_2 \text{ и т.д.};$$

3) суммы $N_1 + N_2; N_2 + N_3$ и т.д. используются для вычисления масштабных коэффициентов. Для коэффициента a принималась экспериментально определенная величина

$$a_{\text{эксп}} = 0,9610 \pm 0,00015,$$

отличающаяся от теоретической величины $a_T = 0,9586$, определенной из уравнения фильтра, на 0,2%.

Поскольку экспериментально было установлено, что время выхода пера компенсографа в новое положение (с точностью до 0,1-0,2 мм) после сдвига маятника гравиметра равно 22 мин, то применение описанного способа дает возможность сократить интервалы времени между сдвигами до $t_{\text{max}} = 12$ мин.

J_1	00_1	$2N_2$	N_2	M_2	L_2	S_2
Значения δ						
1,192	1,185	1,186	1,181	1,188	1,335	1,187
$\pm 0,065$	$\pm 0,149$	$\pm 0,061$	$\pm 0,014$	$\pm 0,006$	$\pm 0,136$	$\pm 0,007$
1,222	1,236	1,222	1,164	1,190	1,304	1,185
$\pm 0,073$	$\pm 0,170$	$\pm 0,072$	$\pm 0,016$	$\pm 0,004$	$\pm 0,160$	$\pm 0,009$
1,207	1,210	1,204	1,172	1,320	1,320	1,186
$\pm 0,073$	$\pm 0,170$	$\pm 0,072$	$\pm 0,016$	$\pm 0,006$	$\pm 0,160$	$\pm 0,009$
1,245	1,158	1,161	1,187	1,189	1,388	1,186
$\pm 0,058$	$\pm 0,134$	$\pm 0,062$	$\pm 0,014$	$\pm 0,003$	$\pm 0,139$	$\pm 0,008$
1,167	1,202	1,174	1,191	1,186	1,222	1,184
$\pm 0,068$	$\pm 0,156$	$\pm 0,065$	$\pm 0,015$	$\pm 0,003$	$\pm 0,146$	$\pm 0,008$
1,206	1,180	1,168	1,189	1,188	1,304	1,185
$\pm 0,068$	$\pm 0,156$	$\pm 0,065$	$\pm 0,015$	$\pm 0,003$	$\pm 0,146$	$\pm 0,008$
Значения $\Delta\phi^\circ$						
6,1	8,9	7,9	-3,0	-2,5	-7,1	-2,8
$\pm 3,1$	$\pm 7,3$	$\pm 3,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 5,9$	$\pm 0,4$
4,7	-2,0	9,4	-3,0	-2,4	-2,3	-2,6
$\pm 3,5$	$\pm 7,9$	$\pm 3,4$	$\pm 0,8$	$\pm 0,2$	$\pm 7,0$	$\pm 0,4$
$\pm 5,4$	3,5	8,6	-3,0	-2,4	-4,7	-2,7
$\pm 3,5$	$\pm 7,9$	$\pm 3,4$	$\pm 0,8$	$\pm 0,2$	$\pm 7,0$	$\pm 0,4$
3,0	3,2	8,9	-3,3	-2,5	-11,8	-2,9
$\pm 2,7$	$\pm 6,6$	$\pm 3,1$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 6,0$	$\pm 0,4$
6,1	12,4	8,7	-3,1	-2,5	-10,4	-2,9
$\pm 3,4$	$\pm 7,7$	$\pm 3,2$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 7,0$	$\pm 0,4$
4,6	7,8	8,8	-3,2	-2,5	-11,1	-2,9
$\pm 3,4$	$\pm 7,7$	$\pm 3,2$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 7,0$	$\pm 0,4$

В данном случае сдвиги, как уже упоминалось, выполнялись через 30 мин для сравнения этого метода экстремумов с обычным (первым) способом обработки.

Результаты сравнения двух методов приведены ниже.

Математическая обработка исходного материала. Регистрация приливов гравиметром № 220 проводилась с 27.IV по 25.VIII 1973г. (всего 121 день, или 2904 ч). Первичная обработка исходного материала заключалась, как обычно, в снятии ординат, в заполнении пропусков, в устранении сдвигов и в определении масштабных коэффициентов. По техническим причинам во всем интервале регистрации имелось 8 перерывов различной продолжительности.

Дата перерыва	Продолжительность перерыва, г	Дата перерыва	Продолжительность перерыва, г
9. V	9	17. VI	8
12. V	9	27. VI	5
25. V	5	8. VIII	9
11-12. VI	12	11. VIII	13

Таблица 3

Значения δ и $\Delta\phi$ для основных приливных волн, полученных различными

Строка	Метод	δ			
		M_2	S_2	N_2	K_1
1	Перцева (скользящий)	1,188 $\pm 0,007$	1,197 $\pm 0,015$	1,191 $\pm 0,044$	1,155 $\pm 0,005$
2	Венедикова (скользящий)	1,188 $\pm 0,008$	1,197 $\pm 0,011$	1,172 $\pm 0,023$	1,156 $\pm 0,005$
3	Венедикова (с заполнением пропусков)	1,189 $\pm 0,004$	1,186 $\pm 0,009$	1,172 $\pm 0,016$	1,156 $\pm 0,004$
4	Венедикова (без заполнения пропусков)	1,188 $\pm 0,003$	1,186 $\pm 0,008$	1,189 $\pm 0,015$	1,159 $\pm 0,004$
5	Среднее	1,188 $\pm 0,003$	1,192 $\pm 0,008$	1,190 $\pm 0,015$	1,157 $\pm 0,004$
6	Поправка за инструментальное запаздывание				
7	Исправленные				

Пропуски составляют 2,4% от общего интервала регистрации. Перерывы заполнялись с помощью теоретических приливных вариаций силы тяжести, вычисленных на данный интервал времени.

Заполнение выполнялось в следующей последовательности.

1. В крупном масштабе на миллиметровую бумагу наносился теоретический прилив примерно на 3-4-суточном интервале, в середине которого имеется перерыв.

2. На миллиметровую бумагу в этом же интервале времени наносился (примерно в таком же масштабе) имеющийся наблюдаемый прилив (с предварительно исключенным графическим путем дрейфом).

3. По формуле

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_{ni}^{\max}}{T_i} \quad (8)$$

определялся переходный коэффициент \bar{M} по максимальным ординатам наблюдаемого и теоретического приливов (теоретические приливные ординаты снимаются с графика в миллиметрах).

методами анализа

O_1	$\Delta\phi^\circ$				
	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
1,158 $\pm 0,006$	-2,3 $\pm 0,4$	-2,6 $\pm 0,2$	-2,3 $\pm 1,2$	-0,9 $\pm 0,2$	-0,7 $\pm 0,5$
1,163 $\pm 0,011$	-2,5 $\pm 0,2$	-2,5 $\pm 0,1$	-3,5 $\pm 0,8$	-1,2 $\pm 0,2$	-1,2 $\pm 0,7$
1,166 $\pm 0,007$	-2,4 $\pm 0,2$	-2,7 $\pm 0,4$	-3,0 $\pm 0,8$	-1,0 $\pm 0,2$	-0,8 $\pm 0,3$
1,164 $\pm 0,007$	-2,5 $\pm 0,2$	-2,9 $\pm 0,4$	-3,2 $\pm 0,7$	-0,8 $\pm 0,2$	-1,0 $\pm 0,3$
1,161 $\pm 0,007$	-2,40	-2,75	-2,75	-0,85	-0,85
	+1,85	+1,92		+0,96	+0,89
	-0,7 $\pm 0,2$	-1,0 $\pm 0,4$		+0,2 $\pm 0,2$	-0,1 $\pm 0,3$

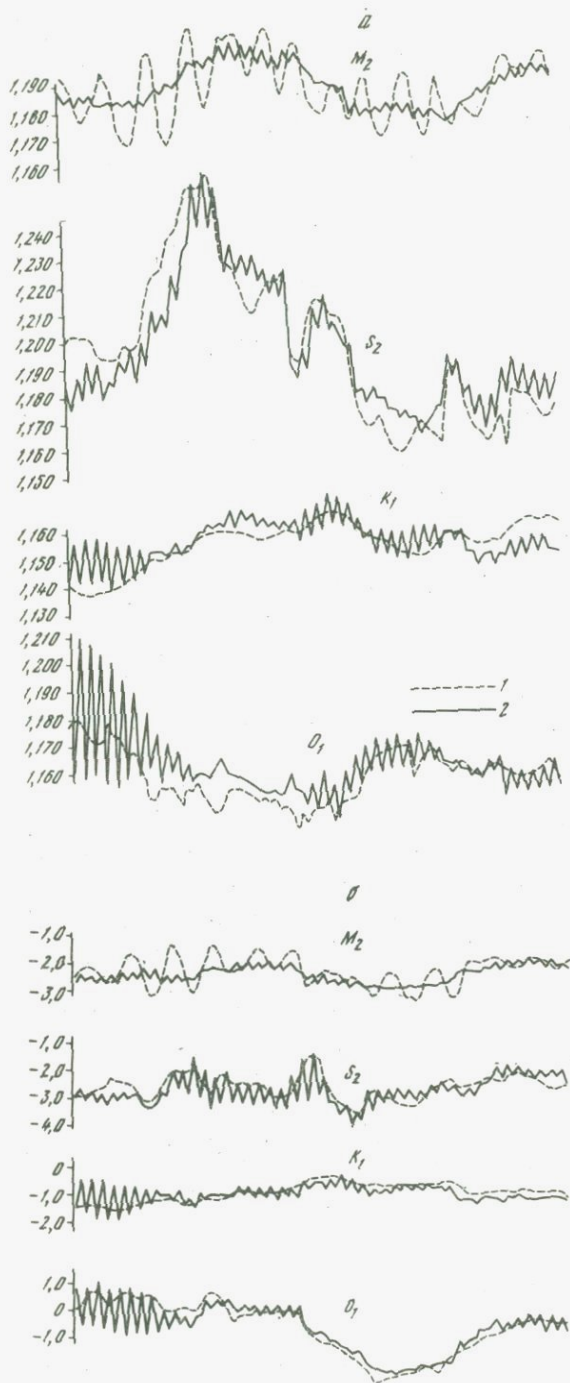


Рис. 6. Гармонический анализ по Перцеву и по Венедикову величины $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$
 1 - метод Перцева;
 2 - метод Венедикова

4. После этого по формуле

$$y_i^H = \bar{m} y_i^m \quad (9)$$

определялись пропущенные ординаты.

5. К вычисленным таким способом ординатам y_i^H прибавлялось значение графического дрейфа и, если была необходимость, распределялась невязка или учитывались сдвиги.

Масштабные коэффициенты k_i (масштаб записи на регистрирограммах) определялись двумя способами (k_I, k_{II}), как описывалось выше. Эти коэффициенты и даты их определения помещены в табл. 1. Как видно из таблицы, средние значения коэффициентов k близки между собой и разбросы коэффициентов относительно средних имеют случайный характер. Поэтому для всего интервала регистрации был принят постоянный коэффициент $k_{cp} = 23,55 \pm 0,18$ мм/дел (т.е. с относительной точностью 0,5%).

Переводной калибровочный коэффициент c вычислялся по формуле

$$c_1 = \frac{a}{k_1} = \frac{49,102}{23,55} = 2,085 \text{ мкгл/мм.}$$

Гармонический анализ проводился методами Венедикова и Перцева [5, 6]. Методом Венедикова анализ проводился тремя различными способами:

- 1) общий анализ всего материала с использованием восстановленных ординат;
- 2) общий анализ всего материала без использования восстановленных ординат;
- 3) скользящий анализ месячных серий с последовательными сдвигами этих серий на сутки и использованием восстановленных ординат. Всего было выполнено 90 таких месячных анализов.

В табл. 2 приведены результаты общего (не скользящего) анализа Венедикова соответственно для значений δ и $\Delta\phi$.

В строках 1-3 приведены результаты анализа с использованием восстановленных ординат, а в 4-й - 6-й строках - результаты анализа без использования восстановленных ординат.

В 1-й и 4-й строках помещены величины δ и $\Delta\phi$, полученные из анализа исходного ряда с 27.IV по 24.VIII (т.е. фильтрация Венедикова [5] проводилась по последовательным 2-суточным интервалам: 27-28.V; 29-30.V... 21-22.VIII; 23-24.VIII). Во 2-й и 5-й строках помещены величины δ и $\Delta\phi$, полученные из анализа исходного ряда с 28.IV по 25.VIII, т.е. ряда, сдвинутого на сутки относительно первого (фильтрация проводилась по последовательным 2-суточным интервалам: 28-29.IV; 30.IV-I.V... 22-23.VIII; 24-25.VIII).

В 3-й и 6-й строках приведены средние значения результатов двух смежных рядов. Хотя при анализах их используются 98,3% общих ординат, результаты в величинах δ и $\Delta\phi$, как видно из табл. 2,

несколько отличаются. Эти различия при анализах смежных рядов (т.е. сдвинутых относительно друг друга на сутки) с уменьшением продолжительности ряда, по-видимому, увеличиваются. Это можно видеть на рис. 6, *a*, *b*, где показаны значения δ и $\Delta\phi$, полученные из скользящих анализов Перцева и Венедикова для основных четырех приливных волн (изменение величин δ и $\Delta\phi$ при последовательном сдвиге анализируемого ряда на сутки при анализе Венедикова имеет вид "пилы").

В табл. 3 приведены средние результаты величин δ и $\Delta\phi$, полученные различными методами анализа, как указывалось выше.

Средние квадратические ошибки результатов, полученных из скользящих анализов, вычислены по внутренней сходимости независимых месячных серий, т.е. таких серий, ординаты которых между собой не перекрываются.

Из табл. 3 видно, что результаты по различным методам анализа хорошо сходятся между собой. Но наиболее представительными следует считать результаты, полученные из общего анализа Венедикова без учета пропущенных ординат (4-я строка).

В 7-й строке таблицы приведены запаздывания фаз с учетом фазовой характеристики прибора, с использованием средних значений наблюдаемых запаздываний, полученных методом Венедикова в строке 4-й.

Результаты, приведенные в табл. 3, не учитывают инерционных членов и поправок за влияние океанических приливов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Описание и инструкция по эксплуатации гравиметра GS-15 системы "Аскания". М., ВИНТИ, 1972.
2. Описание и инструкция по эксплуатации аппаратуры для регистрации приливных вариаций силы тяжести к гравиметру GS-15 системы "Аскания". М., ВИНТИ, 1972.
3. V. A. Volkov, S. S. Zaslavov. A note concerning the damping and linearity of the tide recording system Askania GS-15. - Seventh Internat. Sympos. on Earth Tides, Sopron, Hungary, 1973.
4. В.А. Волков. Определение фазовых характеристик приливорегирующей систем гравиметр - гальванометр. - Сб. "Приливные изменения силы тяжести". М., "Наука", 1964.
5. A. P. Venedikov. Une methode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. - Bull. cl. sci. Acad. roy. Belgique, 1966, LIII, fasc. 3.
6. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.

НАБЛЮДЕНИЯ ПРИЛИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В КРАСНОЙ ПАХРЕ ГРАВИМЕТРОМ GS-12 № 180 С КВАРЦЕВЫМ ВНЕШНИМ ГАЛЬВАНОМЕТРОМ

Двухгодичные наблюдения приливных изменений силы тяжести проводились на гравиметрической станции "Красная Пахра" ИФЗ АН СССР [1]. Суточные колебания температуры в регистрационной камере достигали $0,5^{\circ}\text{C}$, недельные — $1,5-2,0^{\circ}\text{C}$, сезонные — 8°C (от 13 до 21°C). Влажность в период наблюдений — $75-80\%$.

Как уже отмечалось, фирменный внешний гальванометр гравиметра № 180 имеет ряд существенных недостатков [2]. Д.Г. Гриднев заменил в отечественном зеркальном гальванометре типа М21/1 с чувствительностью по току 10^{-9} а/мм/м подвес из бериллиевой бровзы на кварцевый подвес. Замена подвеса дала возможность увеличить чувствительность гальванометра по току до $1,3 \cdot 10^{-11}$ а/мм/м. Проверка линейности шкалы гальванометра показала, что нелинейность шкалы не превосходит ошибки отсчета ординат. Результаты определения приводятся в табл. 1.

В результаты определения нелинейности шкалы гальванометра на кварцевом подвесе введена поправка за нелинейность электрической схемы, как это описано в [3].

Вместо фирменного внешнего гальванометра в цепь фотоэлементов гравиметра № 180 был подключен указанный гальванометр на кварцевом подвесе.

Для регистрации температуры в камере применялся термограф сопротивления [4], в цепь которого включался зеркальный гальванометр типа М21/2. Барабан фотокассеты вращался часовым механизмом со скоростью 11 мм/ч, совершая один оборот в сутки. Марки времени подавались через каждый час с помощью контактных часов. Схема питания лампы осветителя зеркал гальванометров подробно описана ранее [4].

Питание лампы фотоэлементов гравиметра осуществлялось от стабилизатора напряжения [5]. Напряжение на лампе фотоэлемента $5,0 \pm 0,01$ в контролировалось при помощи зеркального вольтметра М1106 класса 0,2 и магазина сопротивлений Р-33. На вход стабилизатора напряжения подавалось 14 в от двух последовательно включенных аккумуляторов НКН/100, подзарядка которых осуществлялась от сети переменного тока на 220 в через выпрямитель ВСА-10. За два года наблюдений в разное время по техническим причинам было 7 суточных перерывов в записи приливных изменений силы тяжести. Эти перерывы в записи были заполнены графическим способом [6]. Восстановленные таким образом ординаты составляли около 1% от общего числа ординат двухгодичной наблюдаемой приливной кривой.

Таблица 1

Контроль линейности шкалы гальванометра

$u_{\text{набл}}, \text{мм}$	$u_{\text{лин}}, \text{мм}$	$u_{\text{лин}} - u_{\text{набл}}$	$u_{\text{набл}}, \text{мм}$	$u_{\text{лин}}, \text{мм}$	$u_{\text{лин}} - u_{\text{набл}}$
-10,4	-10,3	+0,1	120,8	120,7	-0,1
2,8	2,8	0	133,9	133,8	-0,1
16,0	15,9	-0,1	146,8	146,9	+0,1
29,1	29,0	-0,1	160,1	160,0	-0,1
42,0	42,1	+0,1	173,0	173,1	+0,1
55,2	55,2	0	186,1	186,2	+0,1
68,1	68,3	+0,2	199,3	199,3	0
81,4	81,4	0	212,5	212,4	-0,1
94,4	94,5	+0,1	225,4	225,5	+0,1
107,6	107,6	0			

Дрейф нуля гравиметра был знакопеременным, однако преобладал дрейф, соответствующий кажущемуся увеличению силы тяжести, суммарный дрейф за 2 года составил 8 мгл.

Определение масштаба записи гравиметра К производилось двумя способами: 49-часовым способом Б.П. Перцева [7] и методом наклона гравиметра [8].

При проведении гармонического анализа бралось среднее значение из всех значений масштабного коэффициента, полученных при различных способах его определения. С 5. XII 1970 г. по 14. IV 1972 г. принят масштабный коэффициент записи $2,72 \text{ мкгл/мм}$ Методом Б.П. Перцева проведено 27 определений с $K_{\text{ср}} = 2,684 \pm 0,026$, и методом наклона гравиметра 14 определений с $K_{\text{ср}} = 2,756 \pm 0,008$.

15. IV 1972 г. по техническим причинам произошло уменьшение чувствительности гравиметра. Поэтому с 15. IV 1972 г. по 6. XII 1972 г. принят масштабный коэффициент $2,88 \text{ мкгл/мм}$. Методом Б.П. Перцева проведено 32 определения с $K = 2,851 \pm 0,040$, и методом наклона 15 определений с $K_{\text{ср}} = 2,908 \pm 0,006$.

Способ определения масштаба записи наклоном гравиметра подробно описан в [8]. Здесь мы приводим формулу для определения К

$$K = g \frac{a_1^2 - a^2}{\sum \Delta Y_{3,4} - \sum \Delta Y_{1,2}} \text{ мгл/мм}, \quad (1)$$

где g - ускорение силы тяжести в пункте наблюдений; a, a_1 - углы наклона гравиметра в плоскости вращения маятника; $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \Delta Y_3, \Delta Y_4$ - сдвиги в записи приливной кривой при наклоне гравиметра на $+a, -a, +a_1$ и $-a_1$ соответственно.

Для определения K наклоном гравиметр устанавливался на наклонную плиту с хорошо известной ее постоянной A , равной $0,24441$ мгл/об для Красной Пахры. Поэтому рабочую формулу для определения масштаба записи можно представить в виде:

$$K = A \frac{n^2 - n_1^2}{\Sigma \Delta Y_{3,4} - \Sigma \Delta Y_{1,2}} \text{ мгл/мм,} \quad (2)$$

где n — обороты микрометрического винта плиты. Существенным при определении K методом наклона гравиметра является то, что при этом не требуется знать цену деления (масштабной линейки) гравиметра. Определение K наклоном можно производить через каждые 2–3 сут. Наклоны гравиметра не искажают качества записи. После возвращения микрометрического винта наклонной плиты в исходное положение кривая приливных изменений силы тяжести также возвращается на исходный уровень, что практически невозможно достигнуть при смещении записи с помощью шпинделя.

12. XI и 14. XI 1972 г. гравиметр № 180 был проэталонирован наклоном на плите. При этом цена деления гравиметра C определялась из выражения [8]

$$C = A \frac{n^2 - n_1^2}{\Sigma S_{1,2} - \Sigma S_{3,4}} \text{ мгл/дел,} \quad (3)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 — отсчеты по шпинделю при наклоне гравиметра на $+n, -n, +n_1, -n_1$ оборотов микрометрического винта плиты соответственно.

12. XI получена $C = 0,1608 \pm 0,0002$ ($\pm 0,12\%$) мгл/дел, 14. XI — $C = 0,1608 \pm 0,0001$ ($\pm 0,06\%$) мгл/дел. Фирменная цена деления равна $0,16045$ мгл.

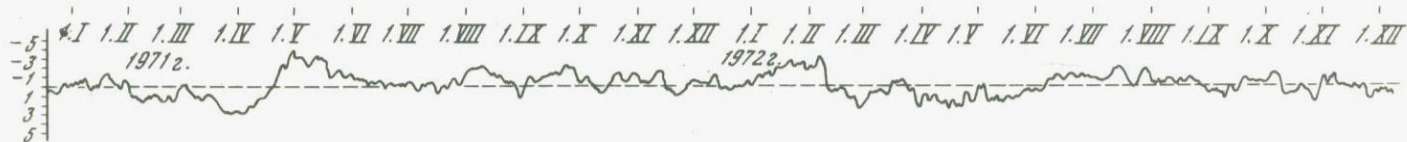
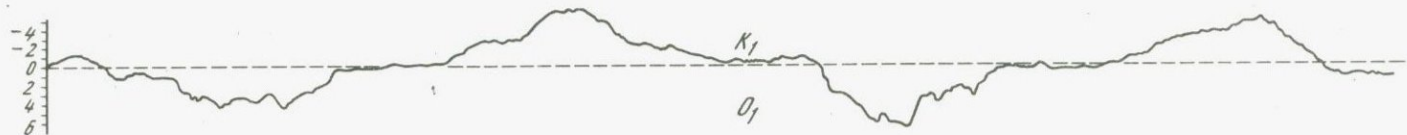
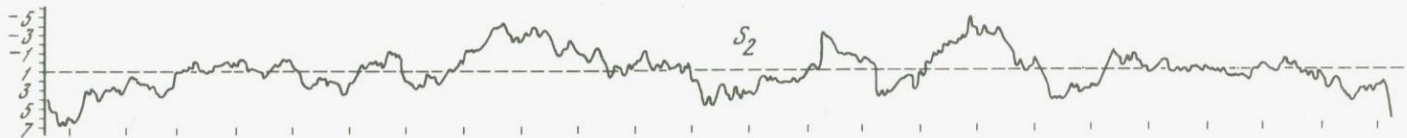
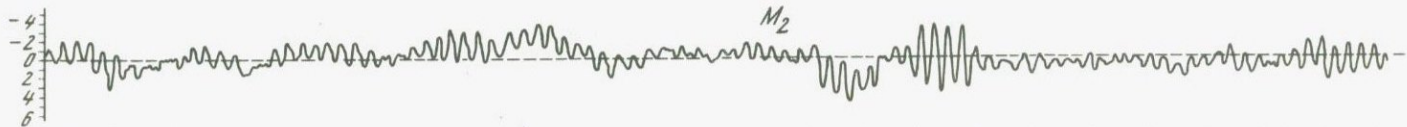
Таким образом, цена деления, полученная эталонированием гравиметра наклоном, совпала, в пределах ошибки, с ценой деления, определенной фирмой.

Математическая обработка приливных наблюдений. Для производства гармонического анализа приливных вариаций силы тяжести в Красной Пахре использовались непрерывные двухгодичные наблюдения с 5. XII 1970 г. по 6. XII 1972 г., т.е. 17 592-часовые ординаты (733 сут.).

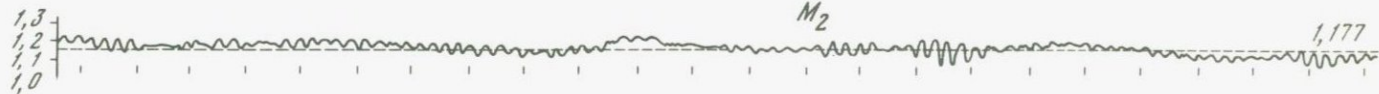
Первичная обработка исходного материала помимо заполнения перерывов в регистрации (о чем говорилось выше) заключалась также в учете сдвигов или скачков, т.е. в сведении регистрации в одну непрерывную кривую. Этот учет проводился обычным графическим способом [9].

Гармонический анализ выполнялся методами Перцева [10] и Венедикова [11]. Гармонический анализ методом Перцева осуществлялся на ЭВМ по программе, составленной М.В. Крамер, по скользящей схеме [9] с суточными сдвигами центральных моментов месячных

δ



Значение величин $\delta(a)$ и $\Delta\phi(b)$

α  M_2

1,177

 S_2 

1,182

 K_1 

1,120

 O_1 

1,144

20 XII 1971 г. 1. I 1. II 1. III 1. IV 1. V 1. VI 1. VII 1. VIII 1. IX 1. X 1. XI 1. XII 1. I 1. II 1. III 1. IV 1. V 1. VI 1. VII 1. VIII 1. IX 1. X 1. XI 1. XII 1972 г.

1971 г.

1972 г.

серий с 20. XII 1970 г. по 20. XI 1972 г., т.е. всего было проведено 698 месячных анализов. Как было указано выше, гармонический анализ Перцева проводился с масштабным коэффициентом, который до 15. IV 1972 г. имел постоянное значение 2,72 мгл/мм, а после 15. IV - 2,88 мгл/мм. Поэтому при производстве скользящего гармонического анализа для центральных моментов с 31. III по 15. IV 1972 г. часовые ординаты с 16. IV по 30. IV предварительно умножались на множитель a_1 , а для центральных моментов с 16. IV по 30. IV 1972 г. часовые ординаты с 31. III по 15. IV умножались на множитель a_2 , причем

$$a_1 = \frac{2,88}{2,72} = 1,059; \quad a_2 = \frac{2,72}{2,88} = 0,944. \quad (4)$$

Таким образом, учитывался скачок в изменении чувствительности.

Графики величин δ и $\Delta\phi$, полученные из 698 месячных анализов Перцева для четырех основных приливных волн (M_2 , S_2 , K_1 , O_1), приведены соответственно на рисунке а и б. Пунктирными линиями на рисунках обозначены средние значения величин δ и $\Delta\phi$ для каждой волны по всему двухгодичному ряду.

Как видно на рисунках, величины δ и $\Delta\phi$, определенные из скользящего гармонического анализа, иногда значительно уклоняются от средних значений. Так, уклонения для волн M_2 и O_1 достигают 9%, для волны K_1 - 10%, а для волны S_2 - 18%, хотя за более короткие интервалы времени эти уклонения существенно меньше. Для волны N_2 такие уклонения имеют большую величину. Изменение δ по волне M_2 имеет "кусочно-периодический" характер с периодами 5-7 дней. Это явление замечалось и раньше [9].

Уклонение от средних величин $\Delta\phi$, как видно на рисунке б, еще более значительно. Средние значения величин δ и $\Delta\phi$, полученные из скользящего гармонического анализа Перцева, приведены ниже:

M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
δ				
1,177	1,186	1,182	1,120	1,144
± 6	± 14	± 21	± 11	± 5
$\Delta\phi^\circ$				
-0,6	1,8	-1,2	-0,4	0,1
$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$

Средние квадратические ошибки, приведенные выше, вычислялись по внутренней сходимости δ и $\Delta\phi$, полученных из месячных серий, ординаты которых между собой не перекрываются (т.е. независимых месячных серий). Эти значения δ и $\Delta\phi$, приведены

Таблица 2

Значения величин δ и $\Delta\phi$, полученных по независимым месячным сериям

Средний день наблюдений	δ					$\Delta\phi^\circ$				
	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
20. XI 1970 г.	1,197	1,088	1,112	1,120	1,158	-1,2	4,6	-6,4	-0,5	0,8
19. I 1971 г.	1,180	1,174	1,088	1,120	1,155	-1,5	4,6	3,6	-0,4	-0,9
18. II	1,186	1,147	1,224	1,090	1,119	0,3	4,3	3,5	0,8	1,7
20. III	1,186	1,205	1,131	1,150	1,186	0,3	1,2	3,2	3,6	1,8
19. IV	1,188	1,210	1,248	1,180	1,172	-0,2	1,5	-3,0	2,5	0,4
19. V	1,210	1,265	1,197	1,199	1,194	-2,3	2,9	-0,1	1,2	-1,7
18. VI	1,190	1,292	1,373	1,205	1,166	-0,9	1,1	-0,6	-0,3	-0,1
18. VII	1,188	1,291	1,194	1,169	1,131	-2,9	3,1	3,1	-0,6	0,9
17. VIII	1,190	1,207	1,202	1,169	1,177	-2,2	-2,8	-3,8	-3,2	-0,9
16. IX	1,145	1,205	1,074	1,093	1,131	-4,0	-1,8	-1,7	-6,1	1,1
16. X	1,218	1,199	1,216	1,126	1,140	0,1	1,2	-5,8	-4,9	0,4
15. XI	1,213	1,240	1,182	1,098	1,156	-1,6	1,3	-6,3	-2,2	-0,6
15. XII	1,188	1,120	1,331	1,076	1,107	-0,9	4,6	-5,7	-0,8	0,2
14. I 1972 г.	1,188	1,099	1,248	1,066	1,160	-0,8	2,8	-0,5	-1,1	-1,2
19. II	1,211	1,072	0,903	1,058	1,130	-0,8	-1,5	15,8	2,7	0,9
14. III	1,188	1,192	1,159	1,094	1,175	-0,4	4,2	-2,9	5,6	1,1
13. IV	1,072	1,161	1,085	1,164	1,103	+0,9	-0,7	-4,7	+2,6	+2,1
13. V	1,158	1,211	1,201	1,160	1,129	+0,2	-2,4	-5,2	+0,1	+1,7
12. VI	1,192	1,324	1,176	1,180	1,162	-0,4	+5,0	-1,3	+0,2	-0,9
12. VII	1,166	1,224	1,292	1,133	1,134	-0,4	+0,5	-0,8	-0,6	-1,5
11. VIII	1,153	1,138	1,285	1,103	1,119	+1,2	+1,5	+1,3	-3,0	-0,5
10. IX	1,118	1,165	1,126	1,097	1,091	+0,3	+2,1	+0,3	-4,0	+1,3
10. X	1,126	1,137	1,065	1,012	1,109	-0,7	+1,4	-5,9	-3,8	+0,1
9. XII	1,153	1,110	1,165	0,981	1,129	-0,8	+2,8	+5,4	+0,7	-0,2
Среднее	1,175	1,186	1,178	1,118	1,146	-0,8	-1,7	-0,8	-0,5	+0,2
	± 6	± 14	± 21	± 12	± 5	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$

Таблица 3

Продолжительность наблюдаемых рядов, подвергнувшихся анализу
Венедикова

Ряд	Интервал времени регистрации	Число суток
24	5.XII 1970 г. - 6. XII 1972 г.	732
12а	5.XII 1970 г. - 5. XII 1971 г.	366
12б	6.XII 1971 г. - 6. XII 1972 г.	367
6а	5.XII 1970 г. - 5. VI 1971 г.	183
6б	6. VI 1971 г. - 5. XII 1971 г.	183
6в	6. XII 1971 г. - 5. VI 1972 г.	183
6г	6. VI 1972 г. - 6. XII 1972 г.	183

в табл. 2. В последней строке этой таблицы даны средние значения δ и $\Delta\phi$ из независимых серий, которые близки к общим средним, полученным из скользящего анализа (стр. 62).

Гармонический анализ по методу Венедикова осуществлялся по программе, составленной М.В. Ивановой. Анализ проводился не только для всего двухлетнего ряда, но и для отдельных частей этого ряда меньшей продолжительности (годовые и шестимесячные ряды). Количество дней регистрации и интервалы времени, соответствующие этим рядам, приведены в табл. 3.

Результаты анализа этих рядов по методу Венедикова для семи суточных и шести полусуточных приливных волн приведены в табл. 4 (для 6-месячных рядов соответственно для шести суточных и пяти полусуточных волн).

Для наибольшего 24-месячного ряда анализ проводился два раза - без заполнения пропущенных ординат и с заполнением (табл. 4). За исключением малых приливных волн (ϕ_1 , 00_1 , $2N_2$, K_2), результаты анализа практически совпадают - различия в δ не превышают $0,002$, а в $\Delta\phi$ - $0,2^\circ$. Большое значение величины δ для волны S_1 может объясняться влиянием на регистрацию метеорологических факторов.

В табл. 5 приведены для сравнения величины δ и $\Delta\phi$, полученные из анализа Венедикова и скользящего анализа Перцева для рядов, обозначенных в табл. 3. Из табл. 5 видно, что для четырех приливных волн (M_2 , S_2 , K_1 и O_1) различия в соответствующих значениях δ , полученных разными методами анализа, не превышают 1%. По волне N_2 такое различие доходит до 2%, а у соответствующих значений $\Delta\phi$ достигает $0,6^\circ$ для основных четырех волн и $1,6^\circ$ для волны N_2 , хотя в подавляющем большинстве случаев эти различия меньше.

Для основного 24-месячного ряда разница в величинах δ для четырех волн не превосходит $0,3\%$ (для волны N_2 - $0,5\%$), а в величинах $\Delta\phi$ - $0,2^\circ$ (для волны N_2 - $0,5^\circ$). Следует отметить,

что согласие между результатами, полученными методами Перцева и Венедикова, в настоящей работе значительно лучше, чем это наблюдалось в более ранней регистрации приливов на станции "Красная Пахра" этим же гравиметром, но с фирменным гальванометром [2].

Для вывода общих средних значений δ и $\Delta\phi$ для станции "Красная Пахра" используются результаты, полученные из обработки всего двухгодичного ряда (две первые строки табл. 5). Для этого используются только значения δ по четырем основным волнам, в которые вводятся поправки за океанический прилив (вычисленные Б.П. Перцевым), за инерцию гравиметра [12] и за резонанс приливов с суточной нутацией [13] (в волну K_1). В значения $\Delta\phi$ вводятся поправки за океанические приливы и за инструментальное запаздывание (определенное Д.Г. Гриневым).

Введение поправок в значения δ и $\Delta\phi$, полученные из анализов двухгодичного ряда методами Перцева (П) и Венедикова (В), показано ниже:

Неисправленные значения	M_2	S_2	K_1	O_1
	δ			
П	1,177	1,186	1,120	1,144
В	1,178	1,183	1,123	1,146
Поправки				
за океаны	-0,016	-0,005	0,003	0,004
за инструментальность [12]	-0,004	-0,004	-0,001	-0,001
за влияние жидкого ядра [13]	0	0	+0,0022	0
Исправленные значения				
П	1,157	1,177	1,144	1,147
	<u>+0,006</u>	<u>+0,014</u>	<u>+0,011</u>	<u>+0,005</u>
В	1,158	1,174	1,147	1,149
	<u>+0,004</u>	<u>+0,008</u>	<u>+0,003</u>	<u>+0,005</u>
	$\Delta\phi^\circ$			
Неисправленные значения				
П	-0,6	1,8	-0,4	+0,1
В	-0,6	1,7	-0,4	-0,1
Поправки				
за океаны	-0,4	0,5	-0,1	-0,1
за инструментальность	0	0	+0,1	+0,1
Исправленные значения				
П	-1,0	2,3	-0,4	-0,1
	<u>+0,2</u>	<u>+0,5</u>	<u>+0,5</u>	<u>+0,2</u>
В	-1,0	2,2	-0,4	-0,1
	<u>+0,2</u>	<u>+0,5</u>	<u>+0,3</u>	<u>+0,2</u>

Средняя величина, полученная из четырех исправленных значений δ с весами, пропорциональными A_i/m_i^2 (A_i - теоретическая

Таблица 4

Результаты гармонического анализа Венедикова

Ряд	Q_1	O_1	M_1	P_1	K_1	S_1	J_1
Значения δ							
24	1,162	1,146	1,134	1,186	1,123	11,157	1,264
	± 24	± 5	± 52	± 13	± 3	± 680	± 58
12а	1,192	1,159	1,173	1,206	1,146	9,280	1,237
	± 31	± 6	± 56	± 15	± 5	± 912	± 75
12б	1,130	1,135	1,037	1,167	1,100	12,873	1,285
	± 37	± 7	± 100	± 17	± 5	± 985	± 86
6а	1,174	1,170	1,145	-	1,154	-	1,119
	± 49	± 10	± 88	-	± 7	-	± 124
6б	1,210	1,145	1,223	-	1,143	-	1,341
	± 169	± 11	± 97	-	± 7	-	± 123
6в	1,138	1,145	1,061	-	1,111	-	1,443
	± 161	± 12	± 140	-	± 8	-	± 141
6г	1,125	1,126	1,096	-	1,093	-	1,175
	± 161	± 13	± 226	-	± 9	-	± 150
Значения $\Delta\phi^\circ$							
24	-0,3	-0,1	1,0	-1,5	-0,4	-21,63	-1,3
	$\pm 1,2$	$\pm 0,3$	$\pm 2,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 14,64$	$\pm 2,5$
12а	-0,8	-0,3	1,0	-1,7	-0,6	-18,24	-1,6
	$\pm 1,6$	$\pm 0,3$	$\pm 2,8$	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 17,30$	$\pm 3,7$
12б	-1,3	-0,3	-1,4	-1,3	-0,2	-26,81	-4,1
	$\pm 1,9$	$\pm 0,4$	$\pm 5,4$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	$\pm 25,85$	$\pm 3,7$
6а	0,4	-0,7	3,0	-	0,4	-	-1,9
	$\pm 2,5$	$\pm 0,5$	$\pm 4,3$	-	$\pm 0,3$	-	$\pm 6,4$
6б	-2,4	-0,3	-2,6	-	-2,3	-	0,4
	$\pm 2,5$	$\pm 0,5$	$\pm 4,7$	-	$\pm 4,0$	-	$\pm 5,5$
6в	1,5	0,0	0,0	-	1,5	-	4,8
	$\pm 3,2$	$\pm 0,6$	$\pm 7,6$	-	$\pm 0,4$	-	$\pm 5,9$
6г	-0,9	-0,1	3,7	-	-1,5	-	-0,1
	$\pm 3,3$	$\pm 0,7$	$\pm 13,0$	-	$\pm 0,5$	-	$\pm 7,2$

амплитуда соответствующей приливной волны, а m_i - средняя квадратическая ошибка соответствующей величины $\delta_i (i = M_2 S_2 K_1 O_1)$, для метода Перцева будет равна $\delta = 1,1503 \pm 0,0022$; а для метода Венедикова - $\delta = 1,1502 \pm 0,0015$.

Для разности фаз, используя исправленные значения $\Delta\phi$, получаем следующие весовые значения:

1) для метода Перцева:

а) полусуточные волны
 $\Delta\phi_{\text{пс}} = -0,77^\circ \pm 0,19^\circ$;

б) суточные волны
 $\Delta\phi_{\text{с}} = -0,03^\circ \pm 0,19^\circ$;

2) для метода Венедикова:

а) полусуточные волны
 $\Delta\phi_{\text{пс}} = -0,78^\circ \pm 0,18^\circ$;

б) суточные волны
 $\Delta\phi_{\text{с}} = -0,19^\circ \pm 0,17^\circ$.

OO_1	$2N_2$	N_2	M_2	L_2	S_2	K_2
Значения δ						
1,170	1,235	1,176	1,178	1,012	1,182	1,149
± 80	± 87	± 18	± 4	± 141	± 8	± 22
1,164	1,290	1,180	1,195	1,022	1,209	1,193
± 95	± 106	± 23	± 4	± 146	± 9	± 27
1,225	1,193	1,172	1,164	1,025	1,157	1,103
± 134	± 137	± 27	± 6	± 265	± 11	± 36
1,070	1,270	1,180	1,200	1,123	1,192	-
± 149	± 147	± 31	± 6	± 178	± 12	-
1,286	1,311	1,180	1,189	0,849	1,220	-
± 161	± 150	± 32	± 6	± 258	± 12	-
1,275	1,246	1,162	1,178	1,348	1,129	-
± 208	± 226	± 45	± 9	± 437	± 19	-
1,128	1,151	1,181	1,147	0,742	1,163	-
± 251	± 149	± 29	± 6	± 248	± 39	-
Значения $\Delta\phi^\circ$						
-1,7	3,6	-1,7	-0,6	6,5	1,7	-1,5
$\pm 4,0$	$\pm 4,1$	$\pm 0,9$	$\pm 0,2$	$\pm 7,0$	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$
5,2	3,4	-1,1	-1,0	8,6	1,6	-1,8
$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 1,1$	$\pm 0,2$	$\pm 8,4$	$\pm 0,4$	$\pm 1,3$
-1,9	3,8	-2,2	-0,2	+0,4	1,8	-0,7
$\pm 6,6$	$\pm 6,4$	$\pm 1,3$	$\pm 0,3$	$\pm 10,6$	$\pm 0,6$	$\pm 1,9$
9,6	4,0	0,9	0,9	6,1	2,4	-
$\pm 8,2$	$\pm 7,3$	$\pm 1,5$	$\pm 0,3$	$\pm 9,1$	$\pm 0,6$	-
1,0	3,0	-3,2	-1,2	19,2	-0,1	-
$\pm 7,2$	$\pm 6,9$	$\pm 1,5$	$\pm 0,3$	$\pm 18,2$	$\pm 0,6$	-
-16,8	0,4	-2,9	-0,5	-5,8	1,8	-
$\pm 10,4$	$\pm 10,4$	$\pm 2,2$	$\pm 0,4$	$\pm 16,4$	$\pm 0,9$	-
5,1	6,3	-0,8	-0,2	2,01	2,0	-
$\pm 12,8$	$\pm 6,4$	$\pm 1,2$	$\pm 0,2$	$\pm 15,0$	$\pm 0,5$	-

Из всех средних величин только разность фаз по суточным волнам, полученным из двух анализов, различается на $0,2^\circ$, причем предпочтение мы должны отдать величине, полученной из анализа Венедикова (так как ошибки в этом методе получаются с бóльшим теоретико-вероятностным обоснованием). Значения же δ_p и $\Delta\phi_{пс}$, полученные из разных анализов, практически совпадают.

Авторы выражают благодарность В.В. Копыловой, В.П. Варгановой и О.В. Буквиной за помощь в проведении наблюдений и в обработке материалов.

Таблица 5

Сравнение величин δ и $\Delta\phi$, полученных по методам Венедикова (В) и Перцева (П)

Ряд	Метод	δ					$\Delta\phi^{\circ}$				
		M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
24	В	1,178	1,183	1,176	1,123	1,146	-0,6	+1,7	-1,7	-0,4	-0,1
	П	1,177	1,186	1,182	1,120	1,144	-0,6	+1,8	-1,2	-0,4	+0,1
12а	В	1,195	1,209	1,180	1,146	1,159	-1,0	+1,6	-1,1	-0,6	-0,3
	П	1,195	1,214	1,181	1,148	1,162	-1,1	+1,7	-0,8	-0,8	-0,3
12б	В	1,164	1,157	1,172	1,100	1,135	-0,2	+1,8	-2,2	-0,2	-0,3
	П	1,159	1,163	1,158	1,101	1,133	-0,2	+1,4	-1,7	-0,1	-0,2
6а	В	1,200	1,192	1,180	1,154	1,170	-0,9	+2,4	+0,9	+0,4	-0,7
	П	1,199	1,183	1,176	1,143	1,176	-0,3	+2,4	-0,2	+0,1	-0,3
6б	В	1,189	1,220	1,180	1,143	1,145	-1,2	-0,1	-3,2	-2,3	-0,3
	П	1,188	1,218	1,169	1,148	1,150	-1,2	-0,3	-1,4	-2,6	-0,4
6в	В	1,178	1,129	1,162	1,111	1,145	-0,5	+1,8	-2,9	+1,5	0
	П	1,168	1,135	1,144	1,104	1,145	-0,2	+1,2	-2,6	+1,5	+0,3
6г	В	1,147	1,163	1,181	1,093	1,126	-0,2	+2,0	-0,8	-1,5	-0,1
	П	1,143	1,166	1,163	1,084	1,114	-0,1	+1,9	-0,6	-1,7	0
		+ 4	+ 8	+ 18	+ 3	+ 5	+0,2	+0,5	+0,9	+0,3	+0,2
		+6	+ 14	+ 21	+ 11	+ 5	+0,2	+0,5	+1,0	+0,5	+0,2
		+ 4	+ 9	+ 23	+ 5	+ 6	+0,2	+0,4	+1,1	+0,2	+0,3
		+ 5	+ 16	+ 23	+ 11	+ 7	+0,4	+0,6	+1,1	+0,6	+0,3
		+ 6	+ 11	+ 27	+ 5	+ 7	+0,3	+0,6	+1,3	+0,3	+0,4
		+ 8	+ 10	+ 34	+ 6	+ 7	+0,6	+0,7	+1,7	+0,7	+0,4
		+ 6	+ 12	+ 31	+ 7	+ 10	+0,3	+0,6	+1,5	+0,3	+0,6
		+ 4	+ 15	+ 26	+ 10	+ 7	+0,4	+0,6	+1,6	+0,6	+0,6
		+ 6	+ 12	+ 32	+ 7	+ 11	+0,3	+0,6	+1,5	+0,4	+0,5
		+ 10	+ 17	+ 36	+ 8	+ 8	+0,6	+0,9	+1,4	+0,9	+0,3
		+ 9	+ 19	+ 45	+ 8	+ 12	+0,4	+0,9	+2,2	+0,4	+0,6
		+ 10	+ 28	+ 60	+ 13	+ 11	+0,3	+1,2	+0,9	+0,9	+0,5
		+ 6	+ 39	+ 29	+ 9	+ 13	+0,2	+0,5	+1,2	+0,5	+0,7
		+ 11	+ 41	+ 36	+ 9	+ 10	+0,3	+0,6	+1,3	+0,8	+0,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.С. Доброхотов, А.Е. Островский, Б.П. Перцев. Гравиметрические и наклономерные станции для наблюдений земных приливов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
2. Д.Г. Гриднев, М.В. Иванова, Ю.С. Доброхотов. Наблюдения приливных изменений ускорения силы тяжести на станции "Красная Пахра" гравиметром GS -12 № 180. - Сб. "Медленные движения земной коры". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1972.
3. Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Наблюдения приливных изменений силы тяжести кварцевым стационарным гравиметром в Красной Пахре в 1965-1966 г. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности." Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1970.
4. Д.Г. Гриднев. Исследования стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Изучение земных приливов". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1964.
5. В.А. Волков, В.Н. Мишаткин. Опыт стабилизации напряжения на термостатах гравиметров GS -11 во время приливных наблюдений. - Сб. "Комплексные геофизические наблюдения в Обнинске". Обнинск, Изд. ИФЗ АН СССР, 1970.
6. Д.Г. Гриднев. Графический способ заполнения пропусков до двух суток в наблюдениях земных приливов. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1967.
7. Б.П. Перцев. Опыт определения масштабных коэффициентов записи при наблюдениях приливных вариаций силы тяжести. - Сб. "Гравиметрические исследования", № 1. М., Изд-во АН СССР, 1960.
8. Д.Г. Гриднев. Эталонирование гравиметров фирмы "Аскания" и определение масштаба записи приливных изменений силы тяжести наклонном. Температурные наклоны постаментов. - Сб. "Вращение и приливные деформации Земли", вып. 6. Киев, "Наукова думка", 1974.
9. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г. Гриднев и др. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скользящим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967.
10. A.P. Venedikov. Une methode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. - Bull. cl. sci. Acad. roy. Belgique, 1966, LIII, fasc. 3, 463.
11. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.
12. Н.Н. Парийский. Поправка за вертикальные ускорения при наблюдениях приливных изменений силы тяжести. - Сб. "Гравиметрические исследования", № 1, серия МГГ. М., Изд-во АН СССР, 1960.
13. М.С. Молоденский. Теория нутации и суточных земных приливов. М., Изд-во АН СССР, 1960.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ НАКЛОНОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д. Г. Гриднев, С. Н. Барсенков, Ф. П. Гусева

НАБЛЮДЕНИЯ ПРИЛИВНЫХ НАКЛОНОВ В ОБНИНСКЕ МАКЕТОМ КВАРЦЕВОГО НАКЛОНОМЕРА

Исследования кварцевого наклономера на целльнеровском подвесе с оптической системой регистрации показали, что на его базе можно создать высокочувствительный наклономер с фотоэлектрической системой регистрации для исследования земных приливов и современных движений земной коры [1].

В 1971 г. макет такого наклономера был создан в ИФЗ АН СССР. Он был установлен в камере № 2 штольни сейсмической обсерватории ИФЗ АН СССР в Обнинске. Наклономер был герметизирован при нормальном атмосферном давлении.

Наблюдения проводились с 29.I по 4.V 1973 г.

Маятник наклономера находился в азимуте С-Ю, т.е. регистрация приливных наклонов проводилась в азимуте В-3.

В качестве регистратора наклономера был применен регистр гравиметра СКГ [2]. В цепь фотоэлементов наклономера подключался зеркальный гальванометр типа М17/9 с чувствительностью по току 10^{-10} а/мм/м. Регистр наклономера был установлен в наземном помещении, расположенном в 200 м от штольни. Питание лампы фотоэлементов осуществлялось от 6 батарей "Девиз", которые соединялись по две последовательно, и образованные три пары были соединены параллельно. Общая емкость батарей 1500 а·ч. Начальное напряжение в цепи лампы фотоэлементов 0,70 в; в период регистрации оно не контролировалось. В день завершения наблюдений напряжение было 0,65 в. Таким образом, за период наблюдений напряжение понизилось на 0,05 в.

Контроль чувствительности наклономера осуществлялся наклоном рамки подвеса чувствительной системы кварцевой пружины. Микрометричное отсчетное устройство кварцевой пружины имело существенные недостатки: большой люфт и азимутальное смещение штока микрометричного устройства в точке крепления кварцевой пружины.

При определении масштаба записи в период наблюдений оператор не соблюдал правила доводки микрометричного винта, поэтому точность определения масштаба записи была невысокой. При проведении гармонического анализа была принята постоянная чувствительность наклономера, равная 1750 мм/сек дуги, рассчитанная по среднему масштабному коэффициенту, полученному из всей серии калибровок за период наблюдений.

Поправка в результаты наблюдений за изменение напряжения в цепи лампы фотоэлементов не вводилась, так как не было уверенности в том, что в период наблюдений напряжение изменялось линейно.

В табл. 1 приводятся результаты определения масштабного коэффициента.

Таблица 1

Результаты определения масштабного коэффициента

Число	Δy , мм	ΔM , дел.	α , мсек	C , мм/сек
1. II 1973	70,8	20,0	40,0	1,770
5	85,0	25,0	50,0	1,700
16	69,9	20,0	40,0	1,748
19	90,6	25,0	50,0	1,812
27	69,8	20,0	40,0	1,765
19. III	85,3	25,0	50,0	1,706
			$C_{\text{ср}}$	$1,750 \pm 0,017$

Примечание. Δy - смещение приливной кривой на регистрограмме при сдвиге микрометра на ΔM делений; α - наклон рамки чувствительной системы наклономера при сдвиге микрометра на ΔM ; C - масштабный коэффициент записи.

Из таблицы видно, что максимальное отклонение коэффициентов C от среднего достигает 3,5%. Среднеквадратическая ошибка определения коэффициента C составляет 1,0%.

Контроль температуры в камере № 2 осуществлялся мостиковым термографом сопротивления, чувствительное плечо которого было размещено на корпусе наклономера [3]. В цепь термографа был подключен зеркальный гальванометр типа М25/12 регистрира СКГ. Чувствительность гальванометра по току равна 10^{-9} а/мм/м. Питание термографа осуществлялось от батареи "Девиз". Чувствительность термографа равна 1000 мм/°С.

На рис. 1 приведены графики изменения температуры (1) и хода наклонов (2) в период наблюдений. За период наблюдений температура в камере изменилась на $0,31^{\circ}\text{C}$ - с $8,6$ до $8,91^{\circ}\text{C}$. Суточные колебания температуры достигали $0,015^{\circ}\text{C}$. Наблюда-

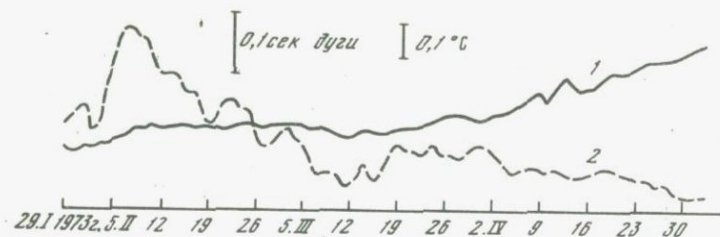


Рис. 1. Кривые изменения температуры и хода наклонов за период наблюдений

лись кратковременные колебания температуры в $0,01-0,02^{\circ}\text{C}$ с характерным временем 1-2 ч.

Как видно на рис. 1, ход наклонов в период наблюдений был значительный и знакопеременный. С 29.I по 8.II наблюдался наклон на восток в 171 мсек. Затем знак наклона изменился и его

Таблица 2

Значения γ и $\Delta\phi$

Средний день наблюдений	γ			
	M_2	S_2	N_2	K_1
14. II 1973г.	0,648	0,847	0,647	0,632
15	0,697	0,834	0,480	0,621
16	0,741	0,818	0,559	0,632
17	0,745	0,797	0,710	0,641
18	0,730	0,794	0,579	0,654
19	0,713	0,802	0,595	0,647
20	0,680	0,811	0,754	0,640
21	0,676	0,830	0,904	0,647
22	0,691	0,834	0,778	0,643
23	0,715	0,838	0,535	0,658
24	0,726	0,869	0,602	0,654
25	0,707	0,900	0,629	0,648
26	0,691	0,904	0,720	0,673
27	0,685	0,896	0,792	0,695
28	0,690	0,879	0,688	0,731
1. III	0,689	0,895	0,590	0,780
2	0,700	0,895	0,704	0,828
3	0,698	0,874	0,712	0,868
4	0,697	0,875	0,771	0,893
5	0,679	0,849	0,728	0,924
6	0,674	0,833	0,766	0,965
7	0,678	0,828	0,693	1,019

величина с 9. II по 11. III составила 262 мсек. С 12. III по 3. V характер хода наклонов был более спокойным, на кривой наклонов наблюдаются волнообразные изменения наклонов с колебаниями от 15 до 16 мсек и периодом 6-8 сут. Между кривыми температуры и наклонов нет корреляции. В записи приливной кривой наблюдались короткопериодные волнообразные помехи, по времени точно соответствующие моментам короткопериодных изменений температуры в камере № 2.

В период, предшествующий периоду наблюдений приливных наклонов, в штольне велись монтажные работы. Это привело к повышению температуры в штольне на $0,1^{\circ}\text{C}$ за 1 сут. После окончания монтажных работ температура в штольне понизилась на $0,1^{\circ}\text{C}$ за 1 сут. Эти изменения температуры позволили определить статический температурный коэффициент. Он оказался равным 180 мсек дуги/ $^{\circ}\text{C}$. Столь значительный температурный коэффициент можно отнести за счет влияния изменения температуры на фотоэлементы, так как исследования наклономера с оптической системой регистрации по-

$\Delta\phi^{\circ}$					
O_1	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
0,706	+4,6	+4,3	-8,4	-15,4	-6,4
0,711	+6,6	+3,2	-5,0	-15,8	-7,3
0,700	+4,3	+2,5	+6,8	-16,0	-9,9
0,696	+0,9	+1,5	-1,6	-17,3	-9,4
0,683	-0,8	+2,3	-5,2	-15,9	-11,2
0,667	-2,2	+2,3	+8,4	-16,8	-9,2
0,663	-1,7	+2,2	+14,5	-20,4	-5,0
0,693	-0,9	+2,0	+1,7	-22,8	-2,0
0,717	+1,9	+2,8	-9,5	-23,9	-0,7
0,765	+2,3	+2,3	-3,4	-26,1	-0,9
0,794	-0,2	+3,2	+7,6	-27,6	-2,1
0,827	-2,9	+3,8	+7,6	-32,8	-7,0
0,870	-3,8	+4,4	+1,2	-38,8	-12,0
0,857	-3,7	+4,1	-13,1	-41,7	-17,1
0,864	-4,1	+3,4	-30,8	-45,1	-22,0
0,812	-2,0	+3,0	-11,3	-49,4	-27,4
0,736	-1,7	+2,4	-8,3	-52,3	-31,9
0,653	-2,7	+1,6	-6,1	-53,6	-32,0
0,597	-2,0	+1,6	-14,8	-54,6	-31,7
0,597	-1,4	+1,7	-7,1	-55,6	-26,7
0,576	-0,3	+1,2	+2,1	-56,8	-23,4
0,573	-0,4	0	-3,8	-56,9	-18,6

Таблица 2 (окончание)

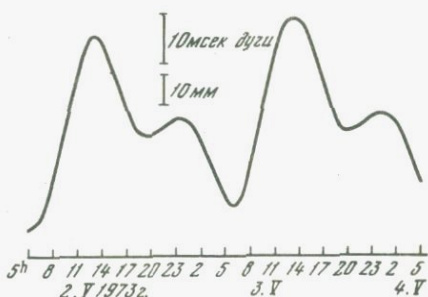
Средний день наблюдений					$\Delta\phi^\circ$					
	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
8 III	0,687	0,839	0,586	1,053	0,568	-2,0	-0,2	+5,5	-55,9	-14,6
9	0,686	0,848	0,710	1,088	0,569	-1,3	0	+8,5	-55,3	-9,9
10	0,683	0,848	0,687	1,105	0,598	-4,4	+0,7	+2,8	-54,6	-6,1
11	0,680	0,840	0,663	1,123	0,633	-4,1	+0,3	+1,4	-55,0	-7,7
12	0,676	0,843	0,619	1,149	0,686	-1,8	-0,4	-2,4	-54,8	-11,3
13	0,687	0,847	0,500	1,167	0,696	-0,8	-1,0	-0,3	-54,3	-13,6
14	0,689	0,856	0,683	1,180	0,665	-1,1	0	+1,3	-53,8	-14,2
15	0,688	0,850	0,758	1,190	0,655	-2,4	+0,2	-6,5	-53,5	-14,5
16	0,680	0,839	0,774	1,189	0,656	-4,7	+0,9	-7,0	-53,5	-12,8
17	0,664	0,839	0,644	1,199	0,665	-4,6	+1,6	-11,0	-53,5	-13,7
18	0,660	0,849	0,599	1,203	0,677	-2,9	+1,7	+8,5	-52,8	-16,3
19	0,656	0,843	0,754	1,215	0,632	-2,8	+1,6	+5,9	-51,5	-18,8
20	0,646	0,829	0,782	1,215	0,618	-2,1	+1,4	-14,1	-49,7	-20,0
21	0,643	0,812	0,542	1,191	0,547	-0,9	+1,2	-20,1	-47,9	-21,0
22	0,643	0,803	0,495	1,178	0,517	-0,9	+0,2	-3,8	-45,7	-21,8
23	0,651	0,808	0,644	1,157	0,475	-2,2	-0,5	-2,4	-43,4	-20,3
24	0,654	0,806	0,805	1,128	0,433	-2,2	+0,1	-11,1	-41,6	-18,0
25	0,660	0,785	0,746	1,104	0,405	-0,8	-1,2	-18,9	-39,6	-9,4
26	0,672	0,763	0,677	1,054	0,385	+0,1	-2,3	-19,7	-37,0	+2,7
27	0,664	0,763	0,649	0,974	0,512	-0,1	-3,1	+9,9	-32,2	-14,3
28	0,654	0,770	0,723	0,936	0,583	+0,4	-2,8	+11,2	-30,6	+13,4
29	0,681	0,754	0,640	1,007	0,467	-0,3	-3,7	-6,1	-34,1	-12,1
30	0,644	0,749	0,707	0,881	0,699	-0,7	-1,8	+2,4	-28,1	+9,4
31	0,629	0,712	0,654	0,815	0,717	0	+0,1	+13,4	-24,0	+2,0
1. IV	0,625	0,719	0,565	0,843	0,703	-0,8	-0,6	+12,2	-25,7	+4,6
2	0,640	0,695	0,729	0,795	0,707	-0,6	-0,1	+10,0	-23,4	-0,1
3	0,653	0,698	0,596	0,789	0,701	-2,2	-0,6	+0,8	-22,7	-2,1
4	0,656	0,696	0,508	0,758	0,686	-3,3	+0,1	+5,7	-21,5	-5,8
5	0,644	0,682	0,548	0,730	0,645	-3,0	+1,0	+10,5	-20,7	-6,5
6	0,626	0,659	0,580	0,720	0,632	-1,4	+1,0	+4,3	-20,5	-7,0
7	0,620	0,647	0,608	0,721	0,636	-0,2	+0,8	+4,7	-20,3	-5,8
8	0,619	0,650	0,682	0,736	0,638	+0,1	+0,4	+6,2	-19,2	-4,6
9	0,623	0,657	0,683	0,729	0,661	+0,2	+1,0	+4,2	-17,9	-2,7
10	0,632	0,653	0,645	0,719	0,662	+0,3	+0,5	+1,1	-17,1	-2,1
11	0,641	0,648	0,650	0,724	0,692	-0,4	+1,0	+3,6	-16,6	-4,1
12	0,638	0,647	0,675	0,739	0,688	-1,5	+1,5	+2,5	-15,8	-4,8
13	0,624	0,649	0,682	0,737	0,681	-1,8	+2,1	+1,7	-14,8	-6,4
14	0,617	0,654	0,614	0,736	0,682	-1,0	+2,7	+0,6	-14,4	-6,9
15	0,615	0,646	0,640	0,740	0,667	-1,0	+3,1	+2,0	-13,4	-8,0
Среднее	0,669	0,790	0,665	0,883	0,653	-1,2	+1,1	-1,0	-35,1	-9,6

казали, что он практически не имеет температурного коэффициента [1]. Однако полученный температурный коэффициент наклономера с фотоэлектрической системой регистрации пока следует считать условным, так как нам еще не ясно, на что воздействовало изменение температуры в штольне — непосредственно на наклономер или же на постамент. Для решения этого вопроса необходимо провести специальные температурные исследования наклономера.

Поправка за нелинейность шкалы гальванометра наклономера не превышала 0,3 мм и была в пределах точности отсчета ординат приливной кривой. Поэтому поправка за нелинейность шкалы гальванометра не вводилась в ординаты приливной кривой.

На рис. 2 приводится образец записи приливных наклонов по составляющей В-3 в Обнинске, полученной при помощи макета кварцевого наклономера с фотоэлектрической системой регистрации.

Рис. 2. Образец записи приливных наклонов кварцевым наклономером



Гармонический анализ приливных наблюдений был проведен по способу Б.П. Перцева [4] скользящим методом со сдвигом центрального дня на одни сутки [5]. В результате анализа было получено 61 значение γ и $\Delta\phi$ для каждой из пяти основных приливных волн: M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 . Значения γ и $\Delta\phi$ приведены в табл. 2

Средние значения γ , полученные из наблюдений кварцевым наклономером, близки средним значениям γ по составляющей В-3, полученным для европейской части СССР из наблюдений наклономером А.Е. Островского [6,7]. Средние значения γ_{M_2} для пункта "Сьяново" из наблюдений наклономером А.Е. Островского равно 0,684, а среднее значение $\gamma (M_2, S_2, N_2, O_1)$ с учетом веса волн, пропорционального их амплитудам, из наблюдений кварцевым наклономером в пункте "Обнинск" равно 0,685.

Результаты анализа свидетельствуют о хорошей работе макета кварцевого наклономера.

В заключение авторы выражают благодарность С.М. Фандюшиной за помощь при выполнении гармонического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Г. Гриднев. Температурные наклоны земной поверхности и вызываемые ими искажения в показаниях приливных гравиметров. – Наст. сб., стр. 142.
2. Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр. – Наст. сб., стр. 113.
3. Д.Г. Гриднев. Исследование стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. – Сб. "Изучение земных приливов". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1964.
4. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. – Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.
5. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г. Гриднев, М.В. Крамер, Н.Н. Парийский. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скользшим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. – Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли" Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1967.
6. А.Е. Островский. Наклономер с фотоэлектрической регистрацией. – Сб. "Изучение земных приливов", № 2. М., Изд-во АН СССР, 1961.
7. А.Е. Островский. Результаты наблюдений приливных наклонов земной поверхности на территории СССР за период 1957–1972 гг. – Наст. сб., стр. 77.

А. Е. Островский

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ НАКЛОНОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ СССР ЗА 1957–1972 ГГ.

За 15-летний период наблюдения приливных наклонов в СССР получили широкое распространение. В основу их были положены работы М.С. Молоденского об упругих приливах и внутреннем строении Земли [1]. В этих работах была показана зависимость чисел Лява k и h от модуля сдвига в ядре. При изменении модуля сдвига от нуля до бесконечности, т.е. от жидкого до твердого ядра, величина k изменится в 5 раз.

Таким образом, была доказана реальная возможность изучения внутреннего строения Земли по наблюдениям амплитуд земных приливов. В этих же работах было показано, что с точностью до 0,2% сохраняется равенство $h = 2k$. Отсюда следует, что числа Лява можно определить как из наклономерных, так и гравиметрических наблюдений. Разность фаз между наблюдаемыми приливными волнами и вычисленным теоретическим земным приливом позволяет судить о вязкости в ядре. Числа Лява, полученные из наблюдений наклонов Майкельсоном, Орловым и Аксентьевой, сразу же позволили заключить, что модуль сдвига в ядре на порядок меньше модуля сдвига в мантии Земли. Однако для выбора модели строения Земли с изменяющейся в зависимости от глубины плотностью и упругостью

требуется точное определение амплитуд земноприливных волн. Эта задача оказалась очень трудной и сложной. Она потребовала многих лет исследования и до настоящего времени не получила удовлетворительного решения.

Особенно трудные проблемы возникают с измерением сдвига фаз. Он оказался очень малым (лежит в пределах 1 град), что создает трудности в его измерении. Фон помех значительно больше самой измеряемой величины.

Наблюдения приливных наклонов, проведенные Майкельсоном (Йоркская обсерватория) водотрубным наклономером, расположенным над землей, показали, что вследствие влияния периодических изменений температуры воздуха измерить приливные наклоны на открытом воздухе нельзя [2, 3]. При заглублении труб на 2 м Майкельсоном были получены хорошие результаты, которые не утратили своего значения и по сей день.

Орлов, стараясь избавиться от влияния температуры, проводил наблюдения в подвалах глубиной 4–5 м, но эта глубина оказалась явно недостаточной, только благодаря длительным рядам наблюдений (15 лет) им были получены неплохие результаты. Позднее для уменьшения влияния температуры на результат измерений приливных наклонов наблюдения стали проводиться на больших глубинах (вплоть до 1,4 км, Чехословакия).

При увеличении числа пунктов наблюдений было замечено, что гармонические постоянные y и k приливных наклонов изменяются при перестановке приборов с одного места на другое даже в пределах одной штольни. Кроме того, наблюдалось азимутальное неравенство в y по направлениям С–Ю и В–З.

Долгое время не знали причин изменения гармонических постоянных от места к месту. В Западной Европе до сих пор господствует гипотеза, высказанная Лявом, что изменения приливных наклонов вызваны жидким приливом – именно влиянием прилива в Северном море. По мере того как число пунктов наблюдений увеличивалось и наблюдения были проведены вдали от морей и океанов, эта гипотеза отпала сама собой.

Много сомнений в точности измерений наклонов всегда вызывали приборы. В настоящее время в нашей стране разработан фотоэлектрический наклономер с высокой чувствительностью и дистанционной регистрацией. При наблюдениях используется новый способ эталонирования наклономеров, который позволяет контролировать чувствительность прибора автоматически дважды в сутки и обеспечивает точность измерений в 1%. Наблюдения в последние 15 лет проводились в большом числе пунктов одними и теми же приборами. Таким образом, различия в гармонических постоянных приливных наклонов не могут быть объяснены инструментальными ошибками.

За 15 лет было разработано несколько методов гармонического анализа, основанных на разных принципах. Сравнение этих методов на одном и том же ряде наблюдений показало, что все они практически дают один и тот же результат.

Было замечено, что при наблюдениях с одними и теми же приборами в пределах одной штольни, т.е. на расстоянии 50 м, получаются различия в γ , намного превосходящие расхождения внутри ряда. Так, на станции "Кондара" были проведены наблюдения на трех пунктах, расположенных в 30 м друг от друга: Кондара 1, Кондара 2, Кондара 3. Результаты гармонического анализа этих наблюдений приведены в табл. 1.

Нетрудно заметить, что внутренняя сходимость в рядах наблюдений значительно больше, чем сходимости значений γ между отдельными пунктами. Отсюда можно заключить, что различие в γ является локальное, т.е. обусловленное деформациями постаментов вследствие неоднородности строения грунта непосредственно под фундаментом.

Мы разработали систему установки наклономеров в шурфах глубиной 10–20 м. Длительные непрерывные ряды наблюдений в шурфах, расположенных недалеко друг от друга, показали, что гармонические постоянные изменяются от места к месту в шурфах значительно меньше, чем в штольне.

В табл. 2 приведены величины гармонических постоянных γ и κ , полученные по наблюдениям в шурфах, расположенных в 50 м друг от друга. Нетрудно заметить, что здесь расхождение в γ и κ по разным пунктам наблюдений значительно меньше, чем на станциях, рассмотренных в табл. 1. Средняя квадратическая ошибка в γ по В-3 в Сяново оказалась в 2 раза меньше, чем в Кондаре. По компоненте С-Ю эта ошибка меньше в 6 раз. Особенно интересно сравнение средних квадратических ошибок при рассмотрении сдвига фаз. По наблюдениям в шурфах средняя квадратическая ошибка получилась в 7–10 раз меньше, чем по наблюдениям в штольне.

Таблица 1

Величины гармонических постоянных при наблюдениях наклонов в штольне $\gamma (M_2)$

Станция	С - Ю		В - 3	
	γ	κ°	γ	κ°
Кондара 1	0,955	13,6	0,582	-7,0
	± 15	$\pm 1,9$	± 6	$\pm 1,4$
Кондара 2	0,671	0,3	0,614	0,0
	± 21	$\pm 1,3$	± 21	$\pm 2,0$
Кондара 3	0,814	-2,9	0,631	-3,3
	± 17	$\pm 0,7$	± 9	$\pm 5,1$
Среднее	0,813	+5,9	0,612	-2,7
	± 53	$\pm 5,3$	± 23	$\pm 3,5$

Таблица 2

Величины гармонических постоянных при наблюдениях наклонов в разведочных шурфах γ (M_2)

Станция	С-Ю		В-3	
	γ	κ°	γ	κ°
Сьяново 3	0,690	-5,0	0,675	-5,0
	± 4	$\pm 0,05$	± 10	$\pm 0,9$
Сьяново 7	0,662	-5,1	0,680	-4,0
	± 7	$\pm 1,2$	± 4	$\pm 0,4$
Сьяново 8	0,662	-4,6	0,698	-5,3
	± 7	$\pm 1,1$	± 6	$\pm 0,5$
Среднее	0,671	-4,9	0,684	-4,8
	± 9	$\pm 0,2$	± 12	$\pm 0,4$

На симпозиуме по приливам в Страсбурге в 1968 г. была представлена полная таблица с результатами наблюдений приливных наклонов на территории СССР [4]. Среднее значение амплитудного фактора γ из 28 пунктов, приведенных в этой таблице, оказалось равным 0,683. Сравнивая с этой величиной среднюю величину, приведенную в табл. 1 и 2, мы видим, что наблюдения в шурфах по В-3 отличаются на единицу в третьем знаке от 0,683, в то время как наблюдения в штольне как по широтной, так и по меридиональной компоненте имеют огромное расхождение.

Из рассмотрения этого примера можно сделать вывод, что наблюдения в шурфах, несмотря на небольшую их глубину, могут дать лучший результат определения амплитудного фактора приливных наклонов, чем по наблюдениям в штольне.

Существенным недостатком наблюдений приливных наклонов в шурфах является изменение величины γ от времени года, вызванное сезонными изменениями метеорологических факторов. Особенно сильное влияние оказывают термоупругие деформации, проникающие на глубину. Эти деформации делают невозможным точные измерения суточных приливных волн в летнее время на глубинах меньше 20 м, в особенности волны K_1 , близкой по периоду к температурной волне S_1 .

Найдем теперь среднее значение γ из всех наблюдений приливных наклонов с установкой приборов в шурфах на территории СССР. В табл. 3 приведены гармонические постоянные 10 станций. Средние величины γ по составляющей В-3 и С-Ю почти не отличаются друг от друга. Однако ошибка измерений по составляющей С-Ю в 3 раза больше, чем по составляющей В-3. Такое соотношение ошибок объясняется двумя причинами: во-первых, по составляющей В-3 амплитуда волны M_2 всегда больше, чем по составляющей С-Ю, во-вторых, замечено, что влияние периодических изменений тем-

пературы по направлению С-Ю больше, чем по направлению В-З. Средняя квадратическая ошибка при определении сдвига фаз также меньше по составляющей В-З.

Таким образом, как числа Лява, так и сдвиг фаз для целей изучения внутреннего строения Земли лучше брать из значений γ и κ , полученных по компоненте В-З. В нашем случае из табл. 3 получаем: $k = 0,310 \pm 0,004$; $h = 0,620 \pm 0,004$; $\kappa = -4,15 \pm 0,6^\circ$.

Сравнивая эти числа с аналогичными числами, полученными по 28 станциям в таблице, представленной на симпозиуме в Страсбурге [4], мы замечаем, что, несмотря на то, что станций в шурфах в 3 раза меньше, чем станций в штольнях, шахтах и шурфах вместе взятых, ошибка измерений уменьшилась почти в 2 раза, т.е. вместо 0,007 она стала равна 0,004. По сдвигу фаз ошибка тоже уменьшилась в 1,5 раза. Сдвиг фаз получился больше, чем по всем станциям. Это объясняется тем, что фаза наблюдаемой волны сильно зависит от геологического строения земной коры, от направления разрывов в земной коре. Такое поведение фазы приливных наклонов наряду с амплитудным фактором представляет заман-

Таблица 3

Гармонические постоянные при наблюдениях приливных наклонов в разведочных шурфах

Станция	Глубина, м	Число месяцев	С - Ю		В - З	
			γ	κ°	γ	κ°
Новлинское	10	21	0,791	7,0	0,692	-5,2
			± 4	$\pm 0,1$	± 4	$\pm 0,2$
Сьяново 3	12	9	0,690	-5,0	0,675	-5,0
			± 4	$\pm 0,05$	± 10	$\pm 0,9$
Сьяново 7	12	3;2	0,662	-5,1	0,680	-4,0
			± 7	$\pm 1,2$	± 4	$\pm 0,4$
Сьяново 8	12	3;2	0,662	-4,6	0,698	-5,3
			± 7	$\pm 1,1$	± 6	$\pm 0,5$
Дарьевка	7	12	0,633	-3,8	0,682	-6,9
			± 11	$\pm 1,3$	± 8	$\pm 0,7$
Великая Будища	12	24	0,639	0,7	0,704	-5,5
			± 5	$\pm 0,6$	± 11	$\pm 0,3$
Самотоевка	10	6	0,707	0,6	0,704	-3,6
			± 14	$\pm 1,0$	± 11	$\pm 1,3$
Шевченково	16	8	0,700	-0,05	0,707	-2,7
			± 12	$\pm 1,5$	± 12	$\pm 1,1$
Ташкент 1	22	13	0,694	-5,8	0,672	-3,3
			± 5	$\pm 1,2$	± 6	
Ташкент 2	22	25	0,713	-1,1	0,682	0,1
			± 4	$\pm 0,5$	± 4	$\pm 0,3$
Среднее			0,689	-1,7	0,690	-4,5
			± 14	$\pm 1,3$	± 4	$\pm 0,6$

чивую перспективу трассирования глубинных разрывов в земной коре с помощью наблюдений за приливными наклонами. Но для этого необходимо уменьшить влияние температурных деформаций на приливные наклоны, т.е. увеличить точность измерений амплитуд и фаз приливных наклонов.

В работе М.С. Молоденского [1] сделан расчет модуля сдвига в ядре при условии, когда плотность в оболочке изменяется от $3,344 \text{ г/см}^3$ на поверхности Земли до $9,953$ на границе ядра; ядро принято однородным несжимаемым. Для этого случая им рассчитано пять моделей с разными модулями сдвига в ядре. Модель шестая с модулем сдвига, равным нулю, имеет значение $k=0,310$, т.е. в точности совпадает с полученным нами выше значением k . Конечно, такое полное совпадение – дело случая. Ошибка в измерениях k , по нашим наблюдениям, составляет $0,004$, что в относительной мере равно $1,3\%$, и число k , полученное из наклономерных наблюдений, может быть от $0,306$ до $0,314$. Дальнейшее повышение точности определения чисел Лява позволит учесть более тонкие особенности строения Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.С. Молоденский. Упругие приливы, свободная нутация и некоторые вопросы строения Земли. – Труды Геофиз. ин-та, № 19 (146). М., Изд-во АН СССР, 1953.
2. A.A. Michelson. Preliminary results of measurements of the rigidity of the Earth. – *Astrophys. J.*, 1914, 39, 105.
3. A.A. Michelson, H.G. Gale. The rigidity of the Earth. – *Astrophys. J.*, 1919, 50, 330.
4. А.Е. Островский, П.С. Матвеев. Приливные наклоны земной поверхности по наблюдениям в СССР. – В кн. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973.

С. М. Фандюшина

АЗИМУТАЛЬНОЕ НЕРАВЕНСТВО ПРИЛИВНОГО ФАКТОРА γ В ТАЛГАРЕ

В работе рассматриваются результаты 6-летних стационарных высокоточных наблюдений, проводимых ИФЗ АН СССР на сейсмической станции "Талгар".

Как уже сообщалось [1, 2], наблюдения на станции "Талгар" проводятся в штольне, пройденной в 1959 г. в крупном массиве кристаллических сланцев.

Штольня длиной 105 м перпендикулярна горному хребту, имеющему субширотное направление. Приборы установлены на бетонированном полу в одном из боковых отсеков, находящемся в 90 м от устья штольни.

Температура в штольне в течение года сохраняется $10,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Суточные изменения температуры внутри камеры не превышают $0,01^\circ\text{C}$. Относительная влажность — 98%.

Регистрация наклонов производится двумя приборами [3], установленными перпендикулярно друг другу.

Электродинамическая постоянная приборов, характеризующая чувствительность маятника к наклонам, определяется с точностью $\pm 0,2\%$ [4].

Средняя чувствительность приборов составляет 850 мм/сек дуги или $0,0012''/\text{мм}$ записи. Контроль чувствительности осуществляется дважды в сутки автоматической подачей импульса на ленту.

За рассматриваемый 6-летний период в наблюдениях были четыре перерыва в записи: 17.V — 11.VII 1967 г.; 2.VI — 8.VII 1969 г.; 2.VIII — 15.VIII 1970 г.; 11.VII — 14.VII 1971 г. В первый и второй перерывы производились ремонтно-профилактические работы в штольне, что служило помехами для проведения наблюдений. В третий перерыв приборы снимались с записи для чистки и просушки и вновь устанавливались на прежнее место. К сожалению, при новой установке приборов была допущена ошибка при установке их в азимуте. Это потребовало внесения исправления в результаты наблюдений и редуцирования их на меридиан и первый вертикал. Кроме этих перерывов в записях было еще несколько пропусков продолжительностью менее суток. Заполнение пропусков в этих случаях производилось по величине теоретического прилива с учетом U_{M_2} и дрейфа прибора.

В последние годы измерения наклонов получили интенсивное развитие. Объясняется это не только необходимостью знания упругих приливных констант. Результаты измерений наклонов используются в исследованиях, охватывающих весьма широкий круг проблем: в геологии, геофизике, инженерной геологии. Наклономерные наблюдения позволяют изучать свойства коры в зоне разломов, изучать тонкие деформации земной коры; они используются при изучении современных движений земной коры, при проектировании и строительстве высотных плотин, для наблюдений за поведением крупных инженерных сооружений и т.д.

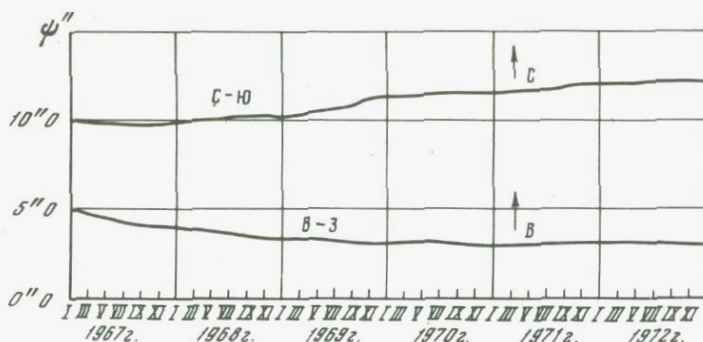
Несомненно, что хорошо организованные наблюдения могут дать большую информацию, содержащуюся в виде дрейфа нуля-пункта.

На рисунке представлен общий ход наклона по С-Ю и В-З.

По оси абсцисс отложено время в сутках, по оси ординат — значения наклонов ψ'' в секундах дуги. Изменение наклона за 1967–1972 гг. по составляющей С-Ю $2,1''$ к северу, по составляющей В-З $-2,0''$ к западу.

На кривой, представляющей наклон по составляющей В-З, можно заметить годовую волну с амплитудой меньшей $0,1''$.

Такой ход наклона за 6 лет наблюдений свидетельствует о малом инструментальном дрейфе нуля прибора и позволяет с успехом использовать эти приборы для решения перечисленных выше задач.



Общий ход наклонов по компонентам С-Ю и В-3

Весь материал наблюдений был подвергнут гармоническому анализу по способу Б.П. Перцева [5] со сдвигом центрального момента серии на одни сутки [6].

В табл. 1 и 2 приведены результаты гармонического анализа — приливные факторы γ и сдвиг фаз κ для пяти основных приливных волн, полученные как средние значения из независимых серий, без перекрытия, для каждого года наблюдений. Оценка точности также производилась по независимым сериям. В верхней части таблиц приведены значения теоретических амплитуд H_T для данной станции по составляющей С-Ю (см. табл. 1) и для составляющей В-3 (см. табл. 2).

Как видно из анализа табл. 1 и 2, ошибка в определении γ_{M_2} по составляющей С-Ю — менее 0,2%, по составляющей В-3 — 0,3%.

С удовлетворительной точностью определены γ и всех других полусуточных волн (S_2, N_2) по обеим составляющим, а также γ суточных волн (K_1, O_1) по составляющей В-3 (см. табл. 2).

Все вышесказанное можно повторить и в отношении сдвига фазы наблюдаемого прилива по отношению к теоретическому κ . Знак минус соответствует запаздыванию наблюдаемого прилива относительно теоретического. Сдвиг фаз — мал для обеих компонент, но по составляющей С-Ю мы имеем запаздывание, равное примерно 5° , а по составляющей В-3 — небольшое опережение, равное $2,5^\circ$.

Обращает на себя внимание тот факт, что значения γ различных волн по одной и той же составляющей близки между собой, исключение составляют γ_{K_1} и γ_{O_1} для составляющей С-Ю, это объясняется тем, что значения теоретических амплитуд этих волн малы для данной станции и составляют всего лишь $0,0006''$ и $0,0004''$ соответственно.

Легко заметить также, что γ и κ по каждой составляющей получены с хорошей внутренней сходимостью и практически не меняются из года в год. В то же время значения γ , полученные для разных компонент, значительно различаются. Эта разность в γ_{M_2} , например, достигает 15% , $\gamma_{B-3} - \gamma_{C-Ю} = 0,715 - 0,613 = 0,102$ (15%).

Таблица 1

Результаты гармонического анализа составляющей С-Ю

Год	M ₂		S ₂		N ₂		K ₁		O ₁	
	H _T = 0,0078"		H _T = 0,0036"		H _T = 0,0015"		H _T = 0,0006"		H _T = 0,0004"	
	γ	κ°	γ	κ°	γ	κ°	γ	κ°	γ	κ°
1967	0,616	-5,5	0,620	-7,6	0,594	-4,2	0,754	-115,7	0,623	-149,3
	± 3	± 3	± 10	± 4	± 12	± 1,0	± 92	± 7,2	± 65	± 6,2
1968	0,611	-5,2	0,630	-7,7	0,591	-3,6	0,833	-107,8	0,773	-141,6
	± 3	± 5	± 8	± 5	± 14	± 1,7	± 31	± 9,7	± 86	± 5,3
1969	0,614	-4,5	0,624	-7,2	0,627	-3,6	0,818	-116,2	0,859	-140,0
	± 4	± 4	± 6	± 8	± 36	± 1,3	± 117	± 5,7	± 98	± 8,7
1970	0,618	-5,1	0,610	-6,8	0,595	-7,9	0,871	-114,1	0,939	-125,4
	± 4	± 4	± 8	± 1,1	± 28	± 2,8	± 110	± 6,4	± 87	± 4,7
1971	0,612	-3,5	0,571	-4,0	0,636	-5,1	1,147	-112,3	0,787	-110,4
	± 4	± 6	± 10	± 2	± 26	± 2,1	± 153	± 5,9	± 69	± 6,4
1972	0,609	-6,1	0,582	-6,9	0,599	-5,6	1,149	-105,3	0,832	-127,6
	± 4	± 2	± 4	± 2	± 21	± 2,0	± 135	± 7,1	± 77	± 6,5
Среднее	0,613	-5,0	0,606	-6,7	0,607	-5,0	0,929	-111,9	0,802	-132,4
Средняя квадратическая ошибка	±1(0,2%)	±4	±10(1,5%)	±6	±8(1%)	±7	±71(10%)	±1,8	±43(5%)	±5,7

Таблица 3

Результаты сравнения двух методов анализа

Ме- тод	M_2		S_2	
	γ	κ°	γ	κ°
Составляющая С-Ю				
В	0,610	-5,6	0,594	-6,4
П	0,613	-5,0	0,606	-6,7
Составляющая В-З				
В	0,715	1,6	0,727	1,2
П	0,715	2,6	0,718	1,1

Таблица 3 (продолжение)

Ме- тод	N_2		K_1		O_1	
	γ	κ°	γ	κ°	γ	κ°
Составляющая С-Ю						
В	0,604	-3,3	0,982	70,7	0,808	52,2
П	0,607	-5,0	0,929	-111,9	0,802	-132,4
Составляющая В-З						
В	0,716	2,4	0,739	-3,1	0,701	-5,1
П	0,708	3,2	0,744	-3,6	0,692	-5,1

Две большие серии продолжительностью по году: 9.VII г. - 30.VII 1970 г. = 386 сут.; 16.VIII 1970 г. - 12.VII 1971 г. = 364 сут. были обработаны по методу Венедикова [7].

В табл. 3 приведены значения γ и κ пяти основных приливных волн, полученные при обработке наблюдений методами Б.П. Перцева (П) и Венедикова (В). Хотя в обработку по методу Венедикова вошли только две годовые серии, а методом Б.П. Перцева - шесть лет, разница в результатах лежит в пределах ошибок измерений, как по одной, так и по другой составляющей.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что характерной особенностью приливных констант, полученных в Талгаре, является большая разница в γ по компонентам. Эту разницу не устраняет ни способ обработки, ни поправка, введенная нами за влияние кос-

венного эффекта [8]. Поэтому можно предположить, что разница в значениях приливных констант по компонентам объясняется влиянием особенностей строения земной коры в данном районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.М. Фандюшина. Приливные наклоны на Тянь-Шане. – В кн. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973.
2. S.M. Fandjushina. Tidal tilts in the Tien-Shan. – *Communs Obs. roy. Belgique*, 9, ser. A, 1970, N 96.
3. А.Е. Островский. Наклономер с фотоэлектрической регистрацией. – Сб. "Гравиметрия", № 2. М., Изд-во АН СССР, 1961.
4. И.А. Широков. Об эталонировании фотоэлектрических наклономеров. – Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967 (ВМ-50).
5. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. – Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.
6. А.Е. Островский, С.М. Фандюшина. Приливные наклоны по наблюдениям с параллельными приборами. – Сб. "Приливные изменения силы тяжести". М., "Наука", 1964.
7. A.P. Venedikov. Une methode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. – *Communs. Obs. roy. Belgique*, 250, ser. A, Geophys., 1966, N 71.
8. Б.П. Перцев. О влиянии косвенного эффекта на результаты наклономерных наблюдений. – Сб. докл. симпозиума по обмену опытом наклономерных наблюдений и критическому рассмотрению их физического смысла. Л., Изд. АН СССР, Сов. Геофиз. Комитет, май 1968 г.

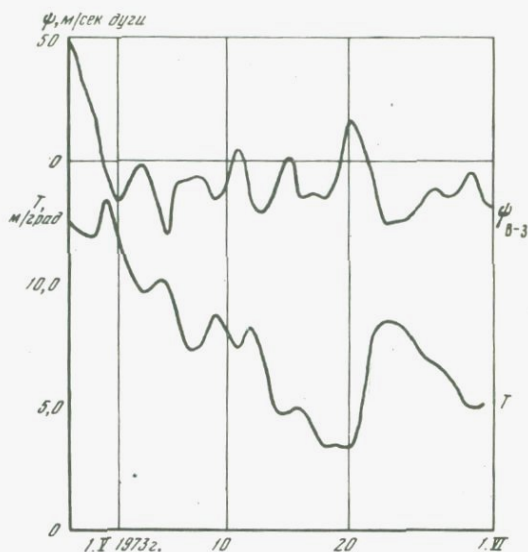
К. Росса, Л. Кубачкова, П. Гудец,
А. Е. Островский, И. А. Широков, К. М. Анохина

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НАКЛОНОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА СТАНЦИИ «ВИГНЕ» В СЛОВАКИИ

В 1973 г. при содействии Института физики Земли АН СССР была организована первая наклономерная станция "Вигне" на территории Словакии.

Станция расположена в центре Штявничких гор на высоте 420 м над уровнем моря. Наклонометры с фотоэлектрической регистрацией системы Островского были установлены в заброшенной штольне "Антон Падуан", в камере 3 × 2,5 м на расстоянии 190 м от входа. Глубина залегания камеры от дневной поверхности 50 м. Местность вокруг штольни покрыта хвойным лесом. Бетонный постамент размером 1 × 1 × 0,8 м, на котором проводилась регистрация, установлен на твердой скальной породе.

Изменение дрейфа
нуль-пункта накло-
номера и температу-
ры внутри камеры



Наклономер № 6 регистрировал составляющую С-Ю с чувствительностью 1300-1500 мм/сек дуги, наклономер № 3 регистрировал составляющую В-З с чувствительностью 700-1000 мм/сек дуги.

Материалы наблюдений наклонов земной коры, полученные на станции "Вигне" с мая по декабрь 1973 г., были подвергнуты обработке, в процессе которой определен дрейф нуля-пункта наклономеров и определены гармонические постоянные земного прилива.

Как известно, необходимым условием измерения земноприливных наклонов является высокая изотермичность камеры, в которой установлены наклонометры.

Длительные непрерывные измерения температуры воздуха в месте установки наклономеров показали, что суточные колебания температуры не превышают 2-3 мград.

Кроме суточных колебаний в камере отмечаются длиннопериодные флюктуации температуры воздуха с амплитудой до 10 мград. Вне наклонномерной камеры в горной выработке колебания имеют значительно большую амплитуду. Эти изменения температуры вызваны, вероятно, работой вентиляционных установок в шахте "Банска Ходруша", которая удалена на 5 км от наклонномерной станции "Вигне" и связана с ней системой горных выработок.

Изменение температурного режима в горном массиве вызывает соответствующие температурные деформации горных пород, которые хорошо выделяются на графиках нуля-пункта и имеют период 4-5 дней с амплитудой, достигающей 20-25 мсек дуги (см. рисунок).

Представляет интерес также изучение непериодического дрейфа маятников наклонномеров за длительные отрезки времени, что позволяет инструментальным способом оценить с высокой точностью ве-

личину современных деформаций в месте установки наклономеров. Годовая скорость наклона в азимуте В-3 имеет величину 1,7 сек дуги/год и направлена на север.

Для определения амплитуд и фаз основных волн земного прилива наблюдения подвергались гармоническому анализу по методу Б.П.Перцева (П) и Венедикова (В) [1]. Гармонический анализ по методу Б.П.Перцева выполнялся независимыми 37-дневными сериями наблюдений со сдвигом на 1 сут.

В статье приводятся результаты анализа наблюдений за период с августа по декабрь 1973 г. В табл. 1 помещены значения амплитудного фактора основных волн земного прилива по компонентам С-Ю и В-3, полученные в результате обработки двумя методами. Среднеквадратическая ошибка по методу Б.П.Перцева вычислялась по независимым 37-дневным сериям наблюдений.

Таблица 1

Результаты гармонического анализа (γ)

Метод	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
	$H_T=7,8$ м·сек	$H_T=3,6$ м·сек	$H_T=1,5$ м·сек	$H_T=10$ м·сек	$H_T=0,7$ м·сек
С-Ю					
П	0,587 ± 2	0,602 ± 15	0,652 ± 30	0,905 ± 161	1,462 ± 287
В	0,588 ± 12	0,604 ± 23	0,645 ± 62	0,778 ± 239	1,053 ± 341
В-3					
	$H_T=10,5$ м·сек	$H_T=4,9$ м·сек	$H_T=2,0$ м·сек	$H_T=6,9$ м·сек	$H_T=4,9$ м·сек
П	0,714 ± 5	0,788 ± 47	0,651 ± 19	1,124 ± 99	1,190 ± 50
В	0,717 ± 17	0,800 ± 32	0,634 ± 89	1,713 ± 60	1,209 ± 83

Таблица 2

Результаты гармонического анализа (κ)

Метод	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
	С-Ю				
П	-35,3 ± 0,4	-55,1 ± 1,1	-33,6 ± 2,7	803 ± 16,5	147,8 ± 5,2
В	-36,5 ± 0,8	-55,1 ± 1,5	-33,9 ± 3,9	139,0 ± 12,4	126,4 ± 13,1
В-3					
П	67,5 ± 0,9	86,3 ± 1,4	62,1 ± 7,8	25,7 ± 2,0	37,9 ± 1,4
В	66,2 ± 0,9	86,3 ± 1,6	65,9 ± 5,7	25,5 ± 2,1	36,7 ± 2,8

Из-за малости амплитуд суточных волн в направлении С-Ю на широте станции "Вигне" представленные в таблице соответствующие γ и κ этих волн не следует принимать во внимание.

Сопоставление значений γ полусуточных волн указывает на существование на станции "Вигне" азимутального неравенства амплитудного фактора γ по В-З и κ по С-Ю.

Можно предполагать, что это неравенство вызывается периодическими деформациями температурного происхождения, которые в условиях горного рельефа могут иметь достаточно большие амплитуды суточных и полусуточных гармоник [2].

На это обстоятельно указывают также большие значения сдвига фаз почти для всех волн земного прилива (см. табл. 2).

Выводы

1. Наблюдения наклонов земной поверхности на станции "Вигне" показали наличие долгопериодических наклонов с периодом 4-5 дней и амплитудой 20 мсек дуги, вызванных, по-видимому, соответствующим температурным режимом горных пород, который связан с работой вентиляционных установок.

2. Годовые скорости неперiodического наклона в азимутах С-Ю и В-З соответственно равны 3,3 и 1,7 мсек дуги/год.

3. Результаты обработки приливных наклонов показали значительное азимутальное неравенство γ С-Ю γ В-З и большой сдвиг фаз по всем приливному волнам, вызванный, по-видимому, влиянием температурных деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.P. Venedikov. Une Methode pour l'analyse des marées terrestres à partir d'enregistrements de longueur arbitraire. - *Communs Obs. roy. Belgique*, 250, ser. A, *Geophys.*, 1966, N 71.
2. И.А. Широков, К.М. Анохина. Локальные температурные наклоны земной поверхности. - Сб. "Вращение и приливные деформации Земли", № 1. Киев, "Наукова думка", 1975.

Л. И. Миронова

ПРИЛИВНЫЕ НАКЛОНЫ В ГАРМЕ ЗА 1971 Г.

Наблюдения за ходом изменения наклона земной поверхности в районе Гарма (ТаджССР) ведутся с 1969 г. В опубликованной ранее статье [1] были приведены описания геологического строения района и места наблюдения; устройство штольни и камеры, где установлены наклонометры; и результаты гармонического анализа, полученного из почти годового ряда наблюдений, значения амплитудного фак-

тора γ и фазовой разности κ для пяти основных приливных волн M_2 , S_2 , N_2 , O_1 и K_1 из наблюдений двумя приборами, установленными в азимуте $264^\circ \pm 1^\circ$ и $354^\circ \pm 1^\circ$.

В настоящей статье приводятся результаты обработки последующих наблюдений за ходом изменения наклона земной поверхности в той же камере, но другими приборами, установленными попарно параллельно друг другу в направлении С-Ю и В-З.

Сотрудниками геодезического отряда Комплексной сейсмической экспедиции в ноябре 1970 г. был занесен в камеру, где были организованы работы с наклономерами, азимут, определенный по Полярной звезде с точностью 10 сек.

В новом азимуте была установлена одна пара наклономеров перпендикулярно друг другу, писавших составляющие С-Ю и В-З соответственно под № 35 и 32. В декабре 1970 г. была установлена вторая пара приборов параллельно двум первым. Наклономер № 15 писал составляющую С-Ю, а № 21 – составляющую В-З. Приборы № 15 и 21 в мае 1971 г. были заменены соответственно на № 17 и № 36, так как первые нуждались в ремонте.

По предыдущим наблюдениям было определено, что суточный ход изменения температуры воздуха внутри камеры был около $0,05^\circ$. Также было определено, что при изменении температуры воздуха вне штольни на 1° на термографе в камере записывалось изменение, равное $0,0014^\circ$ с опозданием на 12 ч. При сопоставлении хода записи термографа с ходом наклона заметили, что при изменении записи термографа на $0,001^\circ$ наклон менялся на $0,0015$ сек дуги. Чтобы уменьшить влияние температурных изменений в камере на запись наклонов, приборы были накрыты пенопластовым колпаком в виде прямоугольной коробки размером $120 \times 120 \times 80$ см. В результате этого суточный ход на записи термографа уменьшился.

За период с декабря 1970 г. по сентябрь 1971 г. наклономерные наблюдения проводились шестью приборами, из которых одна пара № 32 и 35 работала без смены, а № 15 и 21 заменялись на № 17 и 36. Количество и качество полученных материалов наблюдений неодинаково. Хороший ход записи наклонов земной поверхности был получен с первой пары приборов, а на записях других двух пар видны частые помехи, которые вызваны, вероятно, недоброкачественной изоляцией линии, соединяющей приборы с регистратором. В записи наклонов по вине исследователей наблюдались пропуски. Если они по продолжительности были менее 2 сут., то пропуск заполняли по теоретическим значениям хода наклона. Каждый заход исследователя в камеру, где работали наклономеры, вызывал нарушение общего хода наклона и температурного режима камеры.

При подборе непрерывных рядов наблюдений наклонов земной коры для проведения гармонического анализа выбирали менее искаженные перечисленными выше помехами.

Скользящему гармоническому анализу по способу Б.П.Перцева [2] на ЭВМ "Минск 22" были подвергнуты ряды наблюдений неодинаково продолжительности. Наиболее длинный ряд наблюдений был получен

прибору № 35, составляющая С-Ю. Было сделано 244 анализа. По прибору № 32, составляющая В-3, - 213 анализов. По прибору № 15, составляющая С-Ю, было получено 112 анализов. По прибору № 36, составляющая В-3, - всего 29 анализов. Материалы, полученные по приборам № 17 и 21, анализу не подвергались.

В результате гармонического анализа были получены значения амплитудного фактора γ и разности фаз κ для пяти основных приливных волн M_2 , S_2 , N_2 , O_1 и K_2 по числу сделанных сдвигов. Эти значения, группировались по календарным датам названного месяца и получали среднеарифметическое значение для каждой волны данного месяца.

В табл. 1 даны средние арифметические значения величин амплитудного фактора γ по составляющим С-Ю и В-3 соответственно для

Таблица 1

Среднемесячные значения амплитудного фактора γ , полученного на станции "Гарм"

Период наблюдений	M_2	S_2	N_2	O_1	K_1
Прибор № 32, составляющая В-3					
XII 1970 г.	0,719	0,653	0,833	0,818	0,706
I 1971 г.	0,695	0,719	0,766	0,619	0,759
II	0,702	0,675	0,657	0,627	0,764
III	0,704	0,659	0,655	0,661	0,822
IV	0,669	0,620	0,680	0,602	0,554
V	0,682	0,603	0,616	0,633	0,560
VI	0,709	0,558	0,687	0,585	0,592
VII	0,688	0,571	0,690	0,692	0,580
VIII	0,690	0,581	0,598	0,753	0,527
Средне-арифметическое	0,695	0,627	0,687	0,666	0,652
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,005$	$\pm 0,018$	$\pm 0,024$	$\pm 0,026$	$\pm 0,037$
Прибор № 36, составляющая В-3					
VII 1971 г.	0,654	0,575	0,672	0,710	0,512
VIII	0,694	0,578	0,646	0,759	0,408
Средне-арифметическое	0,674	0,577	0,659	0,735	0,460
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,020$	$\pm 0,002$	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	$\pm 0,052$

Таблица 1 (продолжение)

Период наблюдений	M_2	S_2	N_2	O_1	K_1
Прибор № 35, составляющая С-Ю					
XII 1970 г.	0,610	0,675	0,690	1,006	0,770
I 1971 г.	0,621	0,670	0,654	1,046	0,659
II	0,618	0,661	0,631	1,081	0,650
III	0,630	0,677	0,592	1,116	0,805
IV	0,643	0,680	0,581	0,946	0,779
V	0,652	0,695	0,604	0,970	0,698
VI	0,618	0,617	0,572	1,053	0,766
VII	0,630	0,629	0,599	1,037	0,704
VIII	0,636	0,616	0,673	0,980	0,773
Среднеарифметическое	0,629	0,658	0,622	1,026	0,734
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,004$	$\pm 0,010$	$\pm 0,014$	$\pm 0,018$	$\pm 0,019$
Прибор № 15, составляющая С-Ю					
I 1971 г.	0,601	0,622	0,685	1,103	0,726
II	0,576	0,579	0,611	1,065	0,802
III	0,595	0,637	0,562	1,050	0,972
IV	0,583	0,636	0,561	1,172	1,008
Среднеарифметическое	0,589	0,619	0,605	1,098	0,877
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,006$	$\pm 0,014$	$\pm 0,048$	$\pm 0,027$	$\pm 0,067$

всех четырех приборов, перечисленных выше. В графе "период наблюдений" дан месяц, к которому относятся среднеарифметические значения амплитудного фактора γ каждой волны. Внизу таблицы дается среднеарифметическое значение за весь период наблюдений, а также значение средней квадратичной ошибки.

В табл. 2 даны средние арифметические значения разности фаз κ . Знак "минус" соответствует запаздыванию наблюдаемой фазы относительно теоретически вычисленной. Среднеарифметические значения за каждый месяц вычислялись так же, как и в табл. 1.

Сопоставляя значения амплитудного фактора γ по наблюдениям составляющей В-3 двумя приборами № 32 и 36 (см. табл. 1) видно,

что их значения расходятся в пределах ошибки вычислений. Ошибка вычислений больше в том случае, где анализируемый ряд наблюдений по длительности меньше. Если же сопоставить значения амплитудного фактора γ для этих приборов средние месячные величины за VII и VIII месяцы 1971 г., то сходимость их будет тоже в пределах ошибок вычислений.

Сравнивая результаты по приборам № 35 и 15, видно, что общее среднее значение их по составляющей С-Ю расходится больше, чем на ошибку вычислений. Средние месячные значения за I-IV месяцы 1971 г. тоже расходятся больше, чем на ошибки вычислений. Вели-

Таблица 2

Среднемесячные значения фактора κ , полученного на станции "Гарм" (в град)

Период наблюдений	M_2	S_2	N_2	O_1	K_1
Прибор № 32, составляющая В-3					
XII 1970 г.	-3,7	- 7,7	-12,8	0,5	0,9
I 1971 г.	-4,5	-10,4	-6,1	8,6	-1,5
II	-2,2	-14,7	-4,4	-2,6	-7,7
III	-0,6	-14,3	-7,4	-1,4	-17,2
IV	-0,9	- 7,6	-0,3	16,3	-18,8
V	-3,5	-11,2	-5,2	7,6	-8,6
VI	-4,2	- 8,8	-20,3	-2,8	-2,9
VII	-7,0	- 8,3	-7,7	-9,0	0,8
VIII	-4,2	- 9,7	-2,2	-10,2	9,8
Средне-арифметическое	-3,4	-10,3	-7,4	0,8	-5,0
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,7$	$\pm 0,9$	$\pm 2,0$	$\pm 2,9$	$\pm 3,0$
Прибор № 36, составляющая В-3					
VII 1971 г.	-1,3	-3,6	-2,2	-11,0	6,2
VIII	-0,2	-7,3	-3,6	- 0,6	10,4
Средне-арифметическое	-0,8	-5,5	-2,9	-5,8	8,3
Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,6$	$\pm 1,7$	$\pm 0,7$	$\pm 5,2$	$\pm 2,1$

Таблица 2 (продолжение)

Период наблюдений	M_2	S_2	N_2	O_1	K_1
Прибор № 35, составляющая С-Ю					
XII 1970г.	-3,8	-8,6	-3,6	6,4	-3,3
I 1971 г.	-3,2	-8,2	-1,6	2,7	-8,5
II	-3,6	-5,7	-3,6	1,6	-15,8
III	-1,9	-3,6	-6,9	-0,8	-18,0
IV	-4,4	-3,5	-13,0	5,9	-9,2
V	-4,5	1,0	-21,9	3,5	2,0
VI	-2,5	-8,0	-12,1	-11,2	16,6
VII	-2,5	-7,2	-4,4	-11,9	21,9
VIII	-3,0	-11,1	-4,5	-15,8	30,8

Средне-арифметическое	-3,3	-6,1	-8,0	-2,2	1,8
-----------------------	------	------	------	------	-----

Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,3$	$\pm 1,2$	$\pm 2,2$	$\pm 2,8$	$\pm 5,8$
-----------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Прибор № 15, составляющая С-Ю

I 1971г.	-2,6	-12,2	-20,9	1,1	-14,8
II	-6,4	-8,5	-9,3	-9,7	-10,8
III	-4,4	-5,3	-3,9	-2,7	-8,3
IV	-6,5	-5,4	-14,8	11,6	-0,3

Средне-арифметическое	-5,0	-7,9	-12,2	0,1	-8,6
-----------------------	------	------	-------	-----	------

Средняя квадратичная ошибка	$\pm 0,9$	$\pm 1,6$	$\pm 3,6$	$\pm 4,4$	$\pm 3,1$
-----------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

чины средних квадратичных ошибок также отражают длительность рядов наблюдений, подвергнутых гармоническому анализу.

По табл. 2 можно проследить ход изменения среднего значения разности фаз по всем периодам наблюдений. Из этой таблицы видно, что в основном наблюдается запаздывание по фазе в сравнении с ее теоретическим значением.

Из табл. 1 и 2 видно, что особенно искаженные значения γ и κ получены по суточным волнам O_1 и K_1 , которые по составляющей В-З имеют значения несколько заниженные, а по составляющей С-Ю завышенные. На этих же волнах наибольшие по абсолютной величине средние квадратичные ошибки.

Вероятно, это — влияние хода измерения температуры на наклон, в дальнейшем по этому вопросу будут проведены соответствующие исследования для исправления хода наклона от влияния температуры. Чтобы можно было сопоставить значения амплитудного фактора γ и разность фаз κ — полученных из серий разной длительности, было сделано определение средних весовых значений по волне M_2 . Для составляющей В-3 оно получилось равным 0,692, а для составляющей С-Ю — 0,616. Аналогично вычислили средние весовые значения разности фаз κ — для составляющей В-3 оно равно $-3,1^\circ$, для составляющей С-Ю $-3,8^\circ$. Если сопоставить результаты, полученные в [1], с настоящими, то видим, что амплитудный фактор по составляющей В-3 ранее был равен 0,722, а по составляющей С-Ю он равен 0,629. Разность фаз тоже имела знак "минус" и равнялась у В-3 -1 , у С-Ю -7 .

Из всех результатов гармонического анализа следует, что амплитудный фактор γ по составляющей В-3 больше, чем по составляющей С-Ю. Разность фаз у всех результатов имеет знак "минус" или запаздывание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.И. Миронова. Приливные наклоны Гарме в 1970 г. — Сб. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973.
2. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. — Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.

Л. А. Латынина, Г. И. Аксенович

О ПРИЛИВНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ НА СТАНЦИИ «ТАЛГАР»

Данная работа посвящена анализу линейных приливных деформаций, зарегистрированных на станции "Талгар" Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ) ИФЗ АН СССР. Наиболее характерной особенностью тектонического строения района расположения станции является наличие на расстоянии 1–2 км от станции регионального глубинного разлома. Этот разлом, называемый Заилийским, имеет широкое простираение и по глубине прослеживается до подошвы земной коры.

Экстензометрические наблюдения на станции "Талгар" ведутся с 1961 г. Экстензометр штангового типа с базой 26 м установлен в штольне на расстоянии 50 м от дневной поверхности. Прибор ориентирован в направлении С-Ю. Один конец жесткой штанги — трубы из кварцевого стекла — закреплен на породе, второй конец свободен, и его смещение относительно породы, возникающее при ее деформации, измеряется регистрирующим устройством. За период с XI 1973 г.

по I 1974 г. регистрация этого смещения велась одновременно двумя регистрирующими устройствами: фотоэлектрическим прибором, в течение ряда лет работающим на станции "Талгар", и новым индуктивным регистрирующим устройством, разработанным в КСЭ.

Фотоэлектрическое устройство состоит из механического преобразователя: системы рычагов на упругих шарнирах, трансформирующего линейное смещение штанги в поворот зеркала и фотоэлектрического преобразователя: двух фотоэлементов, соединенных по дифференциальной схеме, трансформирующего смещение светового пятна, отраженного от зеркала, в изменение э.д.с. фотоэлементов. Чувствительность экстензометра с фотоэлектрической регистрацией равна $4 \cdot 10^{-10}$ /мм записи [1].

Чувствительным элементом индуктивного устройства является ферритовый стержень, закрепленный на штанге, концы которого находятся внутри катушек. Стержень введен в каждую из катушек на половину длины обмотки. Индуктивный преобразователь собран по мостовой схеме: в два плеча моста включены индуктивные сопротивления (выше упомянутые катушки) и в два плеча - активные сопротивления. Мост питается частотой 1 кГц от генератора. Смещение штанги вызывает смещение ферритового стержня, что ведет к нарушению баланса моста. Амплитудно-модулированный сигнал разбаланса моста усиливается, детектируется и подается на пишущий гальванометр. Чувствительность индуктивного преобразователя может быть поднята до $2 \cdot 10^{-11}$ /мм записи, рабочая чувствительность в период наблюдений - $2 \cdot 10^{-10}$ /мм записи.

В данной работе рассматривается материал наблюдений за период одновременной регистрации движения фотоэлектрическим и индуктивным регистрирующими устройствами. Приливные деформации на станции "Талгар", записанные тем же экстензомером, но с оптическим регистрирующим устройством были рассмотрены в работе [2]. Анализ девяти 29-дневных серий наблюдений дал тогда для числа Лява h значения в интервале от 0,34 до 0,40, и для числа Шиды l значения в интервале от 0,044 до 0,060. Для этих чисел получены anomalно низкие значения. Величина h согласно расчетным данным и данным гравиметрических и наклономерных измерений близка к 0,6. Полученные в работе [2] величины вызвали некоторое недоверие, так как для записи прилива использовался роликовый преобразователь, создающий обратную реакцию на штангу за счет фрикционных сил.

Индуктивный прибор относится к приборам бесконтактного типа и обратного действия на штангу практически не оказывает. Силы взаимодействия между штангой и системой рычагов в фотоэлектрическом устройстве - это упругие силы, изменения которых под действием приливных смещений оцениваются динами, а вызываемые ими деформации штанги величиной 10^{-14} - 10^{-15} . Этой ошибкой можно пренебречь. Поэтому данные о приливе, полученные с помощью указанных регистрирующих устройств, свободны от система-

Таблица

Результаты гармонического анализа

Дата	Амплитуда, 10^{-8}		Сдвиг фаз, град		h	l
	M_2	O_1	M_2	O_1		
8. XII	0,835*(0,865)**	0,337 (0,370)	-5 (-8)	+10 (+9)	0,422 (0,437)	0,052 (0,051)
9	0,831 (0,846)	0,329 (0,358)	-6 (-8)	10 (8)	0,421 (0,428)	0,053 (0,050)
10	0,800 (0,842)	0,319 (0,316)	-7 (-8)	10 (7)	0,404 (0,427)	0,051 (0,057)
11	0,777 (0,831)	0,315 (0,345)	-7 (-7)	9 (7)	0,393 (0,420)	0,048 (0,050)
12	0,777 (0,827)	0,320 (0,346)	-6 (-6)	11 (8)	0,393 (0,417)	0,048 (0,050)
13	0,777 (0,842)	0,323 (0,328)	-4 (-6)	13 (10)	0,393 (0,427)	0,047 (0,055)
14	0,792 (0,854)	0,323 (0,331)	-4 (-6)	12 (10)	0,401 (0,433)	0,049 (0,056)
15	0,819 (0,854)	0,325 (0,333)	-5 (-7)	11 (11)	0,414 (0,423)	0,052 (0,055)
16	0,823 (0,838)	0,318 (0,340)	-7 (-7)	11 (13)	0,417 (0,424)	0,054 (0,052)
17	0,811 (0,834)	0,328 (0,356)	-8 (-7)	12 (13)	0,410 (0,422)	0,051 (0,049)
18	0,781 (0,827)	0,336 (0,361)	-8 (-8)	12 (10)	0,392 (0,417)	0,046 (0,047)
19	0,769 (0,827)	0,348 (0,365)	-7 (-7)	10 (10)	0,388 (0,417)	0,042 (0,046)
20	0,773 (0,827)	0,340 (0,359)	-5 (-7)	9 (10)	0,389 (0,417)	0,044 (0,047)
21	0,796 (0,835)	0,333 (0,351)	-4 (-7)	8 (10)	0,402 (0,422)	0,048 (0,050)
22	0,823 (0,835)	0,317 (0,347)	-5 (-7)	9 (10)	0,417 (0,422)	0,054 (0,050)
23	0,796 (0,831)	0,312 (0,351)	-6 (-7)	9 (11)	0,403 (0,420)	0,052 (0,050)
24	0,773 (0,838)	0,310 (0,355)	-7 (-7)	13 (12)	0,391 (0,423)	0,049 (0,050)
25	0,773 (0,846)	0,315 (0,354)	-7 (-7)	12 (12)	0,391 (0,428)	0,048 (0,051)
26	0,777 (0,842)	0,316 (0,352)	-6 (-8)	12 (12)	0,393 (0,426)	0,048 (0,051)
27	0,761 (0,819)	0,295 (0,339)	-5 (-7)	13 (12)	0,386 (0,414)	0,050 (0,050)
28	0,746 (0,815)	0,295 (0,334)	-4 (-6)	16 (15)	0,378 (0,412)	0,048 (0,050)
29	0,761 (0,827)	0,285 (0,330)	-4 (-6)	19 (16)	0,386 (0,471)	0,052 (0,053)

Таблица (окончание)

Дата	Амплитуда, 10^{-8}		Сдвиг фаз, град		h	l
	M_2	O_1	M_2	O_1		
30	0,773 (0,838)	0,307 (0,339)	-4 (-7)	19 (17)	0,391 (0,424)	0,049 (0,052)
31	0,761 (0,846)	0,320 (0,340)	-5 (-7)	19 (16)	0,384 (0,428)	0,046 (0,053)
1.1	0,758 (0,854)	0,328 (0,354)	-6 (-7)	16 (15)	0,382 (0,432)	0,044 (0,052)
2	0,735 (0,884)	0,324 (0,366)	-7 (-6)	15 (14)	0,374 (0,447)	0,042 (0,054)
3	0,727 (0,873)	0,317 (0,370)	-6 (-7)	15 (12)	0,367 (0,441)	0,042 (0,052)
4	0,715 (0,831)	0,327 (0,388)	-5 (-7)	16 (12)	0,360 (0,418)	0,039 (0,043)
5	0,711 (0,819)	0,330 (0,380)	-6 (-6)	15 (10)	0,359 (0,412)	0,038 (0,043)
6	0,727 (0,830)	0,340 (0,387)	-5 (-4)	15 (9)	0,366 (0,420)	0,038 (0,043)
7	0,758 (0,850)	0,347 (0,376)	-5 (-4)	15 (8)	0,382 (0,429)	0,041 (0,048)
8	0,827 (0,854)	0,356 (0,370)	-6 (-5)	16 (9)	0,418 (0,430)	0,048 (0,049)
9	0,846 (0,850)	0,371 (0,358)	-9 (-5)	17 (10)	0,427 (0,428)	0,048 (0,047)
10	0,781 (0,854)	0,388 (0,316)	-11 (-6)	18 (10)	0,392 (0,413)	0,037 (0,045)
11	0,738 (0,842)	0,406 (0,345)	-8 (-5)	17 (10)	0,368 (0,424)	0,028 (0,045)
12	0,754 (0,835)	0,403 (0,346)	-4 (-4)	15 (8)	0,377 (0,420)	0,031 (0,043)
13	0,796 (0,838)	0,388 (0,328)	-3 (-5)	15 (10)	0,399 (0,422)	0,039 (0,045)
Сред- нее	0,777 (0,838)*	0,332 (0,357)	-5,8(-6,5)	+13,3(+11,0)	0,393 (0,426)	0,047 (0,050)
	$\pm 0,034(\pm 0,015)$	$\pm 0,028(\pm 0,020)$	$\pm 1,6(\pm 1,1)$	$\pm 3,2(\pm 2,5)$	$\pm 0,018(\pm 0,011)$	$\pm 0,002(\pm 0,001)$
Теоре- тическое	1,188	0,506				

тических ошибок, которые могли бы привести к снижению амплитуд приливных волн. С этой точки зрения новые данные представляют интерес.

Для выделения основных приливных волн материал наблюдений за 65 сут. подвергся гармоническому анализу по 29-дневному методу Перьева со сдвигом на 1 сут. [3]. В таблице даны значения амплитуд и сдвиги фаз для основных лунных волн M_2 и O_1 , отнесенные к среднему дню серии, по данным фотоэлектрического и индуктивного приборов.

Сдвиги фаз для волн M_2 и O_1 получены достаточно надежно, так как ошибки их определения, рассчитанные по внутренней сходимости полученного ряда, невелики, а результаты, по данным фотоэлектрического и индуктивного приборов, совпадают. Сдвиг фазы для волны M_2 получен равным -6° , для волны $O_1 +12^\circ$ ($+13^\circ$ по данным индуктивного прибора и $+11^\circ$ по данным фотоэлектрического). Наблюдаемые волны приливных деформаций оказываются существенно сдвинуты по фазе относительно их теоретических аналогов. Это расхождение, видимо, нельзя объяснить случайными ошибками измерения, так как сдвиг фаз сохраняется постоянным во времени.

Амплитуды волн M_2 определяются с ошибкой 1,8% по индуктивному прибору и с ошибкой 4,4% по фотоэлектрическому. Амплитуды волны O_1 определяются с ошибками, соответственно равными 5,5 и 8,5%*. Таким образом, разброс амплитуд относительно их средних значений невелик. Средние величины амплитуды для обеих волн, полученные по данным фотоэлектрического и индуктивного приборов, различаются между собой на 7,5%.

Данные индуктивного датчика заслуживают большего доверия, так как его чувствительность более стабильна. Однако, так как причины получившегося расхождения не ясны, вопрос о том, какое же из полученных значений считать верным, остается открытым.

Амплитуды волн деформации в направлении меридиана $e_{\theta\theta}$ выражаются через потенциал W_2 следующим образом:

$$\text{для } M_2 \quad e_{\theta\theta} = \frac{W_2}{ag} \left(\frac{h \sin^2 \bar{\theta} + 2 \epsilon \cos 2\bar{\theta}}{\sin^2 \bar{\theta}} \right); \quad (1)$$

$$\text{для } O_1 \quad e_{\theta\theta} = \frac{W_2}{ag} (h - 4\epsilon), \quad (2)$$

где $\bar{\theta}$ - дополнение до широты пункта наблюдения; W_2/ag для M_2 $0,90812 \cdot 3/4 M/E (a/D)^3 \sin^2 \bar{\theta} \cdot \cos 2(i+\phi)$; для O_1

* Эта ошибка определяется по формуле $\sqrt{(x-x_0)^2/n-1}$ и является условной, так как ряд 29-дневных серий, взятых со сдвигом 1 сут., является взаимозависимым.

$0,37689 \cdot 3/4 M/E (a/D)^3 \sin 2\bar{\Theta} \cdot \cos(t+\phi)$; a - средний радиус Земли; D - большая полуось лунной орбиты.

Теоретические значения амплитуд волн M_2 и O_1 вычислены по формулам (1) и (2) для пункта наблюдения при средних для Земли значениях констант ($h = 0,6$; $l = 0,07$) и приведены в нижней строке таблицы. Сопоставляя полученные значения амплитуд волн с теоретическими, можно видеть, что наблюдаемые амплитуды в 1,5 раза меньше нормальных. Аномально низкие значения амплитуд волн ведут к аномально низким значениям констант h и l , получаемым в пункте наблюдения.

Константы h и l рассчитываются по формулам (1) и (2), если амплитуды волн M_2 и O_1 известны. Вычисленные значения h и l помещены в таблице. Средние значения h и l по данным фотоэлектрического и индуктивного приборов равны: $h = 0,39$; $0,42$; $l = 0,046$ и определены с ошибками, соответственно равными 4,7 и 2,6% для h и 4,0 и 7,6% для l .

Мы приведем далее наблюдаемые средние значения амплитуд волн S_2 , N_2 , K_1 , ошибки их определения (по данным индуктивного прибора) и их теоретические значения:

Волны	Наблюдаемые значения	Теоретические значения
S_2	$(0,388 \pm 0,010) \cdot 10^{-8}$	$0,554 \cdot 10^{-8}$
N_2	$(0,176 \pm 0,016) \cdot 10^{-8}$	$0,227 \cdot 10^{-8}$
K_1	$(0,419 \pm 0,033) \cdot 10^{-8}$	$0,713 \cdot 10^{-8}$

Амплитуда этих волн определяется с большей ошибкой, чем амплитуда волны M_2 . Это характерно и для других приливных явлений. Для нас сейчас важно соотношение теоретических и наблюдаемых амплитуд волн S_2 и K_1 . Эти приливные волны в наиболее сильной степени искажаются термическими воздействиями, и поэтому по этим волнам можно судить о качестве полученного материала.

Теоретическая амплитуда больше наблюдаемой для волны S_2 в 1,4 раза, для волны K_1 в 1,7 раз и для волн M_2 и O_1 в 1,5 раза. Следовательно, все приведенные гармоники приливных волн оказываются примерно в одном соотношении с их теоретическими значениями. Материал наблюдений над приливными деформациями с этой точки зрения является удовлетворительным.

Таким образом, согласно данным экстензометрических наблюдений, проведенных с двумя разнотипными регистрирующими устройствами, на станции "Талгар" получены аномальные значения амплитуд приливных волн и аномально низкие значения констант h и l . Средние для Земли значения h и l равны 0,6 и 0,07. Соответствующие величины на станции "Тамар" равны 0,4 и 0,05. Амплитуды волн M_2 и O_1 при средних для Земли значениях констант в 1,5 раз больше полученных в Тамаре. Фазовые характеристики приливных волн также получены существенно отличающимися от теоретических. Такая

аномалия прилива может быть объяснена влиянием глубинного разлома, который находится в непосредственной близости от станции. Прибор ориентирован в направлении перпендикулярном разлому. Естественно ожидать, что в зоне разлома, характеризующейся малой жесткостью и низкими модулями упругости, деформация будет увеличена по сравнению с нормальной, а крылья разлома окажутся разгруженными [4]. Это одна из наиболее вероятных причин снижения приливной деформации на станции "Талгар".

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.А. Латынина. Анализ работы штангового деформографа. М., ВИНТИ № 4218-72 деп., 1972.
2. Л.А. Латынина, Р.М. Кармалева. Измерение горизонтальных смещений на земной поверхности кварцевым экстензометром. - Сб. "Современные движения земной коры", № 2. Тарту, Изд-во АН ЭССР, 1965, стр. 375.
3. Б.П. Перцев. Гармонический анализ 50-дневных рядов наблюдений приливных изменений силы тяжести. - Сб. "Изучение земных приливов". М., Изд-во АН СССР, 1961.
4. Л.А. Латынина. О возможности изучения разломов в земной коре по приливным линейным деформациям. - Изв. АН СССР, физика Земли, 1975, № 3.

III. АППАРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ЗЕМНЫХ ПРИЛИВОВ

Д. Г. Гриднев

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАВИМЕТРА GS-11 № 134

Гравиметры фирмы "Аскания" GS -11 эксплуатируются в ИФЗ АН СССР практически непрерывно с 1958 г. С их помощью велись наблюдения приливных изменений силы тяжести в Красной Пахре, Пулково, Алма-Ате, Ташкенте, Ланьчжоу, Киеве, Фрунзе, Талгаре, Обнинске, Мали.

В последние годы качество полученного с помощью этих гравиметров материала ухудшилось. Например, чувствительность гравиметра № 134 на выходе уменьшилась до 80 мм/мгЛ, на кривой приливных изменений силы тяжести появились волны помех с амплитудой до 0,03 мгЛ и повторяемостью от 10-15 мин до 1 ч, увеличился дрейф нуля гравиметра, резко возросло число "скачков".

Необходимо было выявить причину ухудшения качества записи приливных изменений силы тяжести этим гравиметром. Для этого в 1970 г. были проведены некоторые исследования гравиметра. Было решено заменить фотоэлементы новыми, при этом подобрать пару фотоэлементов с одинаковыми внутренними сопротивлениями, одинаковыми чувствительностями к изменению напряжения на лампе фотоэлемента с тем, чтобы не вводить дополнительное сопротивление в цепь одного из фотоэлементов для достижения равенства внутренних сопротивлений этих фотоэлементов.

Были исследованы 12 пар фотоэлементов [1] и лучшая из них (№ 4 и 6) поставлена в гравиметр № 134 по схеме, приведенной на рисунке, без применения дополнительного сопротивления для уравновешивания внутреннего сопротивления фотоэлементов.

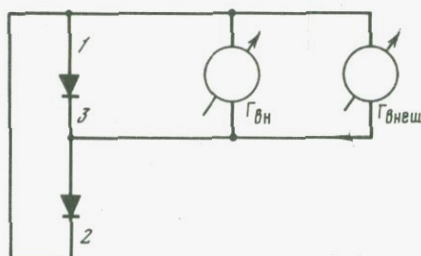
Как известно, в обычной схеме включения фотоэлементов гравиметров GS-11 (GS-12) между точками 1 и 2 (см. рисунок) ставится сопротивление, уравновешивающее внутреннее сопротивление фотоэлементов. Величина этого сопротивления равна разности между внутренними сопротивлениями фотоэлементов. Внутренний ($\Gamma_{вн}$) и внешний ($\Gamma_{внеш}$) гальванометры подключаются к точкам 1, 3 или 2,3 в зависимости от того, сопротивление какого фотоэлемента дополняет добавочное сопротивление.

Замена фотоэлементов по схеме, указанной на рисунке, дала возможность увеличить чувствительность гравиметра на выходе в 5 раз

по сравнению с чувствительностью гравиметра при старых фотоэлементах и фирменной схеме их подключения к гальванометрам. Нуль гальванометра по шкале внутреннего гальванометра был равен 2,0, а точка АУР — 4,0. Столь близкое положение нуля гальванометра и точки АУР на шкале свидетельствовало о хорошем подборе пары фотоэлементов.

Чувствительность гравиметра стала хорошей, однако качество записи приливных изменений силы тяжести оставалось плохим — по-прежнему наблюдался значительный дрейф нуля, частые "скачки" и волны помех в записи. Необходимо было исследовать работу внешнего термостата гравиметра (внутренний термостат не работал).

Схема подключения фотоэлементов гравиметра № 134



Это исследование было проведено с помощью мостикового термографа сопротивления [2], чувствительное плечо которого размещалось на одном из кронштейнов крепления чувствительной системы гравиметра вблизи маятника. Показания термографа с помощью зеркального гальванометра типа М17 записывались на фотобумаге с чувствительностью 200 мм/°С.

Анализ кривой внутренней температуры гравиметра позволил сделать вывод, что внешний термостат работает плохо — на кривой температуры наблюдались волны с амплитудой от 0,005 до 0,05°С и периодом от нескольких минут до суток. Суточные температурные волны вызывают увеличение дрейфа нуля и, вполне очевидно, сильно ухудшают качество наблюдаемого материала, понижают точность наблюдений, так как нельзя снять суточные температурные искажения из показаний гравиметра без тщательного, специального исследования зависимости показаний гравиметра от температуры. "Скачки" и визуально наблюдаемые искажения в кривой изменения силы тяжести, по-видимому, происходят из-за короткопериодных температурных волн.

Питание термостата осуществлялось от стабилизированного источника питания, контрольный вольтметр показывал постоянное напряжение при включении внешней печи гравиметра, что свидетельствовало о постоянстве контактных сопротивлений печи. Однако периоды включения печи были не постоянны — они иногда изменялись на 10–15 сек. Это свидетельствовало о плохой работе термоконтактора. Такой вывод можно было сделать и из других соображений. Термоконтактор рассчитан приблизительно на 1 млн. переключений режи-

ма работы. Дальнейшая эксплуатация его нежелательна, так как ртуть в точке контакта обгораёт настолько, что контакт между ртутью и платиной становится менее надёжным, происходит на разной высоте, что приводит к изменению периода включения и выключения печи. Если предположить, что период включения (выключения) равен 2 мин (обычно около 100 сек), тогда термоконтатор следует менять через каждые 3,8 года.

Термоконтатор внешней печи был заменен на новый, после чего качество записи приливных изменений силы тяжести стало очень хорошим: исчезли волны помех, "скачки", дрейф нуля прибора стал незначительным. Кривая внутренней температуры стала практически ровной линией, амплитуда суточной температурной волны не превышала $0,01^{\circ}\text{C}$. Период включения и выключения печи стабилизировался, изменения в длительности периодов не превышали 1 сек.

Суточная внутренняя температурная волна амплитудой в $0,01^{\circ}\text{C}$ при суточных изменениях температуры внутри регистрационной камеры, не превышающих $0,5^{\circ}\text{C}$, свидетельствовала о малом (порядка 50-70) коэффициенте термостатирования.

В связи с этим отключение внутренней печи гравиметра является неоправданным. Как известно, внутренняя печь создает электромагнитные наводки при включении и выключении, приливная кривая записывается более "размытой", чем при работе только одной внешней печи. Однако отключение внутренней печи привело к значительному уменьшению коэффициента термостатии, вследствие чего приливная кривая могла содержать значительные температурные искажения, хотя записывалась она более тонкой, четкой линией.

Для выбора наилучшей температуры термостатирования были определены температурные коэффициенты гравиметра № 134 для трех диапазонов температуры: $22,5 - 32,5$, $32,5 - 37,5$ и $37,5 - 42,5^{\circ}\text{C}$. Определение производилось динамическим способом. Температура термостатирования переключалась с $22,5$ на $32,5^{\circ}\text{C}$, и в течение суток записывались непрерывно показания гравиметра и термографа. Таким же образом осуществлялась регистрация показаний гравиметра и термографа в остальных диапазонах температуры. Чувствительное плечо термографа было размещено вблизи маятника чувствительной системы гравиметра. Чувствительность гравиметра на выходе с помощью сопротивления, включенного параллельно внешнему гальванометру, была уменьшена до $21,5$ мм/мг, чувствительность термографа уменьшена до 37 мм/ $^{\circ}\text{C}$. Все это было сделано для того, чтобы получить возможность записать кривые показаний гравиметра и термографа в пределах регистраграммы.

Статистические температурные коэффициенты линейный (α), квадратичный (β) и динамический (γ) определялись по способу наименьших квадратов из начальных уравнений [3].

$$\alpha\Theta + \beta\Theta^2 + \gamma \frac{\partial\Theta}{\partial t} = \Delta g_{\Theta},$$

где Θ - изменение температуры внутри прибора за время t ;

$\frac{\partial \theta}{\partial t}$ - изменение температуры внутри прибора за 1 ч;

Δg_{θ} - изменение показаний гравиметра за время t .

Для каждого из трех диапазонов температур на основании показаний гравиметра и термографа составлялись 10 условных уравнений. Решение этих уравнений дало значения коэффициентов α , β и γ , приведенные в таблице.

Таблица

Значения α, β, γ для различных диапазонов температуры

Диапазон температур, °С	α , мгл/°С	β , мгл/°С	γ , мгл/°С/ч
22,5-32,5	-0,33±0,02	0,01±0,01	0,49±0,19
32,5-37,5	1,04±0,005	0,21±0,01	0,06±0,12
37,5-42,5	1,41±0,09	0,12±0,01	0,23±0,27

Примечание. Знак "минус" соответствует кажущемуся уменьшению силы тяжести.

Из таблицы видно, что наименьший линейный температурный коэффициент в диапазоне температур 22,5-32,5°С. Кривая изменения показаний гравиметра в этом диапазоне температур имеет экстремальную точку при 27,5°С, т.е. при данной температуре температурные коэффициенты практически равны нулю. Таким образом, наиболее выгодные температуры термостатирования для гравиметра № 134 будут 22,5° и 32,5°С (с отключенной внутренней печью) или же 25,0° и 35,0°С (когда работают обе печи термостата).

Однако, как правило, температура в регистрационных камерах около 20°С, поэтому температуры термостатирования 22,5° и 25,0°С применять нецелесообразно из-за незначительной разности между внешней и внутренней температурой. В этой связи представляет интерес размещение гравиметра № 134 в холодильной камере при 3-5°С, что позволило бы применить температуру термостатирования гравиметра 22,5° или 25,0°С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Г. Гриднев, Исследование фотоэлементов фирмы "Аскания" (ФРГ). - Наст. сб., стр. 108.
2. Д.Г. Гриднев, Исследования стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Изучение земных приливов". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1964.
3. Ю.Д. Буланже, А.А. Михайлов, Н.Н. Парийский, Формулы и таблицы для обработки гравиметрических наблюдений. М., Геодезиздат, 1949.

Д. Г. Гриднев

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ ФИРМЫ «АСКАНИЯ» (ФРГ)

В последние годы чувствительность гравиметров GS-11(12) стала резко понижаться. Замена лампы фотоэлементов не увеличивала чувствительности. Необходимо было заменить фотоэлементы новыми. Фирмой "Аскания" были присланы 12 пар фотоэлементов для гравиметров GS-11. Эти фотоэлементы были проверены с целью определения их качества.

Необходимо было выяснить, в каких пределах изменяется внутреннее сопротивление фотоэлементов в диапазоне рабочих напряжений лампы фотоэлемента, что может иметь существенное значение при дальнейшем повышении точности определения инструментального запаздывания фаз. Следовало определить качество подбора пар фотоэлементов по внутреннему сопротивлению и чувствительности по току с тем, чтобы отобрать лучшие для монтажа в гравиметры.

Для определения величины внутреннего сопротивления и тока в зависимости от величины напряжения на лампе фотоэлемента применялась простая схема (см. рисунок). Жестко закрепленный на кронштейне фотоэлемент последовательно соединялся с гальванометром М195/2 и магазином сопротивлений Р-33. Фотоэлемент освещался световым потоком лампы СЦ-78 через объектив "Индустар-52". В цепь лампы включался источник питания с напряжением на выходе 6,4 в, магазин сопротивлений Р-33 для задания требуемого напряжения и вольтметр М-1106 для определения величины поданного на лампу напряжения.

При освещении фотоэлемента световым потоком лампы СЦ-78 в фотоэлементе возникали электродвижущие силы ϵ_{ϕ} , при этом световой блик гальванометра М195/2 отклонялся от нулевого положения S_0 . Уменьшая (или увеличивая) сопротивление на магазине сопротивлений до R_1 , смещаем световой блик гальванометра в крайнее положение шкалы S_1 . Ток I_{ϕ} в цепи фотоэлемента, соответствующий отклонению светового блика гальванометра $\Delta S = S_1 - S_0$, достигается при сопротивлении цепи $R_{\phi} + R_g + R_1$, где R_{ϕ} - внутреннее сопротивление фотоэлемента; R_g - внутреннее сопротивление гальванометра; R_1 - сопротивление на магазине сопротивлений Р-33;

$$I_{\phi} = \frac{\epsilon_{\phi}}{R_{\phi} + R_g + R_1} \quad (1)$$

Увеличивая сопротивление R_1 до R_2 , можно сместить световой блик гальванометра в положение $S_2 = 0,5 \Delta S$, что будет соответствовать уменьшению тока в цепи фотоэлемента в 2 раза при линейной шкале гальванометра. Очевидно,

$$0,5 I_{\phi} = \frac{\epsilon_{\phi}}{R_{\phi} + R_g + R_2} \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$$R_{\phi} = R_2 - R_g - 2R_1.$$

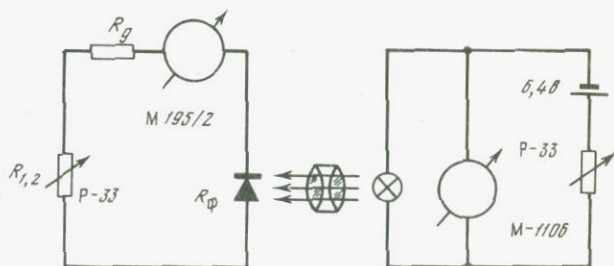
Таким образом, получаем значение внутреннего сопротивления и тока фотоэлемента при заданном напряжении на лампе освещения фотоэлемента. У первых 6 фотоэлементов внутреннее сопротивление и ток определялись для напряжений на лампе освещения фотоэлемента 3,0; 3,6; 4,0; 4,8; 5,4 и 5,9 в; у остальных 18 фотоэлементов – для напряжений 2,8; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5,0; 5,5; и 6,0 в. Результаты этих исследований приведены в таблице.

Из таблицы видно, что фотоэлементы по внутреннему сопротивлению и току подобраны фирмой не очень хорошо, и даже исследованные 12 пар фотоэлементов можно было подобрать удачнее. Так, например, фотоэлемент № 7 должен работать в паре с фотоэлементом № 9, фотоэлемент № 8 – в паре с фотоэлементом № 10; фотоэлемент № 17 – в паре с № 20, а № 18 – в паре с № 19. Очень плохо подобраны пары фотоэлементов № 11, 12 и № 21, 22. При напряжении на лампе освещения фотоэлемента 5,5 в внутреннее сопротивление фотоэлементов № 11, 12 различается на 27%, фотоэлементов № 21, 22 – на 14%, а чувствительность по току фотоэлементов № 11, 12 – на 18%, фотоэлементов № 21, 22 – на 25%. У фотоэлемента № 24 оказался пробитым полупроводниковый слой – его сопротивление и ток при любом напряжении на лампе фотоэлемента равны нулю.

Из таблицы видно, что лучшими являются пары фотоэлементов № 4, 6 и № 13, 14. По внутреннему сопротивлению они различаются не более чем на 3%, а по току – не более чем на 1% в диапазоне рабочих напряжений на лампе фотоэлемента (4,5÷6,0 в).

Пара фотоэлементов № 4, 6 была поставлена в гравиметр № 134 без применения дополнительного сопротивления для уравнения внутреннего сопротивления фотоэлементов. Как известно, в обычной схеме включения фотоэлементов гравиметров GS-11(12) между точками 1 и 2 (см. рисунок на стр. 105) ставится сопротивление, уравнивающее внутреннее сопротивление фотоэлементов. Величина этого сопротивления равна разности между внутренними сопротивлениями фотоэлементов. Внутренний ($\Gamma_{вн}$) и внешний ($\Gamma_{внеш}$) гальванометры подключаются к точкам 1,3 или 2,3 в зависимости от того, сопротивление какого фотоэлемента дополняет добавочное сопротивление.

Схема для определения внутреннего сопротивления и электрического тока фотоэлементов



Таблица

Значения I_{Φ} и R_{Φ} для различных V ламп

V , в	I_{Φ} , мка	R_{Φ} , ком
Фотоэлементы № 1 и 5		
3,0	2,6/2,4*	40,0/40,0*
3,6	6,0/6,6	24,0/23,0
4,0	11,8/11,4	17,0/17,0
4,4	17,2/17,0	12,6/12,5
4,8	25,6/27,0	8,7/9,6
5,4	39,6/41,2	6,4/6,6
5,9	48,0/52,0	5,2/5,3
Фотоэлементы № 2 и 3		
3,0	4,2/3,8	33,0/30,0
3,6	10,0/9,6	20,0/16,0
4,0	16,0/15,4	14,0/12,0
4,4	23,2/22,1	10,1/9,3
4,8	33,2/32,0	7,8/6,9
5,4	47,2/44,8	5,9/5,2
5,9	62,0/60,0	4,0/3,5
Фотоэлементы № 4 и 6		
3,0	3,0/2,8	41,0/42,0
3,6	6,0/6,0	28,0/29,2
4,0	13,4/14,0	16,0/17,0
4,4	22,4/22,4	11,1/11,3
4,8	31,8/31,8	8,4/8,6
5,4	45,2/45,4	6,1/6,3
5,9	60,0/60,0	3,5/3,6
Фотоэлементы № 7 и 8		
2,8	2,6/2,1	70,0/65,0
3,4	7,2/6,2	39,0/40,0
3,8	11,2/9,8	28,0/30,0
4,2	17,2/15,0	20,0/22,0
4,6	24,6/21,2	15,0/16,1
5,0	37,2/32,0	10,5/11,3
5,5	54,0/43,0	7,0/8,9
6,0	65,0/60,0	5,1/5,7
Фотоэлементы № 9 и 10		
2,8	2,4/2,2	70,0/70,0
3,4	6,6/6,2	44,0/44,0
3,8	10,6/9,8	30,0/30,0

Таблица (продолжение)

$V, \text{ в}$	$I_{\Phi} \text{ мка}$	$R_{\Phi} \text{ ком}$
4,2	16,0/15,0	21,0/22,0
4,6	22,8/21,2	16,0/17,0
5,0	34,8/32,4	11,0/11,6
5,5	48,0/44,0	8,0/8,8
6,0	65,0/60,0	4,8/6,1

Фотоэлементы № 11 и 12

2,8	2,4/2,2	70,0/75,0
3,4	6,8/6,2	43,0/46,0
3,8	10,8/9,8	30,0/33,0
4,2	16,6/15,0	22,0/24,0
4,6	23,6/21,8	16,4/17,0
5,0	36,4/33,2	11,0/11,8
5,5	53,0/44,8	7,0/8,9
6,0	65,0/65,0	6,1/5,4

Фотоэлементы № 13 и 14

2,8	2,2/2,0	70,0/70,0
3,4	6,0/5,8	42,0/43,0
3,8	9,3/9,2	32,0/32,0
4,2	14,1/14,2	22,0/23,0
4,6	20,2/20,4	17,0/17,0
5,0	30,2/30,6	12,0/12,0
5,5	40,8/41,2	9,2/9,0
6,0	55,0/55,0	6,5/6,3

Фотоэлементы № 15 и 16

2,8	2,2/2,0	70,0/90,0
3,4	6,4/6,2	46,0/51,0
3,8	10,2/10,0	34,0/35,0
4,2	15,6/15,4	24,0/25,0
4,6	22,8/22,4	17,0/17,5
5,0	35,2/33,2	12,0/13,0
5,5	49,0/48,5	8,4/8,7
6,0	65,0/65,0	6,1/6,1

Фотоэлементы № 17 и 18

2,8	2,0/1,8	90,0/70,0
3,4	6,0/5,4	50,0/45,0
3,8	9,8/9,0	35,0/32,0
4,2	22,8/22,4	25,0/22,0
4,6	15,2/14,1	18,0/17,0

Таблица (окончание)

V , В	I_{Φ} , мкА	R_{Φ} , КОМ
5,0	34,6/31,0	12,0/12,0
5,5	48,3/42,2	8,6/8,5
6,0	65,0/60,0	6,2/5,4

Фотоэлементы № 19 и 20

2,8	2,0/2,0	75,0/90,0
3,4	6,0/6,0	43,0/50,0
3,8	9,4/9,8	32,0/32,0
4,2	14,8/15,0	22,0/24,0
4,6	21,0/22,2	17,0/17,5
5,0	32,0/34,0	11,4/11,5
5,5	43,4/47,0	7,3/8,6
6,0	60,0/65,0	5,7/5,9

Фотоэлементы № 21 и 22

2,8	1,6/1,8	56,0/60,0
3,4	4,5/5,2	40,0/40,0
3,8	6,0/7,8	30,0/28,0
4,2	9,4/11,4	24,0/23,0
4,6	12,5/15,2	18,0/17,0
5,0	17,2/21,2	14,5/13,0
5,5	22,0/27,5	11,5/10,5
6,0	26,6/33,2	10,2/8,9

Фотоэлементы № 23 и 24

2,8	1,8/0	20,0/0
3,4	5,2/0	17,0/0
3,8	8,5/0	14,0/0
4,2	13,2/0	12,0/0
4,6	19,0/0	11,0/0
5,0	29,4/0	8,2/0
5,5	40,6/0	6,5/0
6,0	65,0/0	4,0/0

*В числителе - значения для первого фотоэлемента, в знаменателе - для второго.

Замена фотоэлементов резко повысила чувствительность на выходе гравиметра. При этом положение нуля гальванометра отличается от положения точки АУР на шкале внутреннего гальванометра всего на два деления. Столь близкое их положение на шкале гальванометра свидетельствует о хорошем подборе пары фотоэлементов.

Как видно, из таблицы, сопротивление фотоэлементов может изменяться в диапазоне рабочих напряжений лампы фотоэлемента (4,5-6,0 в) в 3-4 раза. Такое значительное изменение сопротивления заслуживает особого внимания при определении инструментального запаздывания фаз. Необходимо детально исследовать зависимость инструментального запаздывания фаз от величины напряжения на лампе фотоэлемента (от величины внутреннего сопротивления фотоэлементов) с тем, чтобы вводить поправки за инструментальное запаздывание фаз не для некоторого среднего, а для конкретного рабочего напряжения на лампе фотоэлемента.

Д. Г. Гриднев, С. В. Осинская, Б. Н. Певзнер

СТАЦИОНАРНЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГРАВИМЕТР

Изучение земных приливов дает дополнительный материал для суждения о механических свойствах Земли. На поверхности Земли действие приливообразующих сил Луны и Солнца наблюдается во многих явлениях, и одно из них - изменение ускорения силы тяжести. Суммарная амплитуда приливных изменений ускорения силы тяжести едва превосходит 0,1 мгл, поэтому гравиметр, предназначенный для регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести, должен иметь чувствительность на выходе порядка 100-500 мм/мгл.

В последние годы ИФЗ АН СССР проводились работы по созданию отечественного гравиметра для регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести. Было создано несколько макетов гравиметров, с помощью которых успешно велась регистрация приливных изменений ускорения силы тяжести [1-4].

Результаты этих исследований легли в основу стационарного кварцевого гравиметра (СКГ), изготовленного в ОКБ ИФЗ АН СССР в 1970 г. [5, 6].

СКГ предназначен для регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести с целью изучения внутреннего строения Земли.

В комплект прибора входят гравиметр (рис. 1) и фоторегистр (рис. 2). Гравиметр СКГ состоит из следующих основных узлов: 1) чувствительная кварцевая система, 2) фотоэлектрическое устройство, 3) отсчетное микрометрическое устройство, 4) термостат, 5) корпус прибора.

Гравиметр СКГ снабжается специальным приспособлением для юстировки кварцевой и оптической систем. Это приспособление позволяет производить необходимые операции при снятых корпусе и термостате. Оно снабжено тремя подъемными винтами, конструктивно выполнено так, что имеется свободный доступ к кварцевой системе.

Предусмотрена специальная подставка, предназначенная для жесткого закрепления гравиметра СКГ на установке для эталонирования гравиметров наклоном (типа УЭГ).



Рис. 1

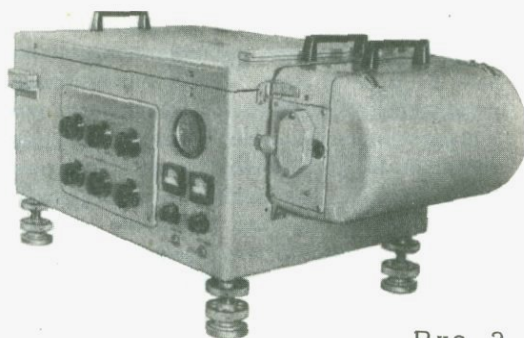


Рис. 2

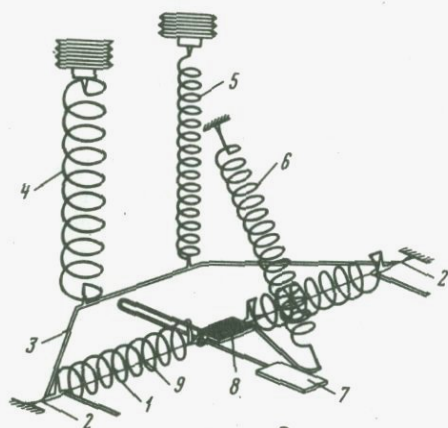


Рис. 3

Рис. 1. Гравиметр СКГ (внешний вид)

Рис. 2. Регистр гравиметра СКГ (внешний вид)

Рис. 3. Кварцевая чувствительная система гравиметра СКГ

1. Чувствительная кварцевая система (рис. 3) – основной узел гравиметра, регистрирующий изменение ускорения силы тяжести. Кварцевая система состоит из горизонтально расположенных цилиндрических пружин 1, закрученных маятником 7 с зеркалом 8, подвешенным на нитях 9. Нити 9 закручены в противоположную пружинам 1 сторону для исключения дрейфа нуля гравиметра. Пружина 6 служит для увеличения чувствительности и удобства юстировки системы при ее отладке. Нижний конец пружины 6 связан с маятником, верхний приварен к кварцевой раме системы. Измерительная 4 и диапазонная 5 пружины посредством рамки 3, подвешенной на нитях 2, соединяются с чувствительной системой. Весовой момент рамки 3 скомпенсирован относительно оси вращения, поэтому основное уравнение равновесия будет иметь вид:

$$\tau(\nu + \beta) + fxnsiny - r_1(a - \beta) = mg\cos\beta,$$

где τ – постоянная кручения пружин 1; r_1 – постоянная кручения

нитей 9; f - упругая постоянная растянутой пружины 6; x - растяжение пружины 6; n - расстояние между осью вращения системы и точкой крепления пружины 6 к раме; m - масса маятника; g - ускорение силы тяжести; l - расстояние от оси вращения маятника до его центра тяжести; ν - угол закручивания пружин при горизонтальном положении маятника; β - угол отклонения маятника от горизонтального положения; γ - угол между пружиной 6 и направлением на ось вращения системы из точки крепления пружины 6 к раме; α - угол закручивания нитей подвеса маятника при его горизонтальном положении.

Как показали исследования [7], дрейф нуля описанной системы при определенных углах закручивания пружин 1 и нитей 9 может практически отсутствовать ($\pm 0,01-0,02$ мгл/сут.).

Температурная компенсация кварцевой чувствительной системы осуществляется методом изменения плеча маятника [4, 5].

Угловая чувствительность системы с помощью пружины 6 может меняться в значительных пределах - от 1 до 50" /мгл.

Кварцевая система 22 размещена в герметичном корпусе 21 цилиндрической формы (рис. 4). Система жестко крепится к монтажной металлической плате 18.

2. Фотоэлектрическое устройство служит для преобразования угловых перемещений зеркала маятника кварцевой чувствительной системы в электрический сигнал. Устройство состоит из осветителя 16, зеркала маятника системы 22, дифференциального фотоэлемента ДФЭ 17 (см. рис. 4) и гальванометра 3 регистрира (рис. 5).

Принцип работы фотоэлектрического устройства следующий.

Световой поток от лампы осветителя падает на зеркало маятника чувствительной системы. Отраженный от зеркала и сфокусированный объективом световой поток попадает на дифференциальный фотоэлемент ДФЭ симметрично относительно продольного разреза, делящего фотоэлемент на две составляющие части. Маятник под действием приливных изменений ускорения силы тяжести совершает колебания, при этом световой поток перемещается по фотоэлементу. При движении светового потока вправо электродвижущие силы в правой составляющей части фотоэлемента увеличиваются, а в левой - уменьшаются. При движении светового потока влево картина меняется. В гальванометре регистрира, подключенном к фотоэлементам, появляется разностный ток, величина и направление которого будут меняться. Световой поток от осветителя 7 (см. рис. 5) через систему зеркал 6 попадает на зеркало гальванометра 3. Отраженный от зеркала гальванометра и сфокусированный на фотобумаге барабанной кассеты 5 световой блик будет писать кривую изменения ускорения силы тяжести.

В осветителе и узле крепления фотоэлемента фотоэлектрического устройства предусмотрены все необходимые юстировочные перемещения для направления светового потока от зеркала маятника на фотоэлемент симметрично относительно его продольного разреза.

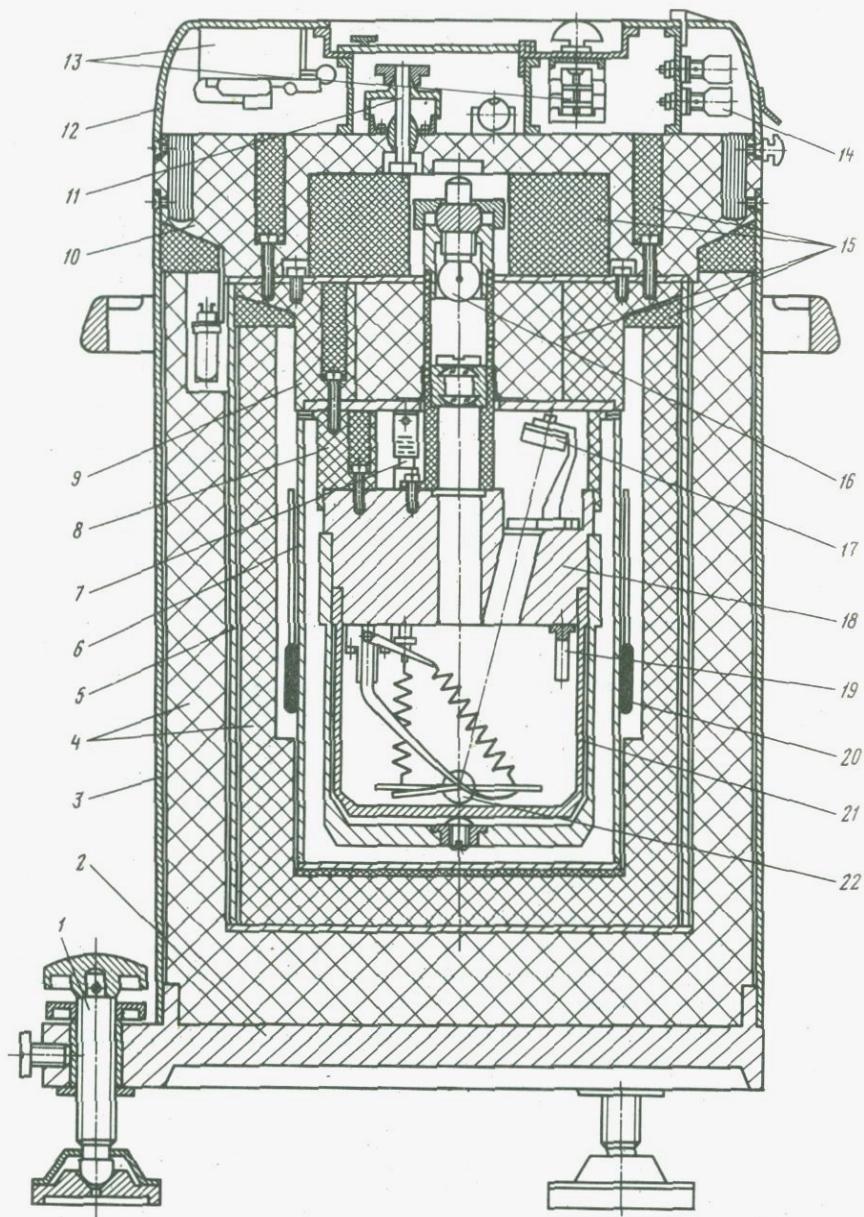


Рис. 4. Гравиметр СКГ

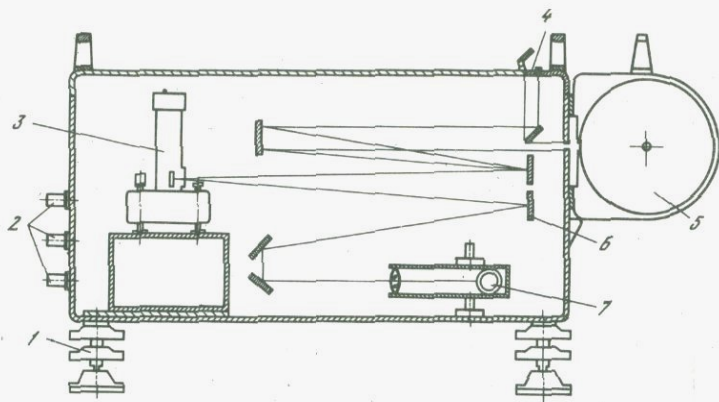


Рис. 5. Регистр гравиметра СКГ

Осветитель монтируется на монтажной плате 18 вертикально по оси корпуса кварцевой системы. Он дает возможность фокусировать световой поток на расстоянии 170–200 мм от зеркала чувствительной системы. Лампа осветителя марки СЦ-79 (2,5; 0,2 в). Длина изображения нити лампы на фотоэлементе 18–20 мм.

Дифференциальный полупроводниковый фотоэлемент ДФЭ разработан на базе фотоэлемента ФЭСС Д.Г. Грдневым и сотрудниками экспериментально-производственных мастерских Института физики АН УССР В.М. Блажучком и Б.С. Луганским совместно. Дифференциальный фотоэлемент состоит из двух фотоэлементов прямоугольной формы, разделенных продольным разрезом и размещенных в герметично закрытом корпусе из органического стекла. В корпусе фотоэлемента предусмотрено квадратное отверстие для пропускания светового потока, герметично закрытое плоскопараллельной пластиной из стекла К-8. Размеры фотоэлемента ДФЭ (корпуса) 50 × 36 × 10 мм.

Фотоэлектрическая чувствительность по току каждой составляющей части фотоэлемента ДФЭ не ниже фотоэлектрической чувствительности ФЭСС-У10, при этом разность фотоэлектрической чувствительности по току составляющих частей фотоэлемента не превышает 3–5%. Однако в отличие от фотоэлемента ФЭСС-У10 фотоэлемент ДФЭ не требует дополнительной герметизации, делительной призмы, обладает высокой линейностью, на его изготовление требуется в 4 раза меньше серебра 99,99, чем на фотоэлемент ФЭСС-У10, внешние размеры фотоэлемента ДФЭ в несколько раз меньше внешних размеров фотоэлементов ФЭСС-У10 (или ФЭСС-У3), размещенных в герметичном корпусе. Исследование 40 штук фотоэлементов ДФЭ в течение 2,5 лет показало, что их фотоэлектрическая чувствительность по току остается постоянной. При дальнейшем совершенствовании технологии изготовления фотоэлементов ДФЭ экономии драгоценного металла можно еще в несколько раз увеличить.

3. Отсчетное микрометрическое устройство служит для замера линейных перемещений измерительной пружины кварцевой чувствительной системы в пределах 7 мм. Цена малого деления отсчетного устройства 11 (см. рис. 4) равна 5 мк. Точность отсчета по нулевой шкале 0,5 мк. Шаг резьбы микрометрического винта 0,5 мм. Исследования показали, что погрешность шага между двумя любыми витками и суммарная погрешность винта на его рабочем ходу не более 0,002 мм.

Для изменения диапазона измерений предусмотрено устройство 7 для линейного перемещения диапазонной пружины чувствительной системы. Перемещение винта диапазонной пружины осуществляется с помощью специального ключа. Длина перемещения 7 мм. Погрешность шага и суммарная погрешность винта на его рабочем ходу не более 0,002 мм.

4. Термостат предназначен для поддержания заданной температуры в гравиметре. Термостат двухступенчатый состоит из двух цилиндрических металлических стаканов с крышками: внутреннего 6 и наружного 5. На образующей поверхности стакана, дне и крышке каждого термостата осуществляется бифилярная намотка основной и дополнительной обмотки печи (рис. 6). Предусмотрена возможность переключения мощностей: для внутренней печи на 3 и 6 вт, для наружной печи на 6 и 12 вт. Термостат имеет четыре температуры термостатирования: 5°, 15, 25 и 35°C. На внутреннем стакане размещены контактные ртутные термометры 20 марки ТК-34 на температуры контактирования 5°, 15, 25 и 35°C (см. рис. 4), на наружном стакане - термометры на температуры контактирования 3,5°, 13,5, 23,5 и 33,5°C. Для питания термостата требуется 6 в постоянного тока, подаваемого на клеммы 14 (см. рис. 4).

Режим работы термостата можно контролировать по показаниям амперметра, индикаторным лампам НСМ 10-55 (10 в, 50 ма). Постоянно ведется регистрация температуры с помощью термографа сопротивления 19 (см. рис. 4), вмонтированного внутрь корпуса кварцевой чувствительной системы. Внешняя печь термостата размещена в пенопластовом цилиндрическом чехле 4 (см. рис. 4), все полости в монтажных текстолитовых втулках 8,9 и текстолитовой плате 10 заполнены поролоновыми прокладками 15.

Коэффициент термостатирования около 200, что вполне достаточно при незначительных внешних колебаниях температуры (0,1-0,2°C/сут.).

Принцип работы термостата легко понять из рассмотрения электрической схемы гравиметра (см. рис. 6).

5. Корпус прибора (см. рис. 1 и 4) выполнен в виде стакана 3 цилиндрической формы. Основание 2 корпуса снабжено тремя подъемными винтами 1. На верхней плате 10 корпуса расположены отсчетное микрометрическое устройство и два уровня с ценой деления 15 сек дуги. К плате 10 крепится корпус 12 пульта управления гравиметром. На дне корпуса пульта управления производится монтаж всех электрических элементов 14, 13.

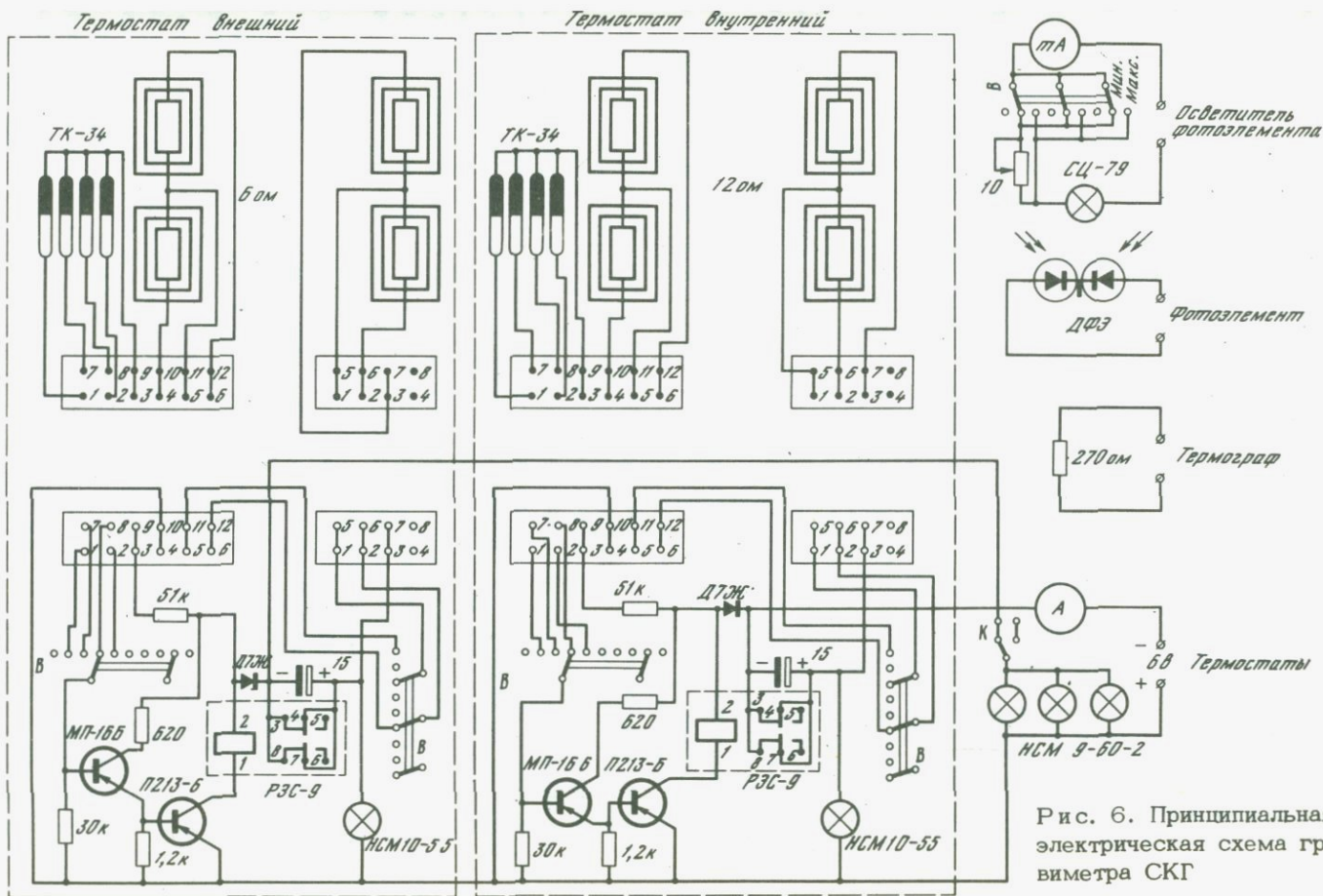


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема гравиметра СКГ

Фоторегистр СКГ (см. рис. 5) служит для непрерывной записи на фотобумаге приливных изменений ускорения силы тяжести и температуры. Корпус регистратора металлический прямоугольной формы. Внутри корпуса на специальных подставках размещаются два гальванометра типа М17 и два гальванометра типа М25. Оптический рычаг регистратора — 1000 мм. В комплект регистратора входят две барабанные кассеты. Диаметр барабана 5 кассеты 164 мм, ширина фотобумаги — 280 мм. Скорость развертки в зависимости от установленных сменных шестерен может быть 9,6; 20,2; 100,0; 208,0 мм/ч, что соответствует периодам вращения барабана 53,5; 25,4; 5,13 и 2,4 ч.

Вращение барабана осуществляется от часового механизма МЧС. Барабанный кассета закрепляется на передней стенке регистратора. Для записи фикс-линий установлены два зеркала с устройством для их юстировки. Регистратор снабжен четырьмя установочными винтами 1 и двумя уровнями с ценой деления 30 сек дуги. На верхней крышке регистратора имеется смотровое окно 4 с матовым стеклом и зеркальным отражателем для наблюдения за положением световых бликов гальванометров во время регистрации. На задней стенке регистратора смонтированы клеммы питания осветителя регистратора, термографа, гальванометров и клеммы подключения датчика термографа 2. На боковой стенке размещен пульт управления схемой термографа и осветителя 7.

Электрическая схема регистратора показана на рис. 7. Марки времени подаются от часов АВРМ, в которых предусмотрены контакты для замыкания обмотки реле P_1 типа РП-4 через каждый час. Реле P_1 срабатывает и закорачивает сопротивление R_7 в цепи лампы осветителя Л. Интенсивность светового потока осветителя увеличивается, и на записи каждый час получается марка времени в виде точки более темного тона. Сопротивление R_6 уменьшает ток в лампе до величины, обеспечивающей хорошее прослеживание кривых на фотобумаге. В регистраторе предусмотрена возможность подключения внешнего датчика времени. Параллельно часам АВРМ выведены клеммы на корпус регистратора, к которым можно подключать датчик времени с контактами замыкания реле P_1 через 30–60 сек. Такая временная маркировка фотобумаги необходима при регистрации собственных колебаний Земли.

Осветитель регистратора может питаться как переменным (220 в), так и постоянным (6 в) током.

Термограф сопротивления [1] (см. рис. 7) служит для контроля температурного режима внутри корпуса кварцевой чувствительной системы или в регистрационной камере. Чувствительность термографа можно регулировать в пределах от 10 до 2000 мм/°С. В цепь термографа подключается гальванометр типа М17 или М25. Питание термографа — 1,5 в постоянного тока. Для этой цели удобно применять батарею типа "Девиз". Одна батарея "Девиз" может питать термограф в течение нескольких лет. Регулировка чувствительности термографа и вывод светового блика от зеркала гальванометра термографа в заданную точку фотобумаги (шкалы) осуществляется с

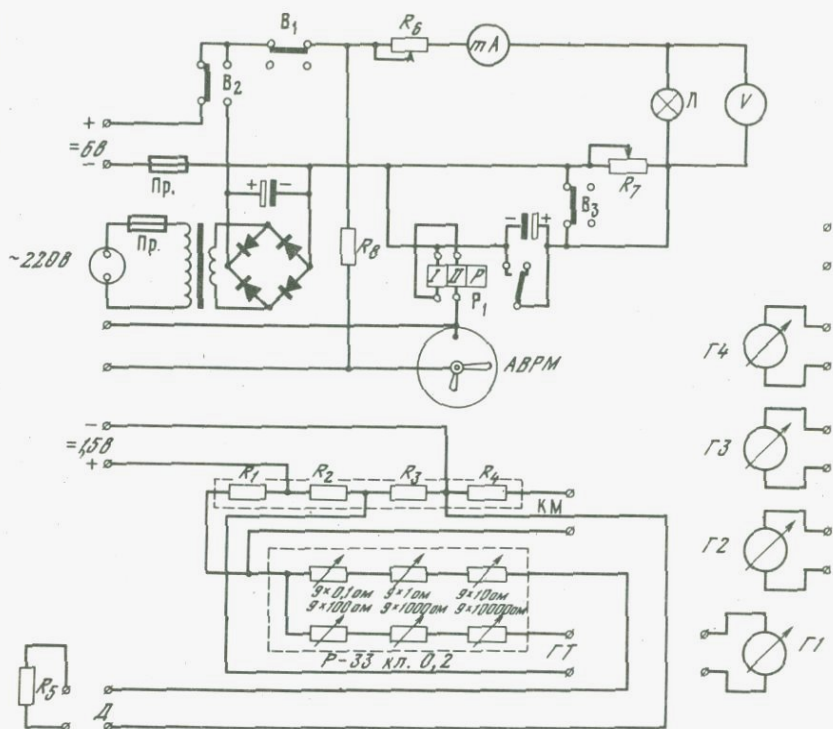


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема регистратора гравиметра СКГ

помощью специально для этого перемонтированного магазина сопротивления Р-33. В магазине сопротивления первые три декады ($\times 0,1$; $\times 1$; $\times 10$) служат для балансировки моста сопротивления (управления бликом зеркала гальванометра термографа); три последние декады ($\times 100$; $\times 1000$; $\times 10000$) — для регулировки чувствительности термографа (подключаются как дополнительное сопротивление гальванометра).

Сопротивление постоянных плеч R_{1-3} равно 300 ом (манганин), сопротивление переменного (чувствительного) плеча R_5 — 270 ом при 20°C (медь). Чувствительное плечо термографа размещается в корпусе чувствительной кварцевой системы гравиметра или в каком-либо другом месте исследуемого объекта. Сопротивление R_4 служит для контроля моста термографа при возникновении электрических помех.

Технические данные гравиметра СКГ

В июне 1970 г. в ОКБ ИФЗ АН СССР были изготовлены два комплекта гравиметра СКГ. В настоящее время ведутся исследования этих гравиметров. Чувствительность гравиметра на выходе может достигать 2000 мм/мгЛ.

Цена малого деления микрометра, по данным предварительного эталонирования гравиметра наклоном, равна 0,01–0,02 мгл. Эта цена в 4–8 раз меньше цены малого деления гравиметра GS-11 и в 8–16 раз меньше цены малого деления гравиметра GS-12. Точность отсчета по микрометру у гравиметров СКГ и GS одинакова ($\pm 0,1$ малого деления), поэтому точность отсчета в миллигалах у гравиметра СКГ выше, чем у гравиметра GS. Диапазон измерения гравиметра СКГ (без перестройки диапазонной пружины) равен 14–28 мгл. Общий диапазон измерения (с перестройкой диапазонной пружины) равен 3–5 гл. Здесь следует отметить, что кварцевые чувствительные системы дают возможность на порядок изменить диапазоны измерения относительно приведенных выше диапазонов. Это легко осуществить при изготовлении кварцевой чувствительной системы.

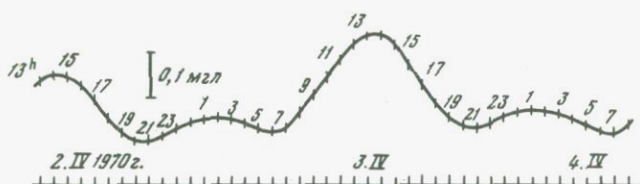


Рис. 8. Образец записи приливных изменений ускорения силы тяжести гравиметра СКГ № 1

Коэффициент термостатирования прибора равен 180. Продолжительность входа термостата в рабочий режим при разности температур термостатирования и наружной 10°C около 50 ч (через 50 ч после начала включения термостата температура внутри корпуса чувствительной системы практически перестает изменяться).

Очень существенным вопросом является дрейф нуля гравиметров. Описанная выше кварцевая чувствительная система, разработанная Д.Г. Грдневым [4–7], позволяет получать практически неизменный нуль гравиметра. На рис. 8 приводится образец 2-суточной записи приливных изменений ускорения силы тяжести гравиметром СКГ № 1. Дрейф нуля гравиметра практически отсутствует. Такой незначительный дрейф не всегда получается после первой отладки чувствительной системы. Обычно для этого требуется несколько последовательных юстировок, первая из которых заканчивается вводом в систему положительного дрейфа (маятник отклоняется вверх). Затем, уменьшая угол закручивания нитей подвеса маятника α , приводят дрейф нуля гравиметра к величине, близкой к нулю. После каждой юстировки система исследуется не менее 3–4 мес., так как исследования на более коротких периодах могут привести к ошибочным выводам о юстировочных операциях. Обычно требуется не менее 3–4 юстировок чувствительной системы, прежде чем дрейф нуля гравиметра станет незначительным. На хорошую отладку кварцевой чувствительной системы требуется 12–16 мес.

Исследования регистрира СКГ показали, что работа всех его узлов полностью отвечает техническим требованиям, поставленным при проектировании.

В заключение авторы считают своим долгом отметить, что успешное завершение работы по созданию опытного образца стационарного кварцевого гравиметра было возможно благодаря постоянной помощи со стороны члена-корреспондента АН СССР Н.Н. Парийского. Постоянный контроль за ходом разработки и изготовления СКГ Б.Т. Воробьева и Н.Д. Беленького в весьма значительной степени способствовали успеху работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Г. Гриднев. Исследования стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Изучение земных приливов". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1964.
2. Д.Г. Гриднев. Регистрация приливных изменений ускорения силы тяжести в Красной Пахре стационарным кварцевым гравиметром с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1967.
3. Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Наблюдения приливных изменений силы тяжести кварцевым стационарным гравиметром в Красной Пахре в 1965-1966 гг. - Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1970.
4. Д.Г. Гриднев. Новая система температурной компенсации гравиметров. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1970.
5. Д.Г. Гриднев. Температурный компенсатор. Авт. свид. № 181834. - Бюлл. изобрет., 1966, № 10.
6. Д.Г. Гриднев. Гравиметр. Авт. свид. № 305438, 1970.
7. Д.Г. Гриднев. Чувствительные системы гравиметров. - Наст. сб., стр. 123.

Д. Г. Гриднев

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГРАВИМЕТРОВ

Поводом для создания новых чувствительных систем крутильного типа послужило то обстоятельство, что известные в настоящее время системы имеют значительное сползание нуля, по-видимому, в основном из-за больших относительных деформаций упругих элементов [1-3].

Чувствительная система гравиметра с горизонтально расположенными пружинами, закрученными маятником, подвешенным на незакрученных нитях

Эта система (рис. 1) состоит из горизонтально расположенных пружин 1, закрученных маятником 4 с зеркалом 2. Осью вращения системы являются нити 3, на которые подвешены маятник с зерка-

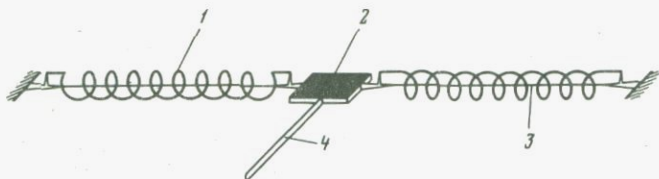


Рис. 1. Чувствительная система гравиметра

лом и пружины с целью исключения большой стрелки прогиба (провиса) системы.

В отличие от старых систем крутильного типа в такой системе деформации, создаваемые весом пружин и зеркалом, испытывают незакрученные нити, поэтому эти деформации не могут вызвать сползание нуля пункта чувствительной системы. На величину сползания влияют лишь те деформации, которые будут испытывать пружины в результате их закручивания маятником. При одном и том же угле закручивания пружин их относительные деформации будут зависеть от числа и диаметра витков.

Для вывода основного уравнения равновесия этой системы введем следующие обозначения: τ — коэффициент кручения пружин, $\text{г} \cdot \text{см} \cdot \text{рад}^{-1}$; τ_1 — коэффициент кручения нитей, $\text{г} \cdot \text{см} \cdot \text{рад}^{-1}$; ν — угол закручивания пружин при горизонтальном положении маятника; a — угол наклона маятника относительно горизонтального положения; m — масса маятника; g — ускорение силы тяжести; l — расстояние от оси вращения до центра тяжести маятника.

Тогда можем написать основное уравнение равновесия чувствительной системы

$$\tau(\nu+a) + \tau_1 a = mgl \cos a. \quad (1)$$

Дифференцируем уравнение (1) по g и a

$$\tau da + \tau_1 da = -mgl \sin a da + ml \cos a dg.$$

Учитывая уравнение (1), можно написать

$$\left\{ \tau + \tau_1 + [\tau(\nu+a) + \tau_1 a] \operatorname{tg} a \right\} da = \frac{\tau(\nu+a) + \tau_1 a}{g} dg,$$

откуда

$$\frac{da}{dg} = \frac{\tau(\nu+a) + \tau_1 a}{g \left\{ \tau + \tau_1 + [\tau(\nu+a) + \tau_1 a] \operatorname{tg} a \right\}}. \quad (2)$$

Выражение (2) определяет угловую чувствительность системы при различных ν и a .

При $a = 0$

$$\frac{da}{dg} = \frac{\tau \nu}{g(\tau + \tau_1)}, \quad (3)$$

т.е. угловая чувствительность пропорциональна ν , система линейна.

С увеличением ν и уменьшением τ_1 угловая чувствительность системы возрастает.

Эти системы могут быть как кварцевые, так и металлические. Температурная компенсация системы осуществляется любым из известных способов.

Опыты проводились с кварцевыми системами, размещенными в воздухе, в герметически закрытом корпусе. Температурная компенсация осуществлялась методом изменения плеча маятника [4, 5].

Как показали ранее проведенные опыты, сползание нуляpunktа крутильных систем, размещенных в воздухе, значительно больше, чем сползание систем, размещенных в жидкости. Так, сползание нуляpunktа системы, размещенной в воздухе с закручиванием нитей $8,7^\circ/\text{мм}$ при температуре термостатирования $3,1^\circ\text{C}$, составило в среднем 1 мгл/сут (из месячной серии непрерывной регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести) [6, 7]. Сползание нуляpunktа системы, размещенной в кремнийорганической жидкости (№ 3) с закручиванием нитей $11,0^\circ/\text{мм}$ при температуре термостатирования $3,1^\circ\text{C}$, составило в среднем $0,25$ мгл/сут (из 5-месячной серии непрерывной регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести) [6, 8].

Исследования новых кварцевых систем были начаты в апреле 1966 г. Опыты проводились при температуре термостатирования $22 \pm 30,0^\circ\text{C}$.

Первая система из-за отсутствия устройства для получения пружин с левой навивкой была с одной пружиной. Угол закручивания пружины — 520° , пружина имела 8 витков, диаметр витков 10 мм. Длина каждой нити подвеса маятника — 45 мм. Температурный коэффициент прибора в диапазоне температур от $8,0$ до $30,0^\circ\text{C}$ не превышал $0,8$ мгл/ $^\circ\text{C}$ и в диапазоне от $30,0$ до $40,0^\circ\text{C}$ — $0,2$ мгл/ $^\circ\text{C}$. Система не подвергалась термическому старению. Сползание нуляpunktа определялось по истечении 7 месяцев со дня изготовления системы. Это сползание составило $3,7$ мгл/сут при температуре термостатирования $30,0^\circ\text{C}$. Сползание нуляpunktа системы с закрученными нитями (длина каждой нити 50 мм, угол закручивания нитей 435°) при той же температуре термостатирования было равно 11 мгл/сут [3, 7].

Таким образом, сползание нуляpunktа системы с одной закрученной пружиной в 3 раза меньше, чем сползание нуляpunktа системы с закрученными нитями.

Вторая система была уже с двумя пружинами. Угол закручивания пружин 280° . Правая пружина имела 21 виток и левая — 19 витков, диаметр витков 10 мм. Температурный коэффициент в диапазоне температур от $22,0$ до $25,0^\circ\text{C}$ равен $0,8$ мгл/ $^\circ\text{C}$. Сразу же после изготовления система подвергалась термическому старению: 50 мин система нагревалась при $200,0^\circ\text{C}$ и 3 мин охлаждалась при 0°C . Всего было произведено 4 таких цикла.

Система с первых же дней работы имела небольшое сползание нуля. Однако расчет сползания производился по истечении 5 месяцев со дня изготовления системы. Это сползание составило 0,5 мгл/сут при температуре термостатирования 23,0°C. Сползание нуля системы с закрученными нитями (длина каждой нити 50 мм, угол закручивания нитей 435°) при той же температуре термостатирования равно 7,5 мгл/сут.

Таким образом, сползание нуля системы с закрученными пружинами в 15 раз меньше, чем сползание нуля системы с закрученными нитями.

Используя приведенные здесь данные и ранее полученную зависимость между сползанием нуля кварцевой системы, размещенной в воздухе, и температурой термостатирования, можно составить следующую таблицу для температуры термостатирования 23,0°C [3].

Таблица

Упругие элементы системы	Угол закручивания системы, град	Длина упругого элемента, мм	Закручивание единицы длины упругого элемента, град/мм	Сползание, мгл/сут	Сползание на 1, 0° закручивания единицы длины упругого элемента, мгл/сут
Нити	435	50	8,7	7,5	0,86
Пружины	520	250	2,1	2,6	1,24
	280	600	0,5	0,5	1,00
Среднее					1,03

Анализируя таблицу, можно сделать следующие предварительные выводы.

1. Сползание нуля кварцевой системы, размещенной в воздухе, пропорционально относительной деформации упругих элементов.

2. Закручивание 1 мм упругого элемента на 1,0° приводит к сползанию нуля кварцевой системы крутильного типа, размещенной в воздухе, равному 1,0 мгл/сут.

3. При одной и той же абсолютной деформации упругих элементов кварцевой системы, размещенной в воздухе, сползание нуля будет уменьшаться с увеличением длины упругих элементов. Так, если длина упругого элемента 1000,0 мм и угол закручивания системы 100, 0°, то можно ожидать сползание нуля системы всего лишь 0,1 мгл/сут.

Для того чтобы получить большую длину упругого элемента при сравнительно малых размерах системы, необходимо увеличивать диаметр витков пружины. Здесь следует заметить, что увеличение диаметра витков пружины потребует и увеличения диаметра нити пружины.

Способ изготовления системы прост и понятен из ниже описанного способа изготовления комбинированной чувствительной системы гравиметра.

Исследования кварцевой системы с закрученными нитями, размещенной в жидкости, также свидетельствуют о прямой зависимости между деформацией и сползанием нуля. Так, система с начальным углом закручивания 990° была дополнительно закручена на 360° , сползание нуля системы возросло при этом приблизительно на 25% [9].

Комбинированная чувствительная система гравиметра

Как показано выше, сползание нуля системы с пружинами, закрученными маятником, подвешенным на незакрученных нитях, во много раз меньше, чем сползание нуля обычных систем на закрученных нитях (при тех же размерах системы).

Однако и сползание порядка 0,5 мгл/сут является нежелательным, особенно когда при помощи этой системы ведется непрерывная регистрация приливных изменений ускорения силы тяжести. Для более значительного уменьшения сползания такие системы необходимо размещать в жидкости или же увеличивать диаметр и число витков пружин. Эти способы дальнейшего уменьшения сползания нуля пружинной системы не единственные.

Автором предложена комбинированная чувствительная система, состоящая из двух упругих систем, работающих навстречу друг другу: горизонтально расположенные кварцевые пружины, закрученные маятником, подвешенным на закрученных в противоположную сторону нитях. Эта система внешне ничем не отличается от описанной и изображенной на рис. 1 системы. Однако комбинированная система позволяет получать нулевое и даже положительное (маятник отклоняется вверх) сползание ее нуля, что легко показать на следующем примере.

Предположим:

а: 1) сползание нуля упругой системы на пружинах 1, (см. рис. 1) равно $-0,5$ мгл/сут, $\nu = 280^\circ$ (сползание $-0,54''$ /сут);

2) сползание нуля упругой системы на нитях 3, равно $+3,0$ мгл/сут, β - угол начального закручивания нитей при горизонтальном положении маятника равен 150° (сползание $+1,65''$ /сут);

3) упругая сила нитей в 3 раза меньше упругой силы пружины.

Тогда комбинированная система будет иметь сползание нуля, равное $1,65'' - 3 \cdot 0,54'' = +0,01''$ /сут или $+0,02$ мгл/сут. Таким образом, сползание нуля системы практически равно нулю;

б: 1) сползание и угол закручивания упругой системы на пружинах те же, что и в первом случае;

2) сползание упругой системы на нитях равно $+4,0$ мгл/сут; $\beta = 200^\circ$ (сползание $2,94''$ /сут);

3) упругая сила нитей в 4 раза меньше упругой силы пружины. Тогда сползание нуля пункта комбинированной системы равно $2,94'' : 4 = 0,54'' = 0,20''/\text{сут}$ или $+0,3 \text{ мгл}/\text{сут}$.

Итак, подбирая при изготовлении системы определенное соотношение углов закручивания пружин и нитей, их длину и упругие силы, можно получить любое сползание системы: положительное, нулевое, отрицательное.

Используя вышеприведенные обозначения, можно написать основное уравнение равновесия комбинированной системы в следующем виде:

$$r(\nu + a) - r_1(\beta - a) = mgl \cos a. \quad (4)$$

Дифференцируем уравнение (4) по g и a

$$rda + r_1 da = -mgl \sin a da + ml \cos a dg.$$

Учитывая уравнение (4), можно написать

$$\{ r + r_1 + [r(\nu + a) - r_1(\beta - a)] \operatorname{tg} a \} da = \frac{r(\nu + a) - r_1(\beta - a)}{g} dg,$$

откуда

$$\frac{da}{dg} = \frac{r(\nu + a) - r_1(\beta - a)}{g \{ r + r_1 + [r(\nu + a) - r_1(\beta - a)] \operatorname{tg} a \}}. \quad (5)$$

Выражение (5) определяет угловую чувствительность комбинированной системы при различных ν , β и a .

При $a = 0$

$$\frac{da}{dg} = \frac{\nu - r_1 \beta}{g(r + r_1)}, \quad (6)$$

т.е. угловая чувствительность пропорциональна разности углов ν и β , система линейна.

С увеличением ν и уменьшением β и r_1 угловая чувствительность системы возрастает.

Исследования комбинированной кварцевой системы начато в апреле 1968 г. Опыты проводились с кварцевой системой, размещенной в воздухе, в герметически закрытом корпусе. Температурная компенсация прибора осуществлялась методом изменения плеча маятника [4,5]. Температура термостатирования $25,0^\circ \text{C}$.

Система имела следующие параметры: $\nu = 525^\circ$; $\beta = -180^\circ$; $r = r_1$, диаметр пружин 10 мм, в каждой пружине по 20 витков, длина каждой нити 48 мм.

Определим угловую чувствительность этой системы при горизонтальном положении маятника, для чего воспользуемся выражением (6)

$$\frac{da}{dg} = \frac{\nu - \beta}{2g} = 0,63''/\text{мгл}.$$

Попытаемся рассчитать, какое должно быть сползание нуля при указанных выше параметрах системы.

Закручивание единицы длины упругого элемента: пружины $525^{\circ} : 628 \text{ мм} = 0,8^{\circ}/\text{мм}$; нити $180^{\circ} : 48 \text{ мм} = 3,8^{\circ}/\text{мм}$, откуда сползание упругой системы на пружинах $-0,8$ мгл или $-1,54^{\circ}/\text{сут}$ и сползание упругой системы на нитях $+3,8$ мгл или $+2,51^{\circ}/\text{сут}$.

Тогда сползание нуля системы будет $+0,97^{\circ}$ или $1,5$ мгл/сут.

Термическому старению система не подвергалась. Регистрация показаний приборов велась непрерывно. Способ регистрации неоднократно описывался ранее [7-9].

Сползание нуля системы несколько первых дней было отрицательным и составляло около $5-6$ мгл/сут. Затем знак сползания изменился, маятник стал отклоняться вверх, причем величина сползания также стала значительной: $2,5 \div 3,0$ мгл/сут.

Наблюдаемое сползание нуля совпало с расчетным по знаку и близко ему по величине.

Значительное положительное сползание представляло особый интерес, так как оно свидетельствовало о возможности создания системы с любым сползанием нуля.

На последующем этапе исследования этой системы была сделана попытка уменьшить величину сползания нуля. С этой целью нити были раскручены приблизительно на 80° , параметры системы при этом остались прежними за исключением углов закручивания пружин и нитей. Угол закручивания пружин стал равен 485° и угол закручивания нитей -140° . Определим угловую чувствительность и ожидаемое сползание нуля системы

$$\frac{da}{dg} = \frac{485^{\circ} - 140^{\circ}}{2g} = 0,63^{\circ}/\text{мгл}.$$

Закручивание единицы длины упругого элемента: пружины $485^{\circ} : 628 \text{ мм} = 0,8^{\circ}/\text{мм}$; нити $140^{\circ} : 48 \text{ мм} = 2,9^{\circ}/\text{мм}$, откуда сползание упругой системы на пружинах $-0,8$ мгл, или $-1,42^{\circ}/\text{сут}$, и сползание упругой системы на нитях $+2,9$ мгл, или $+1,48^{\circ}/\text{сут}$.

Тогда сползание нуля системы будет $+0,06$, или $0,1$ мгл/сут.

Сразу же после раскручивания нитей на 80° система была поставлена в прибор и начата непрерывная регистрация ее показаний. В первые сутки сползание нуля системы было отрицательным и равным приблизительно 1 мгл. Постепенно сползание уменьшилось, через несколько дней оно стало нулевым. Постоянство нуля продолжалось двое суток, затем сползание стало положительным и равным $0,2$ мгл/сут.

Таким образом, и в данном случае наблюдаемое сползание нуля совпало с расчетным по знаку и близко ему по величине.

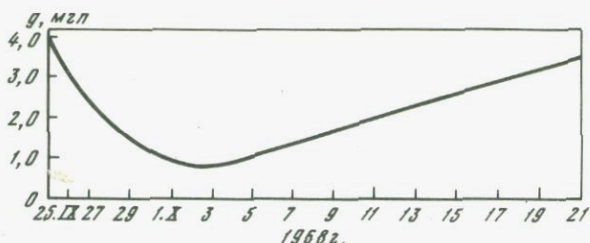


Рис. 2. Кривая сползания нуляpunkта

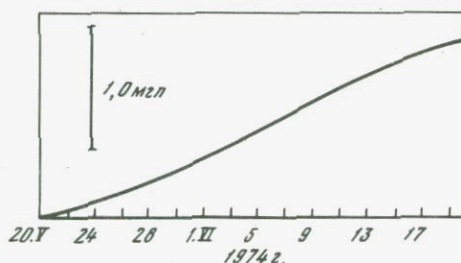


Рис. 3. Кривая сползания нуляpunkта гравиметра СКГ

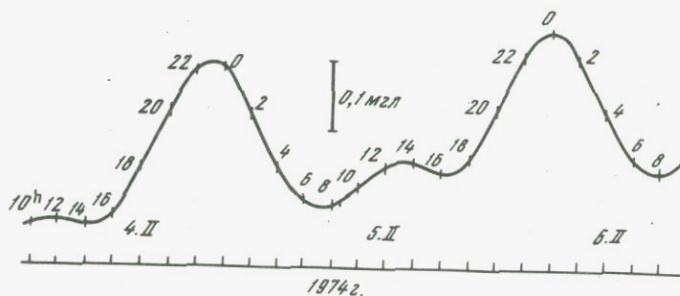


Рис. 4. Образец записи приливных изменений ускорения силы тяжести

На рис. 2 представлена кривая сползания нуляpunkта за 26 дней. Сложный характер сползания в начальный период, по-видимому, следует объяснить сильным возмущением системы (демонтаж системы, раскручивание нитей на угол 80° и монтаж системы). Через 9 дней сползание стабилизировалось.

На рис. 3 приводится кривая сползания нуляpunkта гравиметра СКГ [10, 11] с 20.V по 20.VI 1974 г., сползание было положительным и равным $0,04$ мгл/сут.

На рис. 4 приведена двухсуточная запись приливных изменений ускорения силы тяжести, где хорошо видно положительное сползание нуляpunkта системы.

Способ изготовления комбинированной системы очень прост. Изготавливается система, показанная на рис. 1. Весовой момент системы относительно оси вращения приводится к нулю (путем приварки или отварки кварцевого стерженька). Пружины и нити совместно закручиваются на некоторый угол ϕ . Маятник жестко фиксируется в этом положении. Нити в местах их крепления к кварцевой раме прогреваются и раскручиваются на угол ϕ . Маятник отпускается и раскручивается на некоторый угол Ψ . В этом положении справедливо равенство

$$\tau(\phi - \Psi) = \tau_1 \Psi,$$

откуда

$$\frac{\tau}{\tau_1} = \frac{\Psi}{\phi - \Psi}. \quad (7)$$

Затем задается некоторый весовой момент системы, пружины и нити закручиваются на некоторый дополнительный угол ϕ_1 вручную с таким расчетом, чтобы суммарный угол закручивания пружин $\gamma = \phi - \Psi + \phi_1$ был больше того угла, на который могут быть закручены пружины под действием весового момента маятника. Маятник жестко фиксируется в этом положении, нити прогреваются и раскручиваются на угол $\phi_1 - \Psi$ (полностью). Маятник отпускается и при этом раскручивается на некоторый угол β - угол закручивания нитей. Угол закручивания пружин $\nu = \gamma - \beta$.

Трудно добиться сразу же такого соотношения τ , τ_1 , ν и β , чтобы сползание нуля системы было равно нулю. Поэтому, учитывая τ и τ_1 , длину нитей, количество витков и диаметр пружин, β следует задавать таким, чтобы сползание нуля системы было заведомо положительное. При последующей юстировке β уменьшается с таким расчетом, чтобы сползание нуля системы стало близким к нулю.

Операции для определения выражения (7) необходимо производить при каждом изготовлении системы. Если известна величина τ/τ_1 , легко рассчитать угловую чувствительность системы, воспользовавшись выражением (5) или (6). Если величина τ/τ_1 неизвестна, то возможен и такой случай, когда система будет практически нечувствительна к изменениям ускорения силы тяжести (при этом сползание нуля системы может быть любое), что легко показать.

Допустим: $\nu = 510^\circ$, $\beta = 250^\circ$, $2\tau = \tau_1$.

Если подставим эти величины в выражение (6), то получим

$$\frac{da}{dg} = \frac{10^\circ}{3g} = 0,01 \text{ / мгл,}$$

т.е. угловая чувствительность в 50 ± 100 раз меньше угловой чувствительности обычных крутильных систем.

Выводы

1. Сползание нуля пункта системы с горизонтально расположенными пружинами, закрученными маятником, подвешенным на незакрученных нитях, пропорционально относительной деформации пружин. Чем меньше закручивание единицы длины упругого элемента, тем меньше сползание. При одной и той же угловой чувствительности системы сползание будет тем меньше, чем больше число витков и диаметр пружин.

2. Комбинированная чувствительная система позволяет получать нулевое и даже положительное сползание. Изменяя соотношение ν и β , учитывая r/r_1 , длину нитей, число витков и диаметр пружин, можно менять сползание.

3. Описанные чувствительные системы позволяют отказаться от холодильных камер, которые применяются с целью уменьшения сползания нуля пункта кварцевых стационарных гравиметров [8-11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.И. Попов. Исследование кварцевых систем гравиметров. Автореф. канд. дисс. М., Геофизический ин-т АН СССР, 1956.
2. Е.И. Попов. Новые экспериментальные данные о сползании нуля пункта кварцевых гравиметров, основанных на использовании упругих свойств закрученных нитей. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 5.
3. Д.Г. Гриднев, Исследование зависимости сползания нуля пункта кварцевого гравиметра от температуры термостатирования. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967.
4. Д.Г. Гриднев. Температурный компенсатор. Авт. свид. № 181834. - Бюлл. изобрет., 1966, № 10.
5. Д.Г. Гриднев. Новая система температурной компенсации гравиметров. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". Труды ИФЗ, АН СССР. М., "Наука", 1970.
6. Д.Г. Гриднев. Стационарный кварцевый гравиметр и результаты его исследования. Автореф. канд. дисс. М., ИФЗ АН СССР, 1966.
7. Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Наблюдения приливных изменений силы тяжести кварцевым стационарным гравиметром в Красной Пахре в 1965-1966 гг. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1970.
8. Д.Г. Гриднев. Регистрация приливных изменений ускорения силы тяжести в Красной Пахре стационарным кварцевым гравиметром с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". М., "Наука", 1967.
9. Д.Г. Гриднев. Исследования стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Изучение земных приливов". М., "Наука", 1964.
10. Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр. - Наст. сб., стр. 113.
11. Д.Г. Гриднев. Гравиметр. Авт. свид. № 305438, 1970.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ГРАВИМЕТРА СКГ НАКЛОНОМ

Диапазон измерений гравиметра СКГ при помощи измерительной пружины не превышает 15–30 мгл. Поэтому определение цены деления микрометра гравиметра в миллигалах целесообразно производить наклоном гравиметра.

Методика эталонирования гравиметра GS-11 подробно описана ранее [1]. Эталонирование гравиметра СКГ производится аналогично. Различие заключается лишь в том, что индикаторным гальванометром, показывающим положение маятника относительно фотоэлементов, у гравиметра GS-11 является внутренний, а у гравиметра СКГ – гальванометр регистрира СКГ.

Чувствительность на выходе гравиметра (на шкале гальванометра) задавалась 50–100 мм/мгл при точности отсчета 0,5 мм. Точность отсчета по микрометру гравиметра 0,1 дел. или 0,001–0,002 мгл. Точность отсчета по микрометричному винту наклонной плиты 0,1 сек дуги. Постоянная плиты $A = 0,24441$ мгл/об. Наклоны гравиметра производились в плоскости маятника на целые обороты микрометричного винта плиты вверх и вниз симметрично относительно исходного положения.

Цена деления гравиметра определялась из выражения [1]

$$C = \frac{A(n^2 - n_1^2)}{\Sigma S_{1,2} - \Sigma S_{3,4}} \text{ мгл/дел,}$$

где $\Sigma S_{1,2}$ и $\Sigma S_{3,4}$ – суммы отсчетов по микрометру гравиметра при наклоне гравиметра на $\pm n$ и $\pm n_1$ оборотов винта плиты соответственно.

В табл. 1 приводятся результаты эталонирования СКГ № 1, в табл. 2 – результаты эталонирования СКГ № 5. Здесь t – время отсчета показаний гальванометра Γ , S_0 – отсчет по микрометру гравиметра при его наклоне на n оборотов винта плиты; S – отсчет по микрометру гравиметра, исправленный за приведение к начальному отсчету по шкале гальванометра и за дрейф нуля гравиметра; $\Sigma S_{\pm n} = S_{+n} + S_{-n}$ – сумма отсчетов S при наклоне гравиметра на $\pm n$ оборотов; $\Delta \Sigma = \Sigma S_{\pm 4} - \Sigma S_{\pm n}$; C – цена одного деления микрометра, в мгл/дел; $\Delta S / \Delta \Gamma$ – цена деления шкалы гальванометра в делениях микрометра.

После эталонирования СКГ № 1 11.III 1974 г. чувствительная система гравиметра юстировалась. Была увеличена масса маятника, при этом увеличение весового момента маятника было компенсировано дополнительным растяжением астазирующей пружины.

Это юстирование системы должно было привести к уменьшению цены деления гравиметра. Эталонирование СКГ № 1 20.III 1974 г.

Таблица 1

Эталонирование СКГ № 1 наклоном 11. III 1974 г. $\Delta S/\Delta \Gamma = 0,8$

t	n	S ₀	Г	S	$\Sigma S_{\pm n}$	$\Delta \Sigma$	$\Delta g = A(n^2 - 4^2)$	$C = \frac{\Delta g}{\Delta \Sigma}$
10.05	0	1299,5	7					
10	4	1210,0	7	1205,4	2409,0			
20	14	190,0	6	188,2	359,4	2049,6	43,99380	0,02146
27	-4	1200,0	1	1203,6				
35	-14	170,0	6	171,2				
42	0	1290,0	3					
52	4	1200,0	0	1208,0	2406,6			
11.00	10	725,0	3	731,4	1449,1	957,5	20,53044	0,02144
07	11	605,0	2	612,5	1211,1	1195,6	25,66305	0,02146
15	12	475,0	4	481,4	948,4	1458,2	31,28448	0,02145
23	13	330,0	2	338,5	664,4	1742,2	37,39473	0,02146
29	14	180,0	4	187,3	358,1	2048,5	43,99380	0,02147
35	0	1280,0	-5					
43	-4	1190,0	4	1198,6				
51	-10	705,0	0	717,7				
58	-11	585,0	0	598,6				
12.05	-12	455,0	3	467,0				
11	-13	310,0	-1	325,9				
17	-14	155,0	0	170,8				
24	0	1280,0	2					

C_{cp} = 0,02146 ± 0,0000014

(±0,007%)

Таблица 2

Эталонирование СКГ № 5 наклоном 13, III 1974 г. $\Delta S/\Delta \Gamma = 0,7$

t	n	S_0	Γ	S	$\Sigma S_{\pm n}$	$\Delta \Sigma =$ $-\Sigma S_{+0} - \Sigma S_{\pm n}$	$\Delta g = A(n^2)$	$C = \frac{\Delta g}{\Delta \Sigma}$
9.50	0	1450,0	3	1447,9	2895,8			
10.12	5	880,0	-4	887,2	1821,8	1074,0	6,11025	0,005689
17	6	645,0	3	648,3	1348,7	1547,1	8,79876	0,005687
22	7	360,0	2	365,0	790,9	2104,9	11,97609	0,005690
27	8	30,0	0	37,4	146,0	2749,8	15,64224	0,005688
32	0	1440,0	1	1447,9				
47	-5	920,0	-3	934,6				
52	-6	690,0	5	700,4				
57	-7	410,0	-1	425,9				
11.02	-8	90,0	-3	108,6				
07	0	1430,0	0	1447,9				

$$C_{\text{cp}} = 0,005689 \pm 0,0000007$$

$$(\pm 0,01\%)$$

показало, что цена деления гравиметра в результате юстировки системы уменьшилась на 6% и стала равной 0,02014 мгл. Цена деления СКГ № 5, определенная эталонированием гравиметра 13. III 1974 г., оказалась равной 0,005689 мгл. При эталонировании СКГ № 1 максимальное кажущееся изменение силы тяжести составило 29 мгл, а при эталонировании СКГ № 5 — около 8 мгл. Несмотря на столь незначительное изменение силы тяжести, полученная точность эталонирования достаточно высокая.

Результаты эталонирования свидетельствуют о возможности определения цены деления гравиметров СКГ с ошибкой, не превышающей 0,1%, наклоном их на углы до 10–15 мин дуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Г. Гриднев, Эталонирование гравиметров фирмы "Аскания" и определение масштаба записи приливных изменений силы тяжести наклоном. Температурные наклоны постаментов, — Сб. "Вращение и приливные деформации Земли", вып. 6, Киев, "Наукова думка", 1974.

Д. Г. Гриднев, Н. Н. Парийский, Ю. Ф. Шибаяев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОКАЗАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ «АСКАНИЯ»

Как известно, анализ длинных рядов приливных изменений силы тяжести, проведенных скользящим методом, показывает наличие значительных отклонений отдельных результатов неслучайного характера, достигающих иногда 5% и более. Эти отклонения не связаны с конкретными методами анализов приливных наблюдений и обнаруживаются при любом из них (методы Перцева, Леклаза, Венедикова). Исследование влияния возможного прогиба земной поверхности под действием периодически меняющейся атмосферной нагрузки в большой области, окружающей пункт наблюдения, проведенное Б.П.Перцевым и М.В.Ивановой [1], показало, что эта причина недостаточна для объяснения наблюдаемых колебаний в значениях гравиметрического фактора и запаздывания фаз.

Неустойчивость коэффициента увеличения записи также не может объяснить наблюдаемые расхождения, так как не все волны одновременно претерпевают эти изменения. В 1972 г. на приливной станции в Талгаре был исследован вопрос, не могут ли изменения магнитного поля Земли оказывать влияние на показания гравиметра "Аскания".

Для оценки влияния магнитного поля на показания гравиметров "Аскания" GS-11 № 134 и № 167 они помещались в катушку Гельмгольца.

Катушка Гельмгольца состояла из двух контуров, намотанных на дюралюминиевые кольца диаметром 1 м с расстоянием между ними

50 см. Каждый контур состоял из 50 витков. Сопротивление первого контура равнялось 27,8 ом, второго - 28,1 ом, а суммарное - 55,9 ом. При исследовании гравиметра № 134 использовалось постоянное напряжение 6,4 в и ток 0,114 а, а при исследовании гравиметра № 167 соответственно напряжение 6,2 в и ток 0,111 а.

Катушка могла надеваться на гравиметр как с осью, расположенной вертикально, так и с осью, расположенной горизонтально в любом азимуте, как совпадающим с осью коромысла маятника, так и ему перпендикулярном.

Поле, создаваемое катушкой Гельмгольца в направлении ее оси H_x и в направлении, ей перпендикулярном H_y , как известно [2], может быть вычислено по формулам:

$$H_x = 0,899 \frac{In}{R} \left[1 - 0,144 \frac{1}{R^4} (8x^4 - 24x^2y^2 + 3y^4) + \dots \right], \quad (1)$$

$$H_y = 0,0518 \frac{yIn}{R} [x(4x^2 - 3y^2) + \dots],$$

где H_x и H_y выражены в эрстедах. Здесь I - сила тока в цепи колец Гельмгольца, в а; n - число витков в каждом контуре; R - радиус колец, в см; x - расстояние от центра катушки в направлении ее оси, в см; y - расстояние от оси катушки, в см.

Напряжение H_x вдоль оси катушки в ее центре ($x = y = 0$) равнялось при исследовании гравиметров № 134 - 0,1024 э, а гравиметра № 167 - 0,0999 э.

Эти расчетные данные хорошо согласовывались с непосредственным измерением поля, создаваемого катушкой в ее центре, проведенным специальным "щупом" - катушкой для измерения магнитного поля.

При одевании катушки Гельмгольца на гравиметр в том или другом ее положении поле, возникающее под металлическим колпаком гравиметра, конечно, сильно искажается, но приблизительно так же, как и при измерениях естественных магнитного поля Земли.

Чувствительная система гравиметра располагалась не точно в центре катушки, благодаря конкретным габаритам постаментов, гравиметра и катушки. Рассчитать теоретически напряжение под колпаком прибора практически невозможно. Однако если рассчитывать изменение напряжения поля катушки для действительного положения (x, y) чувствительной системы гравиметра относительно центра катушки Гельмгольца без учета колпака, пользуясь формулами (1), то соответствующие поправки будут незначительны.

Действительно, при исследовании влияния изменений вертикальной составляющей магнитного поля ось x катушки располагалась вертикально и чувствительная система гравиметра была ниже центра катушки на 10 см ($x = 10$). Значение координаты y несколько неопределенно, так как неизвестно, какая часть подвижной системы

гравиметра более подвержена влиянию магнитного поля. Но, во всяком случае, можно предполагать у не более 10 см. При $x = 10$ см и $y = 0$ поправочный член в формуле (1) для H_x за отступление от центра катушки, составляет всего 0,15%, а при $x = 10$ и $y = -10 - 0,30\%$ этим отклонением мы можем пренебречь.

При исследовании влияния горизонтальной составляющей магнитного поля ось катушки располагалась горизонтально, но чувствительная система находилась на 35 см ниже этой оси ($y = 35$). В этом случае по формуле (1) для $x = 0$ и $y = 35$ поправка за нецентральность маятника составляет 7,3%, а для $x = 10$ см и $y = 35$ см - 7,4%. Слагающая поля H_y значительно меньше.

Учитывая, что точность измерения наблюдаемого эффекта, как будет видно ниже, около 10%, мы можем этой поправкой пренебречь, тем более что она может несоответствовать действительному распределению напряжений под колпаком прибора. Поэтому с требуемой при наших измерениях точностью можем положить, что включение катушки Гельмгольца дает дополнительное поле около 10000 у для обоих гравиметров.

• При переключении направления тока в катушке Гельмгольца поле изменялось на 20000у, при этом происходило смещение записи на регистрационной ленте всего около 2 мм. Но вследствие инструментальной инерции, как это было исследовано обычным образом для каждого гравиметра, требуется длительное время, около 40-30 мин, для установления "зайчика" в новом положении после сдвига. Ожидать же столько времени не выгодно, вследствие нелинейности записи из-за приливных изменений силы тяжести и иногда нелинейности дрейфа на больших интервалах времени. Поэтому изменение направления тока в катушке производилось через 10, 15 или 20 мин с тем, чтобы за время, занимаемое 5-8 переключениями, т.е. 1-2 ч, можно было считать дрейф и приливные изменения (выбрав соответствующие участки) меняющимися линейно.

Измеренные ординаты записи Y исправлялись за дрейф, определяемый для каждого часового или двухчасового ряда наблюдений по разности крайних ординат Y , полученных при одинаковой полярности тока (таким образом учитывалась и линейная часть приливных изменений силы тяжести). По разности ΔY соседних исправленных значений Y , измеренных через 10 или 15 мин после очередного переключения тока, определялись смещения записи, соответствующие изменению внешнего поля на 20000у за это время. Для получения полного смещения ΔY_0 , соответствующего этому изменению поля, средние значения умножались на фактор $p > 1$, зависящий от величины параметра запаздывания τ , определяемого обычным методом.

Очевидно,

$$\Delta Y_0 = p \Delta Y, \text{ где } p = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

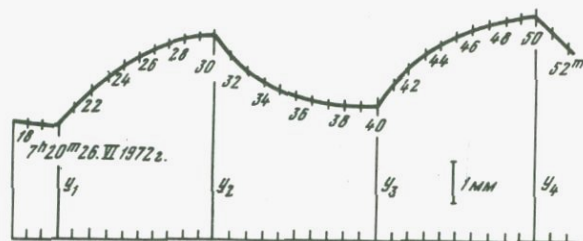
Запись производилась на большой развертке: 8,6 мм/мин (на рисунке масштаб по t сокращен и по Y - увеличен).

Для гравиметра GS-11 № 167 при $t = 15$ $p = 1,28$.

Полученные таким образом значения ΔY_0 (в мм) умножались на чувствительность прибора K (в мкг/мм) для получения эквивалента изменению силы тяжести. Для гравиметра № 134 $K = 3,0$ мкг/мм, а для № 167 - $K = 2,9$ мкг/мм. Итак, ΔY_0 (в мкг/γ) = $Kp\Delta Y / 2 \cdot 10^4$.

Схема измерений изображена на рисунке.

Схема замера ординат



Для гравиметров GS-11 № 134 при $t = 10$ $p = 1,22$, при $t = 20$ $p = 1,07$.

Для примера в табл. 1 приведены детали измерений и обработки одного ряда наблюдений влияния вертикальной составляющей магнитного поля на гравиметр № 134.

Таблица 1

Влияние изменений вертикальной составляющей магнитного поля на показания гравиметра GS-11 № 134 26.VI 1972 г.

$\Delta z,$ γ	$Y_n,$ мм	Поправка за дрейф, мм	$Y_{n'},$ мм	$\Delta Y_{n'},$ мм
-10^4	24,8	0	24,8	1,4
$+10^4$	27,0	-0,8	26,2	2,4
-10^4	25,4	-1,6	23,8	2,5
$+10^4$	28,6	-2,3	26,3	1,9
-10^4	27,4	-3,0	24,4	2,2
$+10^4$	30,4	-3,8	26,6	1,8
-10^4	29,4	-4,6	24,8	

$$\Delta Y_{cp} = 2,0 \pm 0,17$$

Для гравиметра № 134 было проведено три ряда наблюдений (27 и 29.VI 1972 г.) влияния вертикальной составляющей, что дало следующие результаты:

Число обращений поля	$\Delta Y, \text{мм}$	ρ	$\Delta Y_0, \text{мкгл}/2 \cdot 10^4$
7	$2,0 \pm 0,17$	1,22	7,3
10	$2,3 \pm 0,14$	1,22	8,4
6	$2,9 \pm 0,27$	1,07	9,3
			$\Delta Y_{\text{ср}} = 8,3$

Таким образом, влияние изменений вертикальной составляющей магнитного поля на 1γ для гравиметра GS-11 № 134 эквивалентно изменению силы тяжести на

$$\Delta g = 4,15 \cdot 10^{-4} \text{ мкгл}/\gamma.$$

Влияние горизонтальной составляющей магнитного поля, параллельной телу маятника, определенной аналогичным образом по пяти переменам направления тока в катушке Гельмгольца, оказалось значительно меньше и соответствовало

$$\Delta Y = 0,35 \pm 0,22 \text{ мм при } t = 10 \text{ мин.}$$

или

$$\Delta g = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ мкгл}/\gamma,$$

что почти на порядок меньше, чем для вертикальной составляющей.

У гравиметра GS-11 № 167, наоборот, влияние вертикальной составляющей оказалось очень малым. По девяти переключениям тока в катушке, произведенным через 15 мин., в среднем

$$\Delta Y = 0,4 \pm 0,1 \text{ мм и } \Delta g = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ мкгл}/\gamma.$$

Влияние же горизонтальной составляющей, параллельной маятнику, более значительно

$$\Delta Y = 2,6 \pm 0,3 \text{ мм и } \Delta g = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ мкгл}/\gamma.$$

Влияние горизонтальной составляющей поля, перпендикулярной маятнику, совсем мало и дает

$$\Delta g \approx 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ мкгл}/\gamma.$$

Кроме влияния магнитного поля на показания самого гравиметра можно ожидать также влияния магнитного поля на регистрирующий гальванометр.

Мы исследовали только влияние горизонтального поля параллельно рамке гальванометра гравиметра № 167 (гравиметр № 167 работал с гальванометром, поставленным фирмой "Аскания", к гравиметру GS-11 № 124). Исследовать влияние магнитного поля на гальванометр гравиметра № 134 не удалось из-за больших габаритов регистрира, в котором заключен его гальванометр.

Таблица 2

Влияние изменений на 1γ различных составляющих магнитного поля (в единицах $\cdot 10^{-4}$, мкг/л)

Слагающая поля	Гравиметр		Гальванометр гравиметра № 124
	№ 134	№ 167	
Вертикальная	$4,2 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,2$	-
Горизонтальная параллельная маятнику или рамке	$0,6 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,6$	$2,4 \pm 0,5$
перпендикулярная маятнику или рамке	0	0,3	0

Влияние изменений магнитного поля на $2 \cdot 10^4 \gamma$ у на гальванометр гравиметра № 167 оказалось заметным. Для него $\Delta Y = 1,3 \text{ мм}$ и $\Delta g = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ мкг/л/}\gamma$.

Сводка результатов приведена в табл. 2.

Как видно из этой таблицы, различные гравиметры весьма по-разному реагируют на изменения магнитного поля, но во всех случаях эти влияния не велики. В нашем случае максимальное совместное влияние изменений горизонтальной составляющей на гравиметр и гальванометр меньше $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/л/}\gamma$.

По данным Яновского [3], суточные вариации магнитного поля Земли на средних широтах $40-60^\circ$ не превышают по амплитуде 50γ и, следовательно, могут давать суточные периодические члены с амплитудами меньше $0,05 \text{ мкг/л}$, что составляет менее $0,1\%$ амплитуд основных суточных волн.

Таким образом, вариации магнитного поля не могут объяснить наблюдаемых нерегулярных изменений гравиметрического фактора δ или запаздывания фаз. Очень сильные магнитные бури, достигающие иногда нескольких тысяч γ , возможно, могут исказить несколько часовых отсчетов или повлиять на дрейф, но и то незначительно. Изменение на 5000γ может дать в худшем случае смещение записи на 2 мм .

ЛИТЕРАТУРА

1. М.В.Иванова, Б.П.Перцев. Оценка влияния колебаний атмосферного давления на приливные изменения силы тяжести. - Сб. "Методика измерений земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". М., "Наука", 1970, стр. 113.
2. Б.М.Яновский. Земной магнетизм. М., ГИТТЛ, 1953, стр. 34.
3. Б.М.Яновский. Земной магнетизм. М., ГИТТЛ, 1953, стр. 181.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАКЛОНЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИМИ ИСКАЖЕНИЯ В ПОКАЗАНИЯХ ПРИЛИВНЫХ ГРАВИМЕТРОВ

Наблюдения приливных изменений ускорения силы тяжести позволяют получить значения δ и $\Delta\phi$ основных приливных волн. Величины δ и $\Delta\phi$ дают дополнительный материал, способствующий познанию внутреннего строения Земли. Поэтому дальнейшее повышение точности определения δ и $\Delta\phi$ имеет большое значение. Однако длительные ряды наблюдений приливных изменений ускорения силы тяжести показывают значительные отклонения одиночных определений по месячным сериям δ и $\Delta\phi$ от средних значений δ и $\Delta\phi$ всего ряда наблюдений [1, 2]. Это зависит от ряда факторов, основными из которых являются: недостаточно точное определение величины масштабного коэффициента записи, низкий коэффициент термостатирования, нелинейный дрейф нуля гравиметра, нелинейность шкалы внешнего гальванометра, изменения чувствительности фотоэлементов и интенсивности светового потока лампы фотоэлемента со временем.

По мнению автора, фактором, искажающим показания гравиметров, могут быть также и температурные наклоны постаментов, на которых размещены гравиметры. Однако до последнего времени этому не уделялось должного внимания.

Для исследования величины температурных наклонов постаментов автором были изготовлены простые кварцевые наклонометры на цельнеровском подвесе. Собственный период маятников наклонометров мог быть выше 100 сек. Поэтому наклонометры не требовали фотоэлектрического усиления сигнала, регистрацию наклонов постаментов можно было вести простым оптическим способом на фотобумаге.

Исследования проводились на гравиметрической станции "Красная Пахра" [3]. Грунт под зданием станции до глубины 40 м — глина с прослойками песка и гравия, на глубине 40 м — известняк. Здание заглублено в грунт на 1,5 м, наружные стены засыпаны землей. Пол станции бетонный толщиной 0,5 м. Постамент, на котором велась регистрация наклонов, возведен на полу без развязки. Регистрация наклонов осуществлялась с помощью наклонометров № 1 и 2, установленных рядом на постаменте, в азимуте восток — запад. Маятники наклонометров имели зеркало, ось которого совпадала с осью вращения маятника. Световой поток лампы осветителя отражался от зеркала маятника и фокусировался на фотобумаге барабана кассеты. Скорость развертки 11 мм/ч. На одну кассету регистрировались показания наклонометров термографа сопротивления [4], который был размещен между наклонометрами, его чувствительность 100 мм/°С. Оптическое плечо наклонометра — 1 м, собственный период колебания маятников 25 сек. Приведенная длина маятника l наклонометра № 1,

равная 55 мм, и накломера № 2, равная 60 мм, определена из работы [5]

$$l = \frac{g}{2\pi^2} \frac{T_{1a}^2 T_{1\sigma}^2}{T_{1\sigma}^2 - T_{1a}^2} \Delta i, \quad (1)$$

где g - ускорение силы тяжести; $T_{1a}, T_{1\sigma}$ - периоды собственных колебаний маятника при различных углах i_a и i_σ между осью вращения и вертикалью $\Delta i = i_a - i_\sigma$.

Из работы [5]

$$y = 2A \frac{g}{ln^2} \Psi, \quad (2)$$

где y - смещение светового блика маятника по фотобумаге при наклоне постамента на угол Ψ ; A - оптический рычаг накломера; n - частота собственных колебаний маятника. Находим, что смещение при наклоне постамента на 1 сек дуги будет у накломера № 1 равно 28,2 мм и у накломера № 2 - 25,8 мм.

На рис. 1 показана двухсуточная запись наклонов постамента накломерами и температуры θ в камере регистрации. Наклоны постамента имеют явно суточный период. При этом не обнаруживается никакой корреляции между изменением температуры внутри регистрационной камеры и суточными наклонами постамента.

Двойная амплитуда суточного наклона по показаниям накломера № 1 составила 3,0 сек дуги, по показаниям накломера № 2 - 2,9 сек дуги. Амплитуда наклона, полученная из показаний накломера № 1, отличается от амплитуды, полученной из показаний накломера № 2, всего на 3,5%. Это различие можно объяснить ошибкой определения величины Δi выражения (1), так как винт чувствительности накломера не имел высокоточного отсчетного устройства. К тому же выражение (1) не достаточно верно, так как

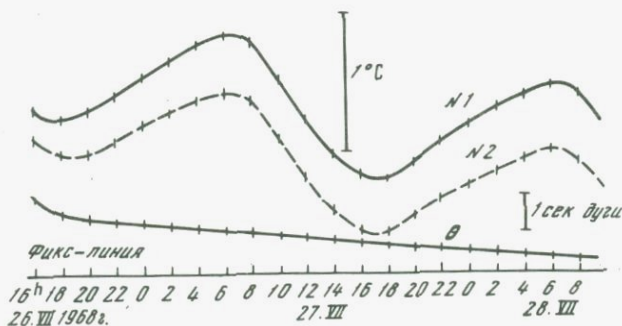


Рис. 1. Двухсуточная запись температуры в камере регистрации и наклонов постамента накломерами № 1 и 2

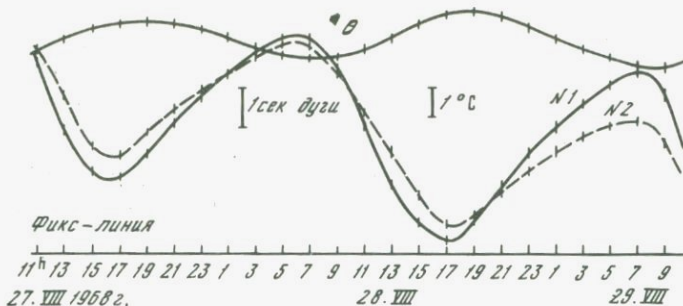


Рис. 2. Двухсуточная запись наклонов постамента и наружной температуры

не учитывает упругих восстанавливающих сил подвеса накломера, Помимо суточных наклонов постамента наблюдаются длиннопериодные наклоны.

Для выяснения природы суточных наклонов в последующих опытах одновременно с регистрацией наклонов постамента велась регистрация наружной температуры. С этой целью чувствительное плечо термографа сопротивления было размещено около входа в здание станции. Для защиты от прямых солнечных лучей чувствительное плечо термографа было присыпано 10-сантиметровым слоем земли. Чувствительность термографа в данном случае была $10 \text{ м}^{\circ}\text{C}$.

На рис. 2 показана двухсуточная запись наклонов и наружной температуры. Чувствительность наклономеров была сохранена прежней. Можно видеть четкую корреляцию между суточными наклонами постамента и суточными изменениями наружной температуры. Двойная амплитуды наклонов по показаниям накломера № 1 составила 4,6 сек дуги, по показаниям накломера № 2 — 4,4 сек дуги.

Первые кварцевые наклономеры могли быть проэталонированы только косвенным способом, так как не имели устройств для эталонирования. Поэтому с их помощью нельзя было получить высокоточную количественную оценку регистрируемых ими наклонов. Однако исследования кварцевых наклономеров на цельнеровском подвесе позволили выявить высокую идентичность их показаний. Это обстоятельство дало автору повод для разработки и изготовления кварцевого накломера более совершенной конструкции с двумя устройствами для принципиально нового способа эталонирования и фотоэлектрическим способом регистрации.

В 1971 г. были изготовлены два макета таких наклономеров. В 1972/1973 г. одним из этих наклономеров были продолжены исследования наклонов того же постамента на гравиметрической станции "Красная Пахра". В результате этих исследований были получены амплитуды наклонов для различных времен года с апреля 1972 г. по март 1973 г.

На рис. 3 приводится кривая средней двойной амплитуды суточного наклона Ψ для каждого месяца, которая свидетельствует о том, что амплитуды суточных наклонов наиболее значительны летом.

Так, например, двойная амплитуда суточного наклона в июле достигает 3,5 сек дуги. Столь значительные амплитуды наклонов в летние месяцы могут исказить результаты наблюдений приливных изменений силы тяжести. Для оценки величины искажений амплитуды приливных волн за счет температурных наклонов постаемента был проведен гармонический анализ суточных наклонов постаемента по способу Б.П.Перцева [6] за период с 27.VII по 24.VIII 1972 г. Были выделены амплитуды наклонов Ψ волн с периодами, равными периодам приливных волн M_2, S_2, N_2, K_1, O_1 , а также запаздывания фаз волн наклонов постаемента относительно фаз приливных волн для случая абсолютно твердой Земли $\Delta\phi_\Psi$.

Ниже приведены результаты гармонического анализа:

	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
Ψ , сек дуги	0,07	0,14	0,004	1,94	0,12
$\Delta\phi_\Psi$, град	+46,6	-49,3	-247,2	+197,6	+155,8

Как видно, суточные температурные наклоны постаемента могут существенно повлиять на амплитуду волны K_1 . На остальные волны суточные наклоны практически не влияют.

На рис. 4 приведены графики наблюдаемых суточных наклонов постаемента со снятым по способу Б.П. Перцева [7] длиннопериодным наклоном. Видно, что двойная амплитуда суточных наклонов постаемента в июле-августе в основном находится в пределах 2-3 сек дуги.

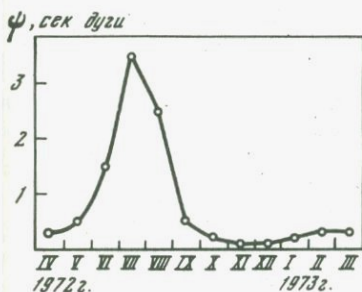


Рис. 3. Кривая двойной амплитуды суточного наклона, осредненной для каждого месяца

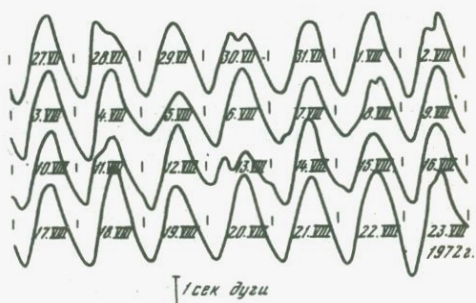


Рис. 4. Кривые наблюдаемых суточных наклонов постаемента

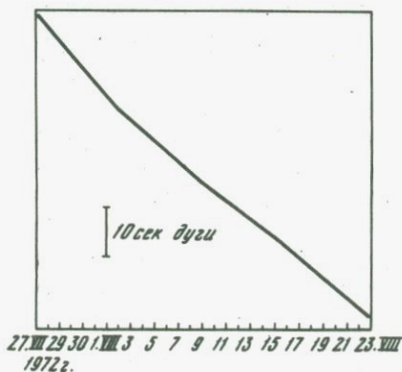


Рис. 5. Ход длиннопериодного наклона постаемента

На рис. 5 приведен график длиннопериодного наклона постаментa, амплитуда которого с 27.VII по 23.VIII 1972 г. составила 62,5 сек дуги. Суточное приращение длиннопериодного наклона составило 2,2 сек дуги. Для доказательства того, что длиннопериодный наклон не является дрейфом нуля пункта наклономера, наклономер был развернут на 180°. При этом знак и величина длиннопериодного наклона не изменились, что свидетельствует об отсутствии дрейфа нуля пункта наклономера (кривая наклона на регистрограмме изменяла знак, сохранив величину). Последующие исследования данного наклономера в Обнинске подтвердили отсутствие инструментального дрейфа.

Казалось бы, зная величину наклона постаментa, легко ввести поправку в показания гравиметра за наклон, используя известное выражений [8]

$$\Delta g = \frac{1}{2} g \Psi^2, \quad (3)$$

где Ψ - угол наклона гравиметра (постаментa). Однако это выражение верно лишь для случая, когда гравиметр выведен точно на минимум чувствительности к наклону; т.е. когда центр тяжести маятника гравиметра находится в горизонтальной плоскости, проходящей через ось вращения маятника. Обычно маятник отклонен от горизонтальной плоскости на некоторый неизвестный угол $\pm x$. Величина угла x при существующем способе выведения гравиметра на минимум чувствительности к наклону может достигать ± 10 сек дуги. Если нет постоянного контроля за положением уровней гравиметра, величина угла x из-за больших сезонных наклонов постаментa (см. рис. 5) может значительно увеличиться по сравнению с начальной. Поправка в показаниях гравиметра за счет изменения наклона почвы выражается формулой

$$\Delta g = \frac{1}{2} g(\Psi^2 + 2\Psi x), \quad (4)$$

где x - величина неизвестная.

Оценка возможных искажений в амплитуде волны K_1 за счет температурных наклонов постаментa для $\Psi = 2$ сек дуги дана ниже:

x	0	5	10	15	20	25	30
Δg	0,046	0,276	0,507	0,738	0,968	1,199	1,429
a	0,1	0,6	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1

Здесь x - точность выведения гравиметра в положение минимума чувствительности к наклону, в сек дуги; Δg - амплитуда искажений при наклонах гравиметра, рассчитанная с учетом выражения (4), в мкгл; a - отношение амплитуды искажений к амплитуде волны K_1 для "Красной Пахры", в процентах ($K_1 = 45,80$ мкгл).

Как видно, даже при тщательном выведении гравиметра на минимум чувствительности к наклону, когда $x = 0$, искажение волны K_1 составляет 0,046 мкгл, или 0,1%.

Таким образом, на гравиметрических станциях, постаменты которых заглублены на 1,5 м от поверхности Земли, в летние месяцы нельзя получать амплитуду волны K_1 с ошибкой менее 0,1%.

Как показано в [9], при чувствительности на выходе гравиметра 300 мм/мгл гравиметр можно вывести на минимум чувствительности к наклону с ошибкой $\pm 0,3$ сек дуги. Для этого необходимо гравиметр размещать на наклономерной плите, позволяющей наклонять его на углы 150–200 сек дуги с высокой точностью как в плоскости оси вращения, так и в плоскости колебаний маятника. Необходим ежедневный тщательный контроль положения уровней гравиметра, так как длиннопериодные температурные наклоны постамента могут за неделю изменить угол x на 10–15 сек дуги.

В принципе влияние суточных температурных наклонов можно практически полностью исключить из показаний гравиметра, если азимут наклона постоянный. Для этого необходимо иметь наклономерную плиту, позволяющую производить наклоны гравиметра в двух взаимно перпендикулярных азимутах. Наклономерами определяется азимут и величина наклона постамента. Гравиметр устанавливается таким образом, чтобы между азимутом наклона постамента и азимутом маятника угол был равен 45° . Тогда составляющие наклона в плоскости оси вращения и в плоскости колебаний маятника будут равны. С помощью наклономерной плиты задаются такие углы x в плоскости оси вращения и в плоскости колебаний маятника, чтобы равные наклоны в этих плоскостях давали одинаковые по величине и разные по знаку искажающие изменения силы тяжести. Тогда разностная амплитуда искажающих изменений силы тяжести будет очень мала. Поясним это следующим примером.

Пусть маятник отклонен от горизонтальной плоскости на $x_1 = 30$ сек дуги, ось вращения отклонена от горизонтальной плоскости на $x_2 = 28$ сек дуги и пусть суточные температурные наклоны в вертикальных плоскостях, проходящих через маятник и через ось вращения маятника, одинаковы и равны 2 сек дуги (рис. 6). Тогда маятник будет отклонен от горизонтальной плоскости на $x_3 = 28$ сек дуги, а ось вращения на $x_4 = 30$ сек дуги. Гравиметр покажет изменения силы тяжести из-за отклонения маятника и оси вращения на 2 сек дуги разные по знаку и одинаковые по величине (1,337 мкгл). Однако из-за квадратичной зависимости кажущегося изменения силы тяжести от угла наклона возникнет разностная кривая изменения силы тяжести незначительной величины с полусуточным периодом. Для описанного примера амплитуда разностной кривой будет равна 0,023 мкгл, или 0,05% от амплитуды волны K_1 (рис. 7).

Таким образом, даже в случае $x = 30$ сек дуги искажение уменьшено в 62 раза по сравнению со случаем, когда азимут наклона совпадает с азимутом оси вращения или с азимутом маятника. При мень-

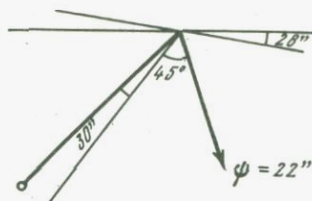


Рис. 6. Установка гравиметра в азимуте, исключающая влияние наклонов на его показания

Рис. 7. Амплитуды искажений в показаниях гравиметра за наклоны в 2 сек дуги в вертикальных плоскостях, проходящих через маятник и его оси вращения



ших углах x влияние суточных температурных наклонов постаментов практически можно полностью исключить.

Однако описанная методика исключения влияния суточных наклонов на показания гравиметра достаточно сложная, осуществима лишь при наличии наклономерной плиты, высокочувствительных наклономеров. Поэтому желательно приливные гравиметры размещать на такой глубине от поверхности Земли, где суточные температурные наклоны незначительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г. Гриднев, М.В. Крамер, Н.Н. Парийский. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре, определенные скользящим методом по 19-месячным наблюдениям двумя гравиметрами. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1967.
2. С.Н. Барсенков, В.А. Волков, М.В. Кузнецов, Н.Н. Парийский. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре II. - Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1970.
3. Ю.С. Доброхотов, А.Е. Островский, Б.П. Перцев. Гравиметрические и наклономерные станции для наблюдений земных приливов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
4. Д.Г. Гриднев. Исследования стационарного кварцевого гравиметра с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Изучение земных приливов". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1964.
5. Е.Ф. Саваренский, Д.П. Киринос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., ГИТТЛ, 1955.
6. Б.П. Перцев. Гармонический анализ упругих приливов. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 8.
7. Б.П. Перцев. Об учете сползания нуля при наблюдениях упругих приливов. - Изв. АН СССР, серия геофиз., 1959, № 4.
8. К.Е. Веселов. Кварцевые астазированные гравиметры. М., Гостоптехиздат, 1961.

9. Д. Г. Гриднев. Эталонирование гравиметров фирмы "Аскания" и определение масштаба записи приливных изменений силы тяжести наклоном. Температурные наклоны постаментов. - Сб. "Вращение и приливные деформации Земли", вып. 6. Киев, "Наукова думка", 1974.

Ю. Д. Буланже, Д. Г. Гриднев, В. И. Давыдов,
С. Г. Тененбаум, Б. В. Власов

КВАРЦЕВЫЙ НАКЛОНОМЕР НК-1

У нас в стране и во всех социалистических странах для регистрации приливных наклонов земной поверхности применяются наклономеры А.Е. Островского [1].

В 1973 г. в ОКБ ИФЗ АН СССР разработан кварцевый наклономер на целльнеровском подвесе с фотоэлектрической регистрацией и новым способом его эталонирования. В 1974 г. в ОКБ ИФЗ АН СССР изготовлен один комплект опытного образца кварцевого наклономера, получившего шифр НК-1. В качестве регистрирующего устройства используется регистр гравиметра СКГ [2].

Наклономер выполнен в герметичном корпусе и состоит из следующих основных узлов (рис. 1); кронштейна 5, основания 10, крышки 8, уплотняющего устройства 6, кварцевой чувствительной системы 16. На кронштейне 5 смонтирована чувствительная система 16, демпфирующее устройство 17, устройство эталонирования наклономера при помощи магнитной силы соленоидов 11 и 18 и фотоэлектрическое устройство 4, 7, 13, 14.

Принципиальная схема чувствительной системы дана на рис. 2.

Рамка чувствительной системы 6 размещена вертикально и закреплена в верхней своей части во втулке, жестко связанной с кронштейном. На маятнике по оси вращения закреплено зеркало 7 фотоэлектрического устройства. Масса маятника представляет собой плоскопараллельную пластинку, выполненную из титана и закрепленную на кварцевом рычаге вертикально. Диаметр кварцевых нитей подвеса маятника 0,04-0,05 мм. Фотоэлектрическое устройство состоит из осветителя 1, двух юстировочных зеркал 7, 13 (см. рис. 1), зеркала маятника 7, специального дифференциального фотоэлемента ДФЭ 2 и зеркального гальванометра регистрира 3 (см. рис. 2). Принцип действия фотоэлектрического устройства известен [1].

Устройство для эталонирования наклономера при помощи упругой силы пружины состоит из кварцевой пружины 10, микрометрического устройства 11 и пережима 5. Кварцевая пружина расположена горизонтально и перпендикулярно маятнику чувствительной системы. Один конец пружины жестко скреплен с нижней частью чувствительной системы, другой - со втулкой микрометрического устройства. Пережим расположен над верхней частью рамки чувствительной системы, что позволяет производить наклон рамки без ее дефор-

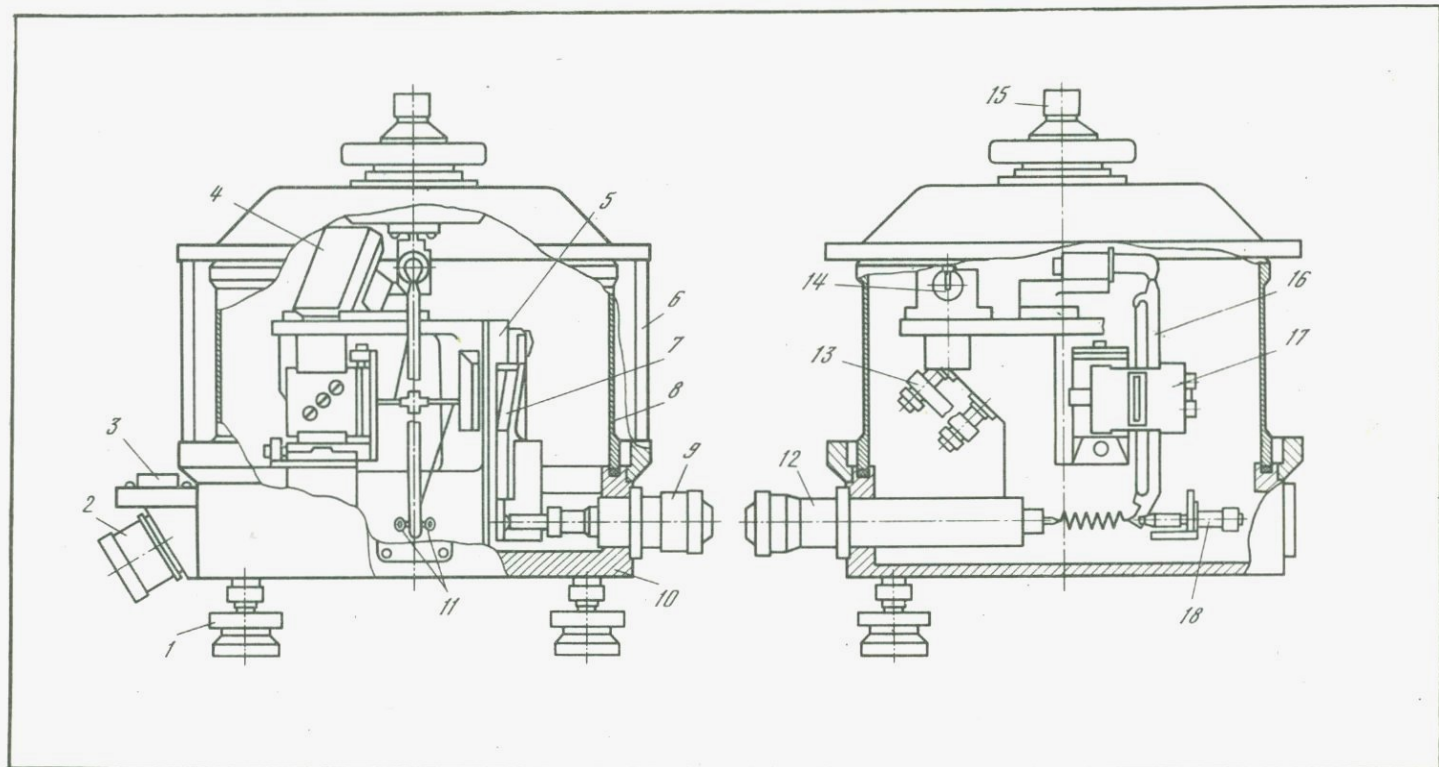


Рис. 1. Наклономер НК-1

мации. При растяжении пружины 10 происходит деформация в пережиме 5 и рамка наклоняется на угол, пропорциональный изменению отсчета по микрометрическому устройству 11. Максимальный наклон рамки чувствительной системы при помощи пружины не превосходит 1–2 сек дуги, что соответствует изменению отсчета по микрометрическому устройству на 1000 делений. Точность отсчета по микрометру 0,1 деления или 0,0001 – 0,002 сек дуги.

Устройство для эталонирования накломера при помощи электромагнитной силы соленоидов состоит из двух соленоидов 9, приваренных к нижней части рамки чувствительной системы симметрично относительно рамки и перпендикулярно маятнику двух сердечников 8, жестко скрепленных с кронштейном, пережима 5 и пульта управления соленоидами 4. При подаче тока в соленоиды сердечники стремятся сместиться внутрь соленоидов, но так как они жестко скреплены с кронштейном, то соленоиды смещаются в сторону сердечников, наклоняя рамку чувствительной системы при деформации в пережиме 5.

Демпфирующее устройство 17 (см.рис. 1) предназначено для "гашения" вынужденных колебаний маятника чувствительной системы. Конструкция демпфирующего устройства позволяет в широких пределах регулировать степень затухания колебаний маятника изменением зазора между массой маятника и рабочими поверхностями демпфирующих пластин. Демпфирующее устройство выполняет также роль арретира маятника чувствительной системы при транспортировании и хранении накломера.

Кронштейн 5 устанавливается на контрольные штифты основания 10 и крепится к основанию тремя винтами.

На основании 10 (см. рис. 1) размещаются: три регулировочных винта 1, уровень 3, два микрометрических устройства 9, 12, разъем 2. Регулировочные винты, имеющие цапговое стопорение положения, служат для приведения маятника в заданный азимут (винт дрейфа) и изменения периода собственных колебаний маятника (винт чувствительности).

Микрометрическое устройство 12, как было уже отмечено, предназначено для определения величины наклона рамки чувствительной системы. Микрометрическое устройство 9 служит для определения смещения рычага, жестко связанного с юстировочным зеркалом 7. Устройство 9 позволяет смещать световой блик лампы осветителя относительно дифференциального раздела фотоэлемента 4 с целью определения приведенной длины маятника, чувствительности накломера [3] и выведения светового блика в рабочее положение.

Шаг винта микрометрических устройств 0,5 мм, рабочий диапазон 10 мм, головка винта имеет 50 делений. В микрометрических устройствах применено шевронное уплотнение, обеспечивающее легкость вращения винтов и незначительное натекание воздуха во внутренних объемов накломера.

Крышка накломера 8 имеет универсальное запирающее устройство 15, позволяющее откачивать воздух из внутреннего объема

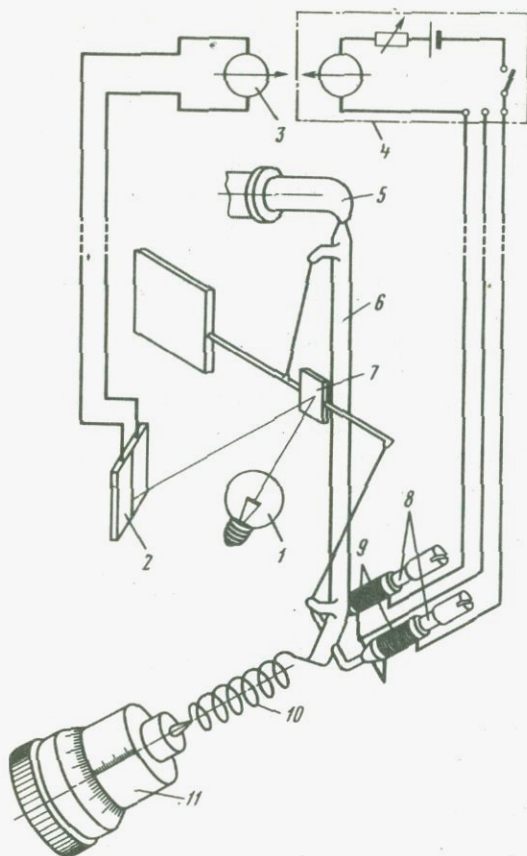


Рис. 2. Принципиальная схема чувствительной системы, фотоэлектрического устройства и устройств для эталонирования накломера

накломера, "запирать" его и "сбрасывать" вакуум в случае демонтажа. Уплотнение крышки с основанием 10 происходит через прокладку из вакуумной резины с помощью уплотняющего устройства 6.

Уплотняющее устройство 6 состоит из беличьего колеса, присоединяющегося резьбовым фланцем к основанию 10, и зажимного винта с рукояткой, создающего необходимое усилие в уплотняющем стыке.

Порядок установки накломера в рабочее положение. Регистр устанавливается по цилиндрическим уровням, расположенным на его корпусе таким образом, чтобы пузырьки уровней занимали среднее положение.

Гальванометры М17/9 и М25/12 дезарретируются. Регулятором "накал лампы" вводится полностью гасящее сопротивление. Регулятор "яркость метки" закорачивается тумблером "отметчик". Подается 6 в постоянного тока (или 220 в переменного тока) на клеммы "питание лампы". Тумблер переключения питания ставится в соответствующее положение. Тумблером "осветитель" включается питание лампы. Регулятором "накал лампы" устанавливается ток не более 150 ма (напряжение не более 2 в). Контроль тока и напряжения осуществляется при помощи миллиамперметра и вольтметра пульта управления питанием лампы. Выключается тумблер "отметчик", и регулятором "яркость метки" устанавливается ток в цепи лампы не более 100-120 ма.

На щель регистратора, служащую для передачи световых бликов зеркал гальванометров и нулевых линий в барабанную кассету регистратора, устанавливается шкала для юстировки световых бликов зеркал. При нормальной юстировке световые блики зеркал галь-

ванометров и нулевых линий должны быть видны на обеих шкалах: на установленной вместо кассеты шкале и на контрольной шкале, расположенной на крышке регистрира. Если блики не видны на какой-либо шкале или на обеих сразу, необходимо отъюстировать положение осветителя и юстировочных зеркал таким образом, чтобы световые блики были хорошо видны на обеих шкалах. Положение каждого блика задается отдельным юстировочным зеркалом, остальные блики при этом не смещаются.

Гальванометры во взаимно перпендикулярных азимутах выводятся на минимум чувствительности к наклону. Если несколько или все световые блики нечеткие, имеют "ореолы", необходимо добиться четкости изображения вращательным и поступательным движением лампы осветителя. К клеммам "датчик" термографа подключается чувствительное плечо термографа, размещенное в корпусе наклономера. На магазине сопротивлений Р-33 полностью вводятся декады чувствительности термографа ($\times 100$, $\times 1000$, $\times 10000$), на декадах балансировки моста сопротивлений ($\times 0,1$, $\times 1$, $\times 10$) устанавливается такое сопротивление, чтобы оно с учетом сопротивления чувствительного плеча (270 ом при 20°C) и температуры окружающей среды было равно 300 ом.

Термограф подключается к гальванометру типа М25/12 и подается напряжение 1,0–1,5 в постоянного тока с учетом полярности на клеммы питания термографа. Если световой блик гальванометра при этом отклоняется от своего нулевого положения, необходимо более точно сбалансировать мост сопротивлений термографа. Проверяется правильность подключения гальванометра термографа: если при увеличении сопротивления на декадах балансировки моста световой блик отклоняется вправо по шкале (увеличение отсчета), гальванометр подключен правильно. Требуемая чувствительность термографа задается изменением сопротивления декад чувствительности. Сменными шестернями задается требуемая скорость вращения барабана кассеты, заводится часовой механизм привода барабана кассеты и контактные часы марок времени. В качестве контактных часов используются часы АВРМ. Предусмотрено подключение внешнего датчика времени. Исследуется величина нелинейности шкалы гальванометров [4]. На этом подготовка регистрира к работе завершается.

Наклономер устанавливается на постаменте по круглому уровню. Крышка наклономера снимается, маятник дезарретируется. На выводы лампы фотоэлемента подается напряжение 1,0–1,5 в постоянного тока. Проверяется положение светового блика на юстировочных зеркалах и зеркале маятника. Световой блик должен быть расположен симметрично относительно кромок зеркал. Винтом чувствительности маятнику наклономера задается период 3–5 сек. Демпфером задается требуемая степень затухания. Винтом дрейфа световой блик выводится на линию раздела составляющих фотоэлемента. Если блик плохо сфокусирован и не параллелен линии раздела, необходимо вращательным и поступательным движениями лам-

пы сфокусировать блик и добиться его параллельности линии раздела фотоэлемента. Выводы фотоэлемента подключаются к гальванометру типа М17/9 регистрира.

Отклонение светового блика гальванометра в обе стороны от нулевого положения при смещении светового блика зеркала маятника в обе стороны от линии раздела составляющих фотоэлемента свидетельствует о наличии тока в обеих составляющих фотоэлемента, о его исправности. Гальванометр отключается от фотоэлемента. Винтом чувствительности увеличивается период маятника до 30–40 сек. Определяются два таких положения светового блика лампы фотоэлемента, при одном из которых с увеличением периода маятника блик отклоняется в одну сторону, а при другом – в другую на такую же величину.

Световой блик выводится в среднюю точку между этими положениями, что будет соответствовать приведению оси вращения маятника в вертикальную плоскость с очень высокой точностью (до нескольких миллисекунд дуги). После приведения оси вращения маятника в вертикальную плоскость задается минимально возможный период маятника. Так как при изготовлении чувствительной системы маятник приваривается к нитям подвеса в положении, перпендикулярном плечу винта дрейфа (перпендикулярном линии, соединяющей оси винта дрейфа и опорного), то маятник при минимальном периоде займет положение, перпендикулярное плечу винта дрейфа. При таком положении маятника в цепь фотоэлемента вновь подключается гальванометр регистрира и если при этом световой блик гальванометра отклоняется от нулевого положения, его приводят в нулевое положение при помощи микрометрического устройства 9. Записывается отсчет микрометрического устройства $9 S_0$.

Таким образом, если ток в цепи гальванометра равен нулю, а на микрометре 9 отсчет S_0 , то маятник перпендикулярен плечу винта дрейфа. Поэтому при установке наклономера в заданном азимуте важно знать отсчет S_0 . Затем маятнику наклономера задается период 3–5 сек и проверяется исправность устройств для эталонирования наклономера смещением кварцевой пружины и подачей тока в катушки соленоидов. Собственный период маятника может быть выше 100 сек. Однако рабочий период маятника при регистрации приливных наклонов 8–12 сек.

При напряжении на лампе фотоэлемента 1,0 в и периоде маятника 10 сек чувствительность на выходе наклономера – около 2000 мм/сек дуги.

Эталонирование наклономера при помощи упругой силы кварцевой пружины производится следующим образом. В лабораторных условиях наклономер размещается на хорошо выверенной наклономерной плите таким образом, чтобы маятник его был параллелен оси вращения плиты. В цепь фотоэлемента подключается гальванометр регистрира. Маятник наклономера выводится в такое положение, чтобы при отсчете S_0 по микрометру 9 ток в цепи гальванометра был равен нулю. Задается рабочий период маятнику наклономера (8–12 сек).

Изменением напряжения в цепи лампы фотоэлемента задается чувствительность наклономеру с таким расчетом, чтобы при наклоне плиты на 1 сек дуги световой блик следящего гальванометра смещался на 50-60 делений шкалы регистрира. Наклоном плиты световой блик гальванометра смещается на край шкалы регистрира, противоположный тому, к которому должен смещаться блик гальванометра при последующем отклонении маятника в сторону, противоположную кварцевой пружине. По шкале регистрира берется отсчет светового блика гальванометра S_1 , наклономерной плите задается наклон на угол α_1 , световой блик гальванометра при этом сместится по шкале на отсчет S_2 . Таким образом, наклону плиты на угла α_1 соответствует изменение отсчета светового блика гальванометра $S_2 - S_1 = \Delta S_1$. Для исключения дрейфа за счет влияния внешних факторов плита возвращается в исходное положение, т.е. на угол α_1 , при этом световой блик сместится на отсчет S_3 и изменение отсчета будет $S_2 - S_3 = \Delta S_2$. Отсюда можно определить цену деления шкалы регистрира в сек дуги

$$K_1 = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{2\alpha_1} = \frac{\Sigma \Delta S_{1,2}}{\Sigma \alpha} \text{ дел.шкалы/сек дуги.}$$

Берется отсчет по микрометру 12 пружины M_1 и задается смещение пружине до отсчета по микрометру M_2 . Рамка накломера наклоняется, а световой блик гальванометра сместится на отсчет S_4 по шкале регистрира. Таким образом, смещению пружины $M_2 - M_1 = \Delta M$ соответствует смещение светового блика гальванометра по шкале $S_4 - S_3 = \Delta S_3$. Для исключения дрейфа пружина возвращается в исходное положение, при этом берутся соответствующие отсчеты ΔM и $S_4 - S_5 = \Delta S_4$. Отсюда определяется цена деления шкалы регистрира в делениях микрометра 12

$$K_2 = \frac{\Delta S_3 + \Delta S_4}{2\Delta M} = \frac{\Sigma \Delta S_{3,4}}{\Sigma \Delta M} \text{ дел.шкалы/дел.микрометра.}$$

Отношение K_2 и K_1 дает цену деления микрометра кварцевой пружины в сек дуги

$$C_{II} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Sigma \Delta S_{3,4} \Sigma \alpha}{\Sigma \Delta S_{1,2} \Sigma \Delta M} \text{ сек дуги/дел.микрометра.}$$

Операция определения C_{II} повторяется многократно, и определяется C_{II} среднее.

Таким же образом эталонируется наклономер при помощи электромагнитной силы соленоидов. Цена электрического тока в цепи соленоидов (в сек дуги) определится из выражения

$$C_M = \frac{\Sigma \Delta S_{3,4} \Sigma \alpha}{\Sigma \Delta S_{1,2} \Sigma I} \text{ сек дуги/ма,}$$

где I - ток в цепи соленоидов, в ма.

Наклон рамки системы при помощи магнитной силы соленоидов мал, поэтому точность эталонирования может быть невысокой. В связи с этим эталонирование при помощи магнитной силы соленоидов следует проводить непосредственно в процессе наблюдений приливных наклонов, когда чувствительность наклономера на выходе (на шкале регистрира) очень высокая и равна обычно 1000-2000 мм/сек дуги. Тогда незначительный наклон рамки при помощи электромагнитной силы соленоидов дает значительные смещения светового блика гальванометра на шкале (на регистрограмме) регистрира.

Масштаб записи на регистрограмме (в мм/сек дуги) определяется при помощи упругой силы кварцевой пружины, цена деления микрометра которой хорошо известна. Определив масштаб записи при помощи пружины, легко проэталонировать эффект соленоида для различных значений тока в их цепи.

В таблице приводятся результаты определения цены деления микрометра кварцевой пружины (в сек дуги) наклономера. Эталонирование производилось на наклономерной плите, база которой равна 1 м, шаг микрометрического винта плиты 0,5 мм, головка винта имеет 100 делений, точность отсчета 0,1 сек дуги. Как видно из таблицы, точность определения цены деления микрометра пружины достаточно высокая. Среднеквадратическая ошибка составляет всего 0,1%. Однако столь малая ошибка в какой-то мере случайна, так как ошибка отсчета угла наклона плиты достигала 2-3%.

В Обнинске получена 3-месячная серия непрерывных наблюдений приливных наклонов. Результаты гармонического анализа наблюдаемого ряда дали значения фактора γ по всем приливному волнам, близкие осредненным значениям γ для европейской части СССР, полученным при помощи наклономера А.Е.Островского [5].

Для исследования воздействия атмосферного давления непосредственно на конструкцию наклономера он выполнен в герметичном корпусе. Исследования показали, что герметичные наклонометры име-

Таблица

Результаты эталонирования наклономера

$\Sigma \Delta S_{1,2}$, дел. шкалы	Σa , сек дуги	K_1 , <u>дел. шкалы</u> сек дуги	$\Sigma \Delta S_{3,4}$, дел. шкалы	$\Sigma \Delta M$, дел. микро- метра	K_2 , дел. <u>шкалы</u> дел. микро- метра	$C_{\text{п}} = \frac{K_2}{K_1}$, <u>сек дуги</u> дел. микро- метра
223,6	3,6	62,1	118,8	2000	0,0594	0,000958
250,0	4,0	62,5	120,0	2000	0,0600	0,000960
235,6	3,8	62,0	119,2	2000	0,0596	0,000961
210,2	3,4	61,8	118,2	2000	0,0591	0,000956
248,0	4,0	62,0	118,8	2000	0,0594	0,000958

$$C_{\text{ср}} = 0,000959 \pm 0,0000009 (\pm 0,1\%)$$

ют значительные барометрические коэффициенты — от 4 до 10 мсек дуги на 1 мбар [6]. В периоды резких изменений атмосферного давления на 10–15 мбар искажения в показаниях наклономеров в несколько раз больше амплитуды приливной волны. Разгерметизированные кварцевые наклонометры в периоды резких изменений атмосферного давления регистрируют приливные наклоны значительно лучше, на приливной кривой практически не заметно влияния изменения атмосферного давления. При помощи микрометра юстировочного зеркала была определена приведенная длина маятника наклономера. Точность определения приведенной длины маятника при помощи микрометра юстировочного зеркала в несколько раз выше точности определения приведенной длины по способу горизонтального маятника [3, 7].

При исследовании наклономера выявлен ряд недостатков в его конструкции. При последующей доработке они будут устранены. Наклономер будет изготавливаться в негерметичном корпусе. Будут введены конструктивные изменения в юстировочные узлы оптической схемы. Это позволит значительно упростить конструкцию наклономера. Будет введено устройство дистанционного управления наклономером.

В заключение выражаем глубокую признательность члену-корреспонденту АН СССР Н.Н.Парийскому за участие в детальном обсуждении технического задания на проектирование наклономера и Б.Т. Воробьеву за постоянный контроль над разработкой и изготовлением наклономера.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Е. Островский, Наклономер с фотоэлектрической регистрацией. — Сб. "Изучение земных приливов", № 2. М., Изд-во АН СССР, 1961.
2. Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр. — Наст. сб., стр. 113.
3. Д.Г. Гриднев. Способ определения приведенной длины и чувствительности горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации. — Наст. сб., стр. 158.
4. Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Наблюдения приливных изменений силы тяжести кварцевым стационарным гравиметром в Красной Паже в 1965–1966 гг. — Сб. "Методика измерения земных приливов и медленных деформаций земной поверхности". М., "Наука", 1970.
5. Д.Г. Гриднев, С.Н. Барсенков, Ф.П. Гусева. Наблюдения приливных наклонов в Обнинске макетом кварцевого наклономера. — Наст. сб., стр. 70.
6. Д.Г. Гриднев, Ф.П. Гусева. О влиянии атмосферного давления на показания кварцевых наклономеров. — Наст. сб., стр. 163.
7. Е.В. Саваренский, Д.П. Кирнос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., ГИТЛ, 1955.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОЙ ДЛИНЫ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МАЯТНИКА С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Определение приведенной длины горизонтального маятника имеет существенное значение при оценке коэффициента увеличения в случае оптической и фотоэлектрической регистрации.

Существуют следующие способы определения приведенной длины маятника: теоретический расчет, "способ вертикального маятника" и "способ горизонтального маятника" [1]. Для теоретического расчета приведенной длины маятника l необходимо знать общий момент инерции маятника относительно его оси, который трудно теоретически определить. При определении l способом вертикального маятника ось вращения маятника размещается горизонтально. Однако для основных типов конструкций горизонтальных маятников размещение оси вращения в горизонтальной плоскости невозможно. Поэтому определение l производится обычно "способом горизонтального маятника", при котором пользуются выражением [1]

$$l = \frac{g}{4\pi^2} \frac{T_1^2 T_2^2}{T_2^2 - T_1^2} (i_1 - i_2), \quad (1)$$

где g - ускорение силы тяжести для данного пункта; T_1, T_2 - периоды собственных колебаний маятника для углов наклона оси вращения маятника относительно вертикали i_1 и i_2 соответственно.

Автор предлагает способ определения l с помощью микрометрического устройства, позволяющего производить точный замер смещения светового блика зеркала маятника в плоскости приемника при наклоне основания маятника в плоскости, перпендикулярной плечу маятника.

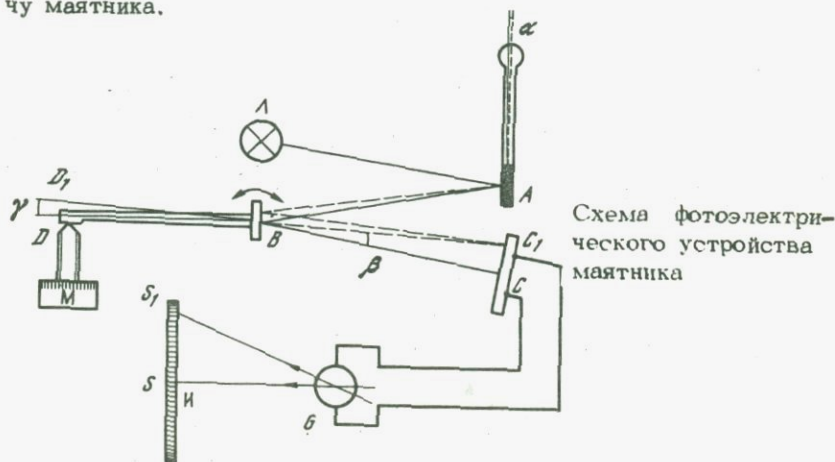


Схема фотоэлектрического устройства маятника

Поясним способ определения l для случая горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации его показаний. На рисунке изображена фотоэлектрическая система маятника. Световой поток лампы осветителя L , отражаясь последовательно от зеркала маятника A , поворотного зеркала B , падает на делительную грань дифференциального фотоэлемента C . В цепь фотоэлемента включен гальванометр G с индикаторной шкалой I . Поворотное зеркало B снабжено рычагом D , смещение которого обеспечивается микрометрическим винтом M .

Пусть в начальный момент световой поток находится в точке C фотоэлемента, при этом отсчет по индикаторной шкале гальванометра равен S .

При наклоне основания маятника в плоскости, перпендикулярной плечу маятника, на угол Ψ маятник отклонится на угол α , и световой поток сместится по фотоэлементу в точку C_1 . При этом индикаторный блик гальванометра сместится в точку S_1 шкалы.

Величина смещения светового блика по фотоэлементу будет равна [1]

$$CC_1 = \frac{2(AB + BC)g}{ln^2} \Psi, \quad (2)$$

где $AB + BC$ — оптическое плечо маятника;

$$n = \frac{2\pi}{T}, \quad CC_1 = BC \operatorname{tg} \beta,$$

тогда

$$\frac{2(AB + BC)g}{ln^2} \Psi = BC \operatorname{tg} \beta. \quad (3)$$

Сместим световой поток по фотоэлементу при помощи поворотного зеркала в исходное положение, при этом отсчет по индикаторной шкале гальванометра должен сместиться в точку S . Микрометрический винт сместится из точки D в точку D_1 , поворотное зеркало развернется на угол γ

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD}.$$

Очевидно,

$$\beta = 2\gamma = 2 \operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD}. \quad (4)$$

С учетом (4) выражение (3) запишется в виде

$$\frac{2(AB + BC)g}{ln^2} \Psi = BC \operatorname{tg} \left(2 \operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD} \right). \quad (5)$$

Обозначим: $AB = a$, $BC = b$, $BD = c$, $DD_1 = \Delta S$, и учитывая, что β не превосходит 1° , перепишем выражение (5)

$$\frac{(a+b)g}{ln^2} \Psi = b \frac{\Delta S}{c},$$

откуда

$$l = \frac{c(a+b)g}{b\Delta S n^2} \Psi, \quad (6)$$

или

$$l = A \frac{T^2 \Psi}{\Delta S}, \quad (7)$$

где

$$A = c(a+b)g / 4\pi^2 b.$$

Вычисление l по формуле (7) проще вычислений l по формуле (1).

В таблице приводятся результаты определения l "способом горизонтального маятника" (I) и предложенным способом (II).

Точность определения T_1 , T_2 и T одинакова. Определение углов Δi и Ψ производится на одной и той же наклонной плите. Точность отсчета по микрометренному винту плиты 0,1 сек дуги.

Ошибка определения Δi составляет 0,05–0,1%, а ошибка определения Ψ – 0,25 – 0,4%. Однако, как видно из таблицы, точность определения l по формуле (7) выше, чем точность определения l по формуле (1).

Таким образом, введение в конструкцию горизонтального маятника поворотного зеркала с микрометренным отсчетным устройством позволяет легко определять l .

Вторая, не менее важная задача, которую можно решать с помощью поворотного зеркала, – определение чувствительности горизонтального маятника как с оптической, так и с фотоэлектрической системой регистрации.

Таблица

I				II			
T_1 , сек	T_2 , сек	Δi , рад	l , см	T , сек	Ψ , рад	ΔS , см	l , см
3,98	4,24	0,0010	3,30	2,92	0,000125	0,0387	3,93
3,98	4,20	0,0010	3,86	2,92	0,000125	0,0388	3,92
7,00	7,52	0,0005	4,44	2,92	0,000200	0,0594	4,04
6,52	7,00	0,0005	3,86	2,92	0,000200	0,0596	4,03
$l_{cp} \ 3,86 \pm 0,20$				$l_{cp} \ 3,98 \pm 0,03$			

Зная период и приведенную длину маятника, можно определить величину $\sin(i + \epsilon)$ из выражения [2]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin(i + \epsilon)}}, \quad (8)$$

где ϵ — угол, величина которого зависит от качества нитей подвеса;

$$\sin(i + \epsilon) = \frac{4\pi^2 l}{T^2 g}. \quad (9)$$

Смещение светового блика зеркала маятника в плоскости приемника равно

$$y = 2(a+b)\Theta,$$

где Θ — угол поворота маятника при наклоне его основания на угол Ψ . $\Theta = \Psi / \sin(i + \epsilon)$, или вследствие незначительной величины угла $i + \epsilon$ можно написать

$$\Theta = \Psi / (i + \epsilon),$$

где $1/(i + \epsilon)$ — коэффициент увеличения маятника [2].

Таким образом, мы можем рассчитать величину смещения светового блика зеркала маятника в плоскости приемника y_0 при наклоне основания маятника, например, на 1 сек дуги

$$y_0 = \frac{2(a+b)0,000005}{i + \epsilon} = \frac{(a+b)10^{-5}}{i + \epsilon} \text{ мм/сек дуги}, \quad (10)$$

обозначим

$$y_0 = b \operatorname{tg} \beta_0. \quad (11)$$

Для того чтобы сместить световой блик зеркала маятника в плоскости приемника на y_0 при помощи поворотного зеркала, необходимо поворотное зеркало развернуть на угол $\beta_0/2$.

Для того чтобы развернуть поворотное зеркало на $\beta_0/2$, необходимо микрометрическому винту отсчетного устройства задать смещение

$$\Delta S_0 = \operatorname{ctg} \frac{\beta_0}{2}. \quad (12)$$

Формулу (12) с учетом выражений (9) — (11) можно записать в виде

$$\Delta S_0 = \operatorname{ctg} \left[\operatorname{arctg} \frac{T^2 g (a+b) 10^{-5}}{4\pi^2 l b} / 2 \right]. \quad (13)$$

Выражение (13) определяет цену наклона основания маятника на 1 сек дуги в делениях микрометричного отсчетного устройства.

В случае фотоэлектрической системы регистрации, задавая "сдвиг" микрометричному отсчетному устройству на ΔS делений и получая соответствующее смещение записи на регистрограмме на m мм, можно определить калибровочный коэффициент K

$$K = \frac{m}{\Delta S} \text{ мм/дел} \quad (14)$$

или переводной коэффициент масштаба записи K_1

$$K_1 = \frac{m\Delta S_0}{\Delta S} \text{ мм/сек дуги}, \quad (15)$$

или

$$K_2 = \frac{\Delta S}{m\Delta S_0} \text{ сек дуги/мм}, \quad (16)$$

Учитывая, что угол β_0 мал, выражение для ΔS_0 можно записать в виде

$$\Delta S_0 = \frac{cg(a+b)10^{-5}}{8\pi^2 bl} T^2, \quad (17)$$

или

$$\Delta S_0 = BT^2, \quad (18)$$

где $B = cg(a+b)10^{-5}/8\pi^2 bl$

С помощью поворотного зеркала можно определить коэффициент фотоэлектрического увеличения K_ϕ

$$K_\phi = \frac{K_1}{y_0}. \quad (19)$$

Помимо этого поворотное зеркало позволяет контролировать стабильность чувствительности фотоэлектрического устройства.

Таким образом, некоторое усложнение конструкции горизонтального маятника за счет поворотного зеркала с микрометричным отсчетным устройством является вполне оправданным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.Ф.Саваренский, Д.П.Киринос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., ГИТТЛ, 1955.
2. П.Мельхиор. Земные приливы. М., "Мир", 1968.

О ВЛИЯНИИ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОКАЗАНИЯ КВАРЦЕВЫХ НАКЛОНОМЕРОВ

Одна из существенных задач, которую необходимо было решить при исследовании опытных образцов кварцевого наклономера, — определение влияния атмосферного давления на его показания. С этой целью как в макете, так и в опытном образце было предусмотрено герметизирование корпуса [1]. Это позволяло выявить воздействие изменения атмосферного давления на конструкцию наклономера.

Определение барометрических коэффициентов наклономеров проводилось статистическим и динамическим способом. Квадратичные и динамические члены барометрических коэффициентов при динамическом способе не определялись. При статическом способе определения барометрических коэффициентов исследованию подвергались два макета (№ 1, 2) и два опытных образца наклономера (НК-1 № 1 и 2).

Исследуемый наклономер устанавливался на наклономерной плите таким образом, чтобы азимут рычага маятника был параллелен азимуту оси вращения плиты. Точность отсчета по микрометренному винту плиты 0,1 сек дуги. В цепь фотоэлемента наклономера подключался индикаторный гальванометр типа М195/2 с чувствительностью по току 10^{-9} а/дел шкалы гальванометра. Кран запирающего устройства наклономера соединялся шлангом из вакуумной резины с вакуумным насосом Камовского. Наклономеру задавалась чувствительность порядка 50 дел. шкалы гальванометра на 1 сек дуги. Точность отсчета по шкале гальванометра 0,5 дел, что на порядок выше точности отсчета по винту наклономерной плиты.

Производился отсчет положения светового блика на шкале гальванометра S_1 и микрометренного винта плиты S_2 при нормальном атмосферном давлении. Затем давление во внутреннем объеме наклономера доводилось до 1 мбар. При этом световой блик гальванометра уходил за пределы шкалы. Наклоном плиты он выводился приблизительно к начальному отсчету, брался отсчет светового блика S_3 и микрометренного винта плиты S_4 . Вводилась поправка в разность отсчетов по микрометренному винту плиты $S_2 - S_4$ за разность отсчетов светового блика $S_1 - S_3$. Отношение исправленной разности отсчетов по микрометренному винту плиты ΔS (в мсек дуги) к разности давлению во внутреннем объеме наклономера ΔP (в мбар) давало статический барометрический коэффициент наклономера

$$K_p = \frac{\Delta S}{\Delta P} \text{ мсек дуги/мбар.}$$

Результаты определения барометрических коэффициентов приводятся в таблице.

Таблица

K_p , мсек/мбар			
№ 1	№ 2	НК-1 № 1	НК-1 № 2
6,1	-13,0	14,9	5,8
6,3	-12,5	14,9	5,6
6,0	-12,8	15,3	5,9
6,4	-13,3	14,7	5,7
6,2	-13,1	15,0	5,8
Среднее $6,2 \pm 0,02$	$-12,9 \pm 0,14$	$15,0 \pm 0,10$	$5,8 \pm 0,04$

Как видно из таблицы, барометрические коэффициенты герметизированных наклономеров значительны. Конструкции наклономеров № 1 и 2 и НК-1 № 1 и 2 аналогичны. Однако их барометрические коэффициенты различаются более чем в 2 раза. При этом коэффициенты наклономеров № 1 и 2 разных знаков. Это, по-видимому, следует объяснить различием в качестве крепления несущего кронштейна к основанию наклономера, а также различием в качестве металла самих оснований и их изготовления.

Исследование наклономеров при столь резких перепадах давления дает возможность сделать заключение о несовершенстве конструкции герметизированного кварцевого наклономера. Однако барометрические коэффициенты наклономеров, полученные при перепадах давления в 1000 мбар, могут существенно отличаться от барометрических коэффициентов при перепадах атмосферного давления в 10-15 мбар. Поэтому определение барометрических коэффициентов наклономеров было проведено и при нормальных изменениях атмосферного давления динамическим способом.

С этой целью наклономеры № 1, 2 и НК-1 № 1 были установлены в штольне центральной сейсмической обсерватории "Обнинск" ИФЗ АН СССР. Наклономеры № 1 и НК-1 № 1 были размещены в камере 8, а наклономер № 2 - в камере 2 в азимуте С-Ю. Показания наклономеров регистрировались регистрирами гравиметра СКГ [2], размещенными в наземном помещении, в 200 м от штольни. Чувствительность наклономера № 1 была 1000 мм/сек дуги, № 2 - 500 и НК-1 № 1 - 1200 мм/сек дуги.

Регистрация атмосферного давления осуществлялась при помощи анероидного барографа типа М22. Ошибка в показаниях этого барографа может достигать 2 мбар [3]. В период определения барометрических коэффициентов наклономеров атмосферное давление изменялось в пределах 17 мбар. Таким образом, ошибка определения барометрических коэффициентов за счет барографа могла составить 12%.

На рис. 1 приведены кривые показаний наклономеров и барографа за период с 6 ч 8.IV до 6 ч 13.IV 1974 г., которые явно свидетельствуют о влиянии изменений атмосферного давления на герметизированные кварцевые наклонометры. Показания наклономеров № 1 и НК-1 № 1 в фазе, а показания наклономера № 2 в противофазе показаниям барографа. По значительным изменениям давления в периоды: с 6 ч 8.IV до 6 ч 9.IV, с 9 ч 9.IV до 6 ч 10.IV, с 0 ч 11.IV до 6 ч 12.IV и с 6 ч 12.IV до 0 ч 13.IV были определены статические барометрические коэффициенты наклономеров, которые приводятся ниже:

Наклономер	$K_p, \text{мсек/мбар}$
№ 1	4,4
№ 2	-9,3
НК-1 № 1	10,6

Из этого следует, что барометрические коэффициенты наклономеров получены с теми же знаками, что и при изменении давления на 1000 мбар. Однако коэффициенты, полученные при незначительных периодах давления, оказались на 25-30% меньше коэффициентов, полученных при перепадах давления в 1000 мбар. По-видимому, с увеличением перепада давления увеличивается относительная деформация герметизированного наклономера.

Для того чтобы изменения атмосферного давления не влияли на показания наклономера, необходимо увеличить толщину основания в несколько раз. Однако увеличение толщины основания приведет к значительному увеличению веса наклономера, что вызовет определенные трудности при его транспортировании.

Оценим влияние атмосферного давления на показания полностью, разгерметизированного наклономера. Средняя плотность маятника

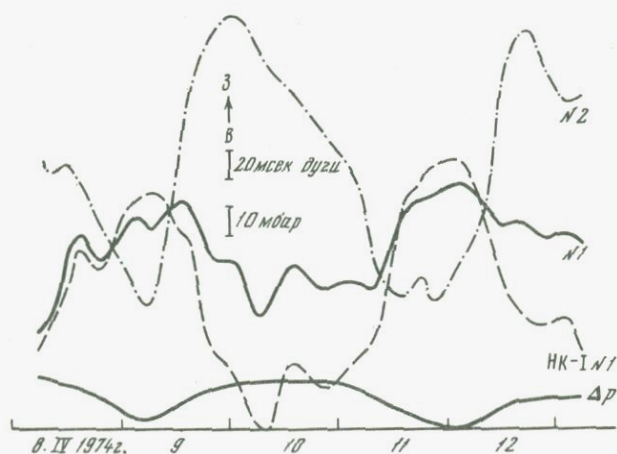


Рис. 1. Показания герметизированных наклономеров и барографа

наклономера порядка 4 г/см^3 . Если суточные колебания атмосферного давления будут 10 мбар , то и тогда вес маятника будет изменяться всего лишь на $3 \cdot 10^{-5}$. При изготовлении чувствительной системы наклономера нити подвеса маятника привариваются таким образом, чтобы они были полностью раскручены при рабочем положении маятника. Предположим, что при изготовлении чувствительной системы была допущена ошибка и нити при рабочем положении маятника закручены на 5° (что мало вероятно). Тогда при изменении веса маятника на $3 \cdot 10^{-5}$ он развернется на $0,06 \text{ сек дуги}$. Регистрация приливных наклонов кварцевым наклономером ведется при собственном периоде маятника 10 сек . Если приведенная длина маятника 50 мм , то наклон основания наклономера на 1 сек дуги приведет к отклонению маятника на 500 сек дуги [4]. А поворот маятника на $0,06 \text{ сек дуги}$ будет соответствовать наклону основания наклономера всего лишь на $0,12 \text{ мсек дуги}$.

Таким образом, искажения в показаниях наклономера даже при изменении давления на 10 мбар и угле закручивания нитей подвеса маятника 5° не может быть более $0,12 \text{ мсек дуги}$, что составляет $0,5\%$ от амплитуды приливного наклона. Поэтому влиянием изменения атмосферного давления непосредственно на маятник можно пренебречь. Однако при разгерметизации наклономера его необходимо снабжать устройствами, предохраняющими от проникновения влаги внутрь прибора. При этом следует учитывать возможное воздействие вихревых токов воздуха на маятник прибора при изменениях атмосферного давления. Представляется интересной защита наклономера тонкостенным герметизированным колпаком, который позволил бы сохранять практически неизменным давление во внутреннем пространстве и одновременно предохранил бы наклומר от воздействия влаги. Такой опыт планируется провести после введения в конструкцию наклономера устройства для телеуправления.

Для исследования влияния атмосферного давления на негерметизированные наклонометры установленные в штольне наклонометры были разгерметизированы.

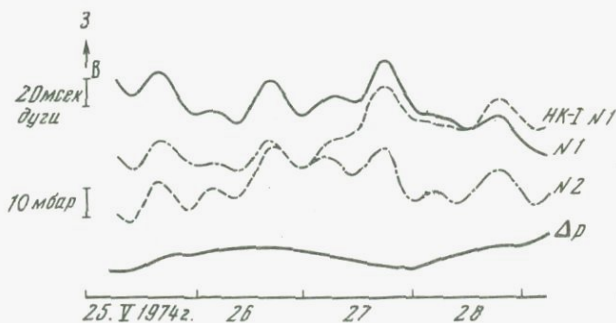


Рис. 2. Показания разгерметизированных наклономеров и барографа

На рис. 2 приведены кривые показаний наклономеров и барографа за период с 6 ч 25.V до 6 ч 29.V 1974 г. Перепады атмосферного давления за этот период были того же порядка, что и в опыте с герметизированными наклономерами, однако их влияние на показания наклономеров мало заметно. Все наклономеры пишут приливные наклоны. У герметизированного наклономера № 2 фон помех был настолько большим, что выделить приливную кривую было невозможно. После разгерметизации наклономера № 2 качество его записи резко повысилось.

Значительный дрейф наклономеров, по-видимому, вызван механическим воздействием на них во время разгерметизации.

Отказ от герметизации наклономеров НК-1 позволит значительно упростить их конструкцию.

В заключение пользуемся случаем выразить свою признательность Т.И. Андроновой за помощь при проведении наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Д. Буланже, Д.Г. Гриднев, В.И. Давыдов и др. Кварцевый наклонномер НК-1. - *Наст. сб.*, стр. 149.
2. Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр. - *Наст. сб.*, стр. 113.
3. Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Макет фотоэлектрического кварцевого барографа. - *Наст. сб.*, стр. 168.
4. Е.Ф. Саваренский, Д.П. Кирнос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., ГИТЛ, 1955.

Д. Г. Гриднев, Г. С. Прохоровский

МАКЕТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КВАРЦЕВОГО БАРОГРАФА

Для исследования влияния окружающей среды на показания высокочувствительных приборов необходимо иметь столь же чувствительные приборы для регистрации изменений в окружающей среде. Наибольший интерес представляют исследования зависимости показаний приборов от температуры и атмосферного давления.

Применяемые в настоящее время барографы анероидного типа М22 обладают малой чувствительностью 0,75 мм/мбар и невысокой точностью. Из-за трения между пером и барограммой ошибки в показаниях барографа могут достигать ± 2 мбар. Различие в скорости развертки регистрограмм барографа и исследуемого прибора создает определенную трудность при анализе влияния изменения атмосферного давления на показания исследуемого прибора. Поэтому желательно показания барографа регистрировать на регистрограмме исследуемого прибора.

Д.Г. Гридневым была разработана и изготовлена кварцевая чувствительная система барографа с фотоэлектрическим способом регистрации показаний. На рис. 1 показана принципиальная схема барографа. В рамке чувствительной системы 1 на незакрученных для исходного атмосферного давления горизонтально расположенных нитях 3 подвешено зеркало 7 с коромыслом 4, на одном конце коромысла приварен полый герметизированный кварцевый шар 13, на другом — закреплена резьбовая латунная втулка 5 со свинцовыми гайками 6. Рамка чувствительной системы при помощи горизонтально расположенных нитей 2 подвешена на монтажной рамке 14, жестко связанной с корпусом прибора. Рамка чувствительной системы при помощи рычага 12 связана с измерительной пружиной 9 и отсчетным микрометренным устройством 10. Все элементы чувствительной системы барографа за исключением втулки 5, гаек 6 и отсчетного устройства 10 выполнены из плавленного кварца.

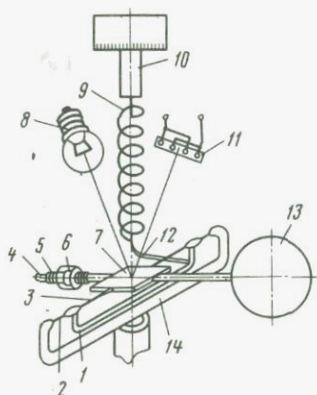


Рис. 1. Схема фотоэлектрического кварцевого барографа

Чувствительная система барографа размещена в защитном металлическом стакане. Здесь же смонтированы лампа фотоэлемента 8 и дифференциальный кремневый фотоэлемент 11.

Барограф снабжен электрическим термостатом. Температура термостатирования 25°C .

Принцип работы термостата и фотоэлектрического устройства известен [1]. В цепь фотоэлементов барографа подключается гальванометр М17/9 (М25/12) регистрира СКГ [1]. Монтаж рамки 1, рычага 12 и пружины 9 выполнен таким образом, чтобы их объемные моменты относительно оси вращения коромысла 4 были равны нулю.

Для вывода основного уравнения равновесия чувствительной системы и ее угловой чувствительности введем следующие обозначения:

V_1 — объем груза; V_2 — объем пустотелого герметичного шара; σ_0 — плотность воздуха при горизонтальном положении коромысла и незакрученных нитях подвеса коромысла; σ_1 — средняя плотность груза; σ_2 — средняя плотность шара; $\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma$; a — расстояние

от оси вращения коромысла до центра объема груза и объема шара; a – отклонение коромысла от горизонтального положения вследствие изменения плотности воздуха на $\Delta\sigma$; τ – постоянная кручения нитей подвеса коромысла.

При горизонтальном положении коромысла основное уравнение равновесия можно записать в следующем виде:

$$[(\sigma_1 - \sigma_0)V_1 - (\sigma_2 - \sigma_0)V_2]a = 0. \quad (1)$$

При изменении плотности воздуха уравнение равновесия примет вид

$$[(\sigma_1 - \sigma)V_1 - (\sigma_2 - \sigma)V_2]a \cos a = \tau a. \quad (2)$$

Продифференцируем выражение (2) по a и σ

$$-[(\sigma_1 - \sigma)V_1 - (\sigma_2 - \sigma)V_2]a \sin a da - V_1 a \cos a d\sigma + V_2 a \cos a d\sigma = \tau da. \quad (3)$$

Учитывая, что

$$[(\sigma_1 - \sigma)V_1 - (\sigma_2 - \sigma)V_2]a = \frac{\tau a}{\cos a},$$

можно уравнение (3) представить в виде

$$(V_2 - V_1)a \cos a d\sigma = \tau(1 + a \operatorname{tg} a) da, \quad (4)$$

откуда угловая чувствительность системы к изменению плотности воздуха будет равна

$$\frac{da}{d\sigma} = \frac{(V_2 - V_1)a \cos a}{\tau(1 + a \operatorname{tg} a)}. \quad (5)$$

Если расстояния от оси вращения коромысла до центра объема груза и шара различны и соответственно равны a и b , то выражение для угловой чувствительности запишется в виде

$$\frac{da}{d\sigma} = \frac{(V_2 b - V_1 a) \cos a}{\tau(1 + a \operatorname{tg} a)}. \quad (6)$$

Таким образом, угловая чувствительность системы прямо пропорциональна разности объемных моментов шара и груза и обратно пропорциональна жесткости нитей подвеса коромысла. Угловая чувствительность системы уменьшается с увеличением угла a .

При $a = 0$

$$\frac{da}{d\sigma} = \frac{V_2 b - V_1 a}{\tau}. \quad (7)$$

При горизонтальном положении коромысла чувствительная система барографа линейна. В разработанном фотоэлектрическом барографе отклонение коромысла от горизонтального положения не должно пре-

вышать $0,5^{\circ}$, так как в противном случае световой поток лампы фотоэлемента полностью переходит на одну из составляющих фотоэлемента и регистрация изменений атмосферного давления становится невозможной.

При углах отклонения коромысла от горизонтального положения, не превышающих $0,5^{\circ}$, нелинейность чувствительной системы менее $0,01\%$. Дрейф нуля чувствительной системы практически отсутствует. Исследования упругих кварцевых систем крутильного типа, размещенных в воздухе, показали, что их дрейф прямо пропорционален углу закручивания нитей подвеса маятника и обратно пропорционален длине этих нитей [2]. В разработанном барографе максимальный угол закручивания нитей подвеса коромысла не превышает $0,2^{\circ}$ при изменении атмосферного давления на 100 мбар. Длина нитей подвеса 10 мм. Поэтому максимальный дрейф нуля чувствительной системы (при отклонении коромысла на $0,2^{\circ}$) не может быть больше $2 \cdot 10^{-6}$ мбар/сут. [2].

При изготовлении чувствительной системы барографа монтаж нитей подвеса, рамки и измерительной пружины производится таким образом, чтобы при нормальном атмосферном давлении коромысло было расположено горизонтально, а нити подвеса раскручены. Поэтому дрейф барографа за счет чувствительной системы будет знакопеременным, а его интегральная величина будет стремиться к нулю.

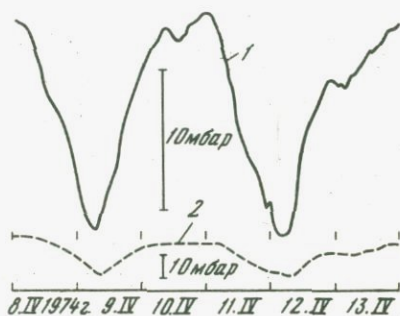
Параметры нитей подвеса рамки чувствительной системы и измерительной пружины можно рассчитать таким образом, чтобы их суммарный дрейф был равен нулю [2].

Дрейф нуля барографа может быть за счет неравномерного старения составляющих дифференциального фотоэлемента, лампы фотоэлемента, коррозии металлического груза, изменения напряжения в цепи лампы фотоэлемента, а также за счет наклона постаментов, если чувствительная система барографа не достаточно тщательно отъюстирована при изготовлении и имеет момент силы тяжести в какой-либо плоскости относительно оси вращения коромысла. Однако многолетний опыт работы с приливными гравиметрами фирмы "Аскания" показывает, что суммарный дрейф за счет перечисленных источников дрейфа не может быть более 10^{-5} от исследуемой величины за год.

Таким образом, при нормальной работе всех узлов барографа дрейф нуля составит не более $0,01$ мбар/год. Шаг микрометричного винта отсчетного устройства $0,5$ мм. На головку винта нанесено 100 делений. Максимальное смещение винта 10 мм. Точность отсчета $0,1$ деления. Таким образом, на микрометричном устройстве можно взять отсчет с точностью $5 \cdot 10^{-5}$ от измеряемой пружинной величины атмосферного давления. Если диапазон измерения с помощью пружины равен 100 мбар, то точность отсчета будет $5 \cdot 10^{-3}$ мбар. Микрометричное отсчетное устройство может обеспечить высокую точность отсчета. Чувствительность барографа на выходе может достигать 10^4 мм/мбар. Поэтому разработанный барограф может использоваться и как микробарограф.

На рис. 2 приведены кривые изменения атмосферного давления на гравиметрической станции "Красная Пахра" ИФЗ АН СССР, записанные нашим кварцевым барографом с фотоэлектрической регистрацией и anerоидным барографом. Регистрация кварцевым барографом проводилась при его минимальной чувствительности 5 мм/мбар. В течение суток с 5 ч 10.IV до 5 ч 11.IV anerоидный барограф показывал постоянное атмосферное давление.

Рис. 2. Образец записи изменений атмосферного давления кварцевым (1) и anerоидным (2) барографами



Показания кварцевого барографа свидетельствуют о том, что в этот период вариации атмосферного давления достигали 2 мбар. Anerоидный барограф имеет очень большое инструментальное запаздывание фазы наблюдаемой волны атмосферного давления. Даже при значительных колебаниях давления экстремальные точки в показаниях anerоидного барографа наступают на 2-3 ч позже экстремальных точек в показаниях кварцевого барографа. Инструментальное запаздывание кварцевого барографа составляет $0,12^{\circ}$ для полусуточных волн и $0,06^{\circ}$ для суточных, т.е. инструментальное запаздывание показаний кварцевого барографа не превосходит 15 сек [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр. - Наст. сб., стр. 113.
2. Д.Г. Гриднев. Чувствительные системы гравиметров. - Наст. сб., стр. 123.
3. Д.Г. Гриднев. Регистрация приливных изменений ускорения силы тяжести в Красной Пахре стационарным кварцевым гравиметром с фотоэлектрической записью показаний. - Сб. "Земные приливы и внутреннее строение Земли". Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1967.
4. Е.Ф. Саваренский, Д.П. Кирнос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., ГИТТЛ, 1955.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПРУЖИН ДЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГРАВИМЕТРОВ

При изучении геофизических явлений широко применяются упругие чувствительные датчики из плавленого кварца, основной упругий элемент которых — кварцевая пружина. Поэтому качество таких датчиков во многом определяется качеством кварцевой пружины.

Существует способ изготовления пружин из заранее заготовленной кварцевой нити. Нить навивается на кварцевый стержень путем ее нагрева в точке касания со стержнем. Этот способ малопроизводителен. При навивке кварцевая нить часто приваривается к стержню, она получается с дефектами и ее трудно в таких случаях снять с кварцевого стержня.

В 1963 г. автором был предложен способ навивки пружин непосредственно из цилиндрических кварцевых заготовок диаметром 4–5 мм.

Для навивки пружин было использовано устройство, показанное на рисунке: 1 — реверсивный мотор; 2 — редуктор, обеспечивающий на выходе 1000 об/мин; 3 — ведущая вилка; 4 — пустотелый винт; 5 — резьбовая втулка; 6 — центрирующий валик; 7 — центрирующая втулка; 8 — цапговый зажим; 10 — цилиндрический кварцевый стержень с технологическим отростком 9; 12 — кварцевая заготовка; 11 — пламя горелки; 13 — источник питания мотора; 14 — выключатель источника питания; 15 — переключатель реверса мотора.

Способ изготовления пружин следующий. Включается мотор, кварцевый стержень подается в крайнее правое положение, и мотор выключается. Переключается реверс мотора. Кварцевый стержень 10 пламенем горелки прогревается до 600–700°C. Из конца жестко закрепленной заготовки 12 вытягивается короткая нить, которая приваривается к отростку 9. Заготовка в точке ее перехода в нить разогревается пламенем горелки до расплава, и включается мотор (при этом пламя горелки все время находится на конце заготовки). Кварцевый стержень 10 вращается со скоростью 1000 об/мин и

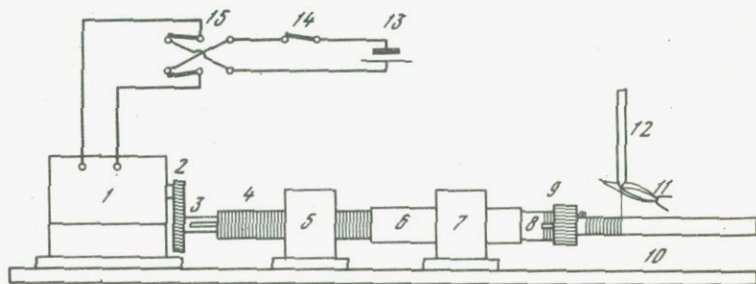


Схема устройства для навивки кварцевых пружин

одновременно подается влево. При этом из расплавленного конца заготовки вытягивается нить и навивается на стержень. При смещении кварцевого стержня в крайнее левое положение мотор выключается, и процесс навивки пружины прекращается. Пружина отваривается от заготовки и технологического отрустка и снимается со стержня.

Весь процесс подготовки и навивки пружины занимает 1,5–2 мин. Время непосредственной навивки пружины (100–140 витков) 6–8 сек. Шаг пружины равен шагу винта 4. Диаметр витков пружины задается диаметром стержня 10. Диаметр нитей пружины можно менять сменой шестерен редуктора, изменением скорости вращения мотора и изменением температуры нагрева заготовки. В течение 10 лет в лаборатории внутреннего строения Земли ИФЗ АН СССР навиваются кварцевые пружины описанным способом. Качество пружин очень высокое. Пружины прочные, диаметр нити пружины остается постоянным на всей длине пружины.

Для сравнения прочности пружин, навитых описанным способом и обычным способом (из заготовленных нитей), было взято по 10 пружин, навитых разными способами из кварцевого стекла одного сорта. Диаметры витков пружин одинаковые, равные 11 мм. Диаметры нитей пружин различались по диаметру до 10 мк. Точность замера диаметра нити ± 2 мк. Каждая пружина имела 10 витков. Была определена сила, необходимая для разрыва каждой из 20 пружин. Для этого один конец пружины приваривался к кварцевому кронштейну таким образом, чтобы ось пружины была расположена вертикально. К нижнему концу пружины приваривалась легкая кварцевая "корзинка" для размещения в ней груза. Нагрузка пружины увеличивалась постепенно до ее разрыва.

Точность определения силы разрыва $\pm 0,025$ г.

Результаты определения силы разрыва для каждой пружины приведены ниже:

Диаметр нити, мк	Сила разрыва, г
72/75*	1,200/1,800
80/75	1,800/2,000
78/75	1,550/1,950
70/74	1,150/1,850
77/75	1,650/2,100
76/75	1,600/2,100
78/76	1,850/1,900
80/75	1,900/2,000
75/76	1,500/2,000
76/76	1,750/2,100
Среднее 76/75	1,595/1,980

* В числителе – навивка пружины из нити, в знаменателе – из расплава.

Из этого следует, что пружины, изготовленные из расплава кварцевой заготовки, более прочные, чем пружины, изготовленные из нитей. В среднем прочность пружин из расплава на 24% выше прочности пружин из нитей.

Высокая производительность, постоянство диаметра нитей пружины на всей ее длине, а также повышенная прочность пружин свидетельствуют в пользу описанного способа изготовления кварцевых пружин.

В заключение пользуемся случаем выразить признательность М.В. Ивановой и Г.С. Прохоровскому за участие в разработке устройства для изготовления кварцевых пружин.

А. Л. Багмет, М. И. Багмет

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИСТОЧНИК СТАБИЛЬНОГО ТОКА ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Для калибровки геофизических приборов часто используется источник опорного напряжения или тока.

Так, контроль чувствительности наклономеров с фотоэлектрическим увеличением производится подачей в катушку маятника контрольного импульса тока, что приводит к смещению записи на величину, эквивалентную известному наклону [1]. В этом случае точность определения калибровочного коэффициента зависит в основном от точности знания величины эталонного тока, его стабильности во времени и нечувствительности к изменениям температуры.

А.Е. Островский исследовал различные типы гальванических элементов с точки зрения их пригодности в качестве источников опорного напряжения [1]. Исследовались герметичные элементы (165Л), элементы с воздушным дедоляризатором (1СУЗ,1,28НВМЦ-525), а также ртутно-динковые элементы (РЦ85).

Оказалось, что наилучшими характеристиками обладают элементы РЦ85 - их температурный коэффициент составляет в среднем $3 \cdot 10^{-5}$ в/град. Измерения, выполненные высокоточным потенциометром Р306 класса 0,015, полностью подтвердили этот результат. Однако саморазряд элементов РЦ приводит к уменьшению ЭДС в среднем на 0,5% за год [2]. В настоящее время, когда решается задача повышения точности наклономерных измерений до 0,2 - 0,1%, необходимо иметь источник опорного напряжения с меньшим изменением ЭДС во времени.

Нормальные элементы для этой цели применять нерационально из-за эксплуатационных неудобств (они боятся вибраций, их сложно перевозить).

В последнее время разработаны прецизионные стабилизаторы с т.к.н. $1 \cdot 10^{-5}$ /град (Д818Е) и даже $2 \cdot 10^{-6}$ /град (КС196Г). Однако напряжение стабилизации у них не регулируется и имеет у

разных приборов разную величину (разброс достигает $\pm 5\%$), что затрудняет их использование в унифицированной аппаратуре.

Источник опорного напряжения регулируемой величины, имеющий характеристики, как у нормального элемента и даже выше (особенно это касается дрейфа напряжения во времени), может быть построен на полевых транзисторах с $p-n$ переходом, работающих в режиме стабилизатора тока [3].

Известно, что если полевой транзистор работает при постоянном смещении, ток стока мало зависит от напряжения на стоке. При устранении влияния изменений температуры и напряжения источника питания можно получить высокостабильный источник тока или напряжения.

В отличие от биполярных транзисторов полевые транзисторы при определенной величине тока стока и напряжении смещения имеют нулевой температурный коэффициент тока. Дело в том, что, с одной стороны, влияние температуры на контактный потенциал $p-n$ перехода увеличивает ток с ростом температуры, а с другой – зависимость проводимости кремния в канале от температуры уменьшает ток при повышении температуры [4].

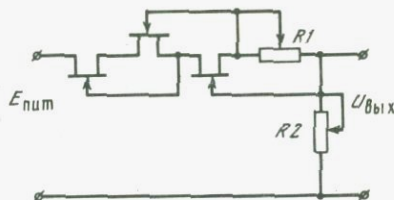


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизатора тока

Были проведены измерения температурного коэффициента тока различных полевых транзисторов – с каналом p -типа (КП103К) и n -типа (КП303Д, КП302Б). Измерения производились при изменении температуры на 10°C потенциометром Р306 с регистрацией на измерительном усилителе И37. Найдено, что транзисторы имеют нулевой температурный коэффициент тока при следующих значениях тока стока:

КП103К – 100 мка, КП303Д – 500, КП302Б – 2,5 мка.

Поскольку для полевых транзисторов напряжение на истоке, при котором ток стока стабилен, меньше напряжения смещения, соответствующего нулевому температурному коэффициенту, влияние изменения напряжения питания на ток стока можно сильно ослабить, используя один-два транзистора в качестве предварительного регулятора.

Итак, схема источника опорного напряжения будет иметь вид, показанный на рис. 1. Резистором $R1$ устанавливается нужный ток стока. Выходное стабилизированное напряжение регулируется резистором $R2$.

При изменении температуры выходное напряжение изменяется по параболическому закону. Для некоторой температуры оно достигает максимума, вновь уменьшаясь при дальнейшем повышении (пониже-

нии) температуры. Схема регулируется так, чтобы при средней рабочей температуре температурный коэффициент стабилизированного тока был близок к нулю.

Максимальный ток нагрузки, при котором изменение стабилизированного тока меньше $1 \cdot 10^{-5}\%$, зависит от типа используемых транзисторов и равен: для КП103К - 10 мка, КП303Д - 30 мка, КП302Б - 50 мка.

В наклонном НФ калибровочный ток имеет величину, меньшую 1 мка, и для его коммутации необходимы переключатели с малыми токами утечки. Для этого лучше всего подходят реле с контактами на гермоне, например РЭС-44. Схема управления калибровочным током наклонных, входящих в станцию НСО, показана на рис. 2. В ней используется четыре реле РЭС-44, что позволяет изменять полярность тока контрольного импульса.

Поскольку, как показали опыты, при включении питания окончательное (с точностью до $1 \cdot 10^{-5}\%$) значение стабилизированного напряжения устанавливается за время, не превышающее нескольких секунд, то стабилизатор можно включать только во время калибровки наклонного (длительность калибровочного сдвига равна 3-5 мин). Это резко снижает ток, потребляемый стабилизатором от источника питания, и позволяет использовать в качестве последнего батарею элементов 10РЦ85. В этом случае срок ее службы будет равен практически сроку сохранности (2-3 года).

Для управления реле РЭС-44 лучше всего применять логические интегральные микросхемы серии 133 или 155. На рис. 3 показана схема управления током контрольного импульса одного наклонного. Она содержит два R-S триггера, собранные на микросхеме М1 (1ЛБ333) и два оконечных мощных инвертера с открытым коллектором на микросхеме М2 (1ЛБ337), нагруженных непосредственно на обмотки реле. Реле включаются перепадом напряжения $3в - 0$, подаваемым на входы S (при подаче перепада на вход 3 изменяется полярность калибровочного тока). Выключение реле осуществляется по входам R (2,4).

Изготовленный макет стабилизатора со схемами управления для двух наклонных был собран на печатной плате размерами 50×50 мм.

Стабилизатор применялся в качестве источника опорного напряжения 1,350 в для контроля чувствительности наклонных и был вмонтирован в регистр, установленный в подвале на глубине 4 м от дневной поверхности в сооружении № 2 ЦСО ИФЗ АН СССР (г. Обнинск).

Как показали исследования, выходное напряжение стабилизатора изменяется не более чем на $1 \cdot 10^{-4}\%$ при изменении напряжения питания от 10 до 30 в.

Для измерения нестабильности выходного напряжения применялся потенциометр Р306 класса 0,015 с нормальным элементом класса 0,005. Ток разбаланса моста потенциометра регистрировался на фотоленту при помощи гальванометра М17/9. 1 мм смещения записи

Рис. 2. Схема управления током контрольного импульса двух наклономеров с изменением полярности тока

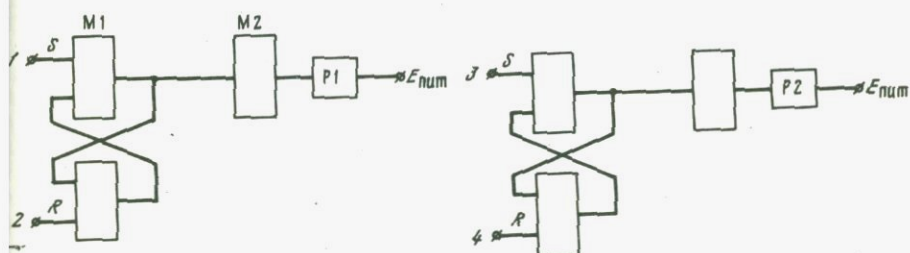
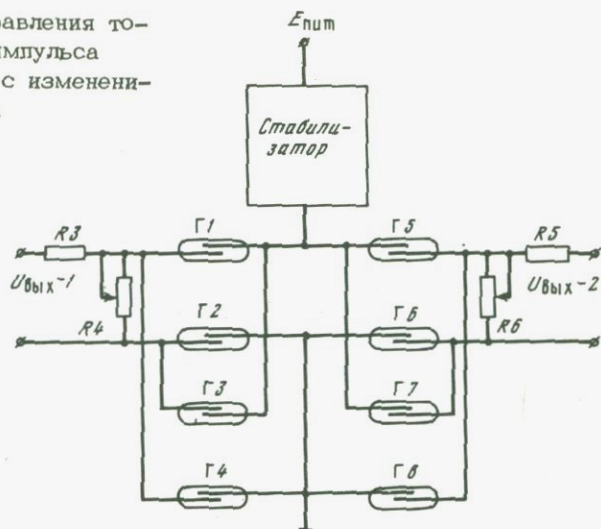


Рис. 3. Логическая схема управления реле, коммутирующих ток контрольного импульса одного накломера

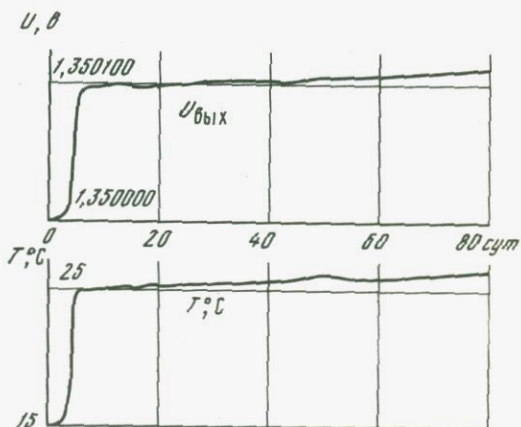


Рис. 4. Результаты исследования долговременной стабильности выходного напряжения стабилизатора

на фотоленте соответствовал изменению выходного напряжения на 0,4 мкв.

Одновременно в помещении измерялась температура воздуха с точностью до $0,2^{\circ}\text{C}$.

Результаты измерений показаны на рис. 4. В начале регистрации температура воздуха составляла $+15^{\circ}\text{C}$, а затем повышалась на 10°C и продолжала расти. Изменение напряжения стабилизатора оказалось равным 100 мкв, т.е. $7 \cdot 10^{-3}\%$. Температурный коэффициент напряжения отсюда составляет $7 \cdot 10^{-6}/\text{град}$.

В дальнейшем за 75 сут. напряжение изменилось на 10 мкв ($7 \cdot 10^{-4}\%$), что полностью объясняется повышением температуры. На фоне этих изменений эффект старения полевых транзисторов не представляется возможным заметить, однако можно утверждать, что он меньше $10^{-4}\%$, что за год меньше $5 \cdot 10^{-5}\%$.

Выводы

Описан источник стабильного напряжения или тока на полевых транзисторах, который может служить опорным при калибровке геофизических приборов, в частности, наклономеров с фотоэлектрическим увеличением. Параметры стабилизатора следующие: выходное напряжение 0 - 3,0 в; т.к.н. $7 \cdot 10^{-6}/\text{град}$; ток нагрузки 10-50 мка в зависимости от типа полевых транзисторов; изменение выходного напряжения вследствие старения транзисторов - меньше $5 \cdot 10^{-5}\%$ за год.

В заключение авторы благодарят доктора физико-математических наук А.Е. Островского за советы, способствовавшие выполнению этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Е. Островский. Наклономер с фотоэлектрической регистрацией. - Сб. "Изучение земных приливов". М., Изд-во АН СССР, 1961.
2. А.Л. Багмет. Повышение точности контроля чувствительности наклономеров А.Е. Островского. - Сб. "Изучение приливных деформаций Земли". М., "Наука", 1973.
3. L.E. Mac Hattie. A highly stable current or voltage source. - J. Phys. E. Sci. Inst., 1972, 5, N 10, 1016.
4. И.П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных систем. М., "Энергия", 1973.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ	
Н.Н. Парийский, С.Н. Барсенков, В.А. Волков, Д.Г.Гриднев, М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Б.П. Перцев, Ю.Ф. Шибяев. Приливные изменения силы тяжести в Талгаре по многолетним наблюдениям	5
М.В. Кузнецов, Л.В. Кузнецова, Н.Н. Парийский, Ю.Ф. Шибяев. Результаты шестилетних наблюдений приливных вариаций силы тяжести гравиметром "Аскания" № 167 в Талгаре	24
В.А. Волков, С.Н. Барсенков, Ф.П. Гусева, С.С. Засимов, Н.Н. Парийский. Первые результаты регистрации земных приливов в Обнинске с гравиметром "Аскания" GS-15	43
Д.Г. Гриднев, С.Н. Барсенков. Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Красной Пахре гравиметром GS-12 № 180 с кварцевым внешним гальванометром	57
II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИЛИВНЫХ НАКЛОНОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	
Д.Г. Гриднев, С.Н. Барсенков, Ф.П. Гусева. Наблюдения приливных наклонов в Обнинске макетом кварцевого наклономера	70
А.Е. Островский. Результаты наблюдений приливных наклонов земной поверхности на территории СССР за 1957-1972 гг.	77
С.М. Фандюшина. Азимутальное неравенство приливного фактора γ в Талгаре	82
К. Росса, Л. Кубачкова, П. Гудец, А.Е. Островский, И.А. Широков, К.М. Анохина. Предварительные результаты наблюдений наклонов земной коры на станции "Вигте" в Словакии	88
Л.И. Миронова. Приливные наклоны в Гарме за 1971 г.	91
Л.А. Латынина, Г.И. Аксенович. О приливных деформациях на станции "Талгар"	97

III. АППАРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ЗЕМНЫХ ПРИЛИВОВ

Д.Г. Гриднев. Исследования температурных характеристик гравиметра GS-11 № 134	104
Д.Г. Гриднев. Исследование фотоэлементов фирмы "Аскания" (ФРГ)	108
Д.Г. Гриднев, С.В. Осинская, Б.Н. Певзнер. Стационарный кварцевый гравиметр	113
Д.Г. Гриднев. Чувствительные системы гравиметров	123
Д.Г. Гриднев. Результаты эталонирования гравиметра СКГ наклоном	133
Д.Г. Гриднев, Н.Н. Парийский, Ю.Ф. Шибяев. Исследование влияния магнитного поля на показания гравиметров "Аскания"	136
Д.Г. Гриднев. Температурные наклоны земной поверхности и вызываемые ими искажения в показаниях приливных гравиметров	142
Ю.Д. Буланже, Д.Г. Гриднев, В.И. Давыдов, С.Г. Тененбаум, Б.В. Власов. Кварцевый наклономер НК-1	149
Д.Г. Гриднев. Способ определения приведенной длины и чувствительности горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации	158
Д.Г. Гриднев, Ф.П. Гусева. О влиянии атмосферного давления на показания кварцевых наклономеров	163
Д.Г. Гриднев, Г.С. Прохоровский. Макет фотоэлектрического кварцевого барографа	167
Д.Г. Гриднев. Способ изготовления кварцевых пружин для чувствительных систем гравиметров	172
А.Л. Багмет, М.И. Багмет. Прецизионный источник стабильного тока или напряжения для калибровки геофизических приборов	174

УДК 525.622

Приливные изменения силы тяжести в Талгаре по многолетним наблюдениям. Парийский Н.Н., Барсенков С.Н., Волков В.А., Гриднев Д.Г., Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Перцев Б.П., Шibaев Ю.Ф. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 5-23.

Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Талгаре проводились в 1961-1974 гг. тремя гравиметрами "Аскания" GS-11. За 12,5 лет обработаны методами Перцева - Венедикова 5436 гравиметро-суток наблюдений (14,8 приборо-лет). Среднее значение фактора δ без учета влияния океанов по четырем главным волнам M_2 , S_2 , K_1 и O_1 , учитывая инерционный эффект и увеличив δ_{K_1} на +0,022 за счет влияния жидкого ядра, равно $\delta = 1,161 \pm 0,004$, а с поправкой за влияние океанов по картам Богданова и теории Перцева - $\delta = 1,162$. Эффект влияния жидкого ядра $\delta_{O_1} - \delta_{K_1} = +0,020 \pm 0,002$ в согласии с теорией. Запаздывание приливного горба в среднем по четырем волнам $\Theta^\circ = -1,1 \pm 0,5$, что соответствует запаздыванию фазы волны M_2 в приливном изменении силы тяжести $\Delta\phi = -0,24$, а для волны $O_1 \Delta\Theta = -0,14$. Учитывая влияние океанов, получено $\Theta = -0,9 \pm 0,4$.

Таблиц 7, библиогр. 25 назв.

УДК 525.622

Результаты шестилетних наблюдений приливных вариаций силы тяжести гравиметром "Аскания" № 167 в Талгаре. Кузнецов М.В., Кузнецова Л.В., Парийский Н.Н., Шibaев Ю.Ф. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 24-43.

Обработаны наблюдения 2159 сут. параллельно методами Перцева и Венедикова. Среднее значение $\delta = 1,166 \pm 0,005$. Запаздывание приливного горба $-1,95 \pm 0,70$. Проведено исследование реальности кратковременных изменений калибровочных коэффициентов.

Таблиц 10, иллюстраций 8, библиогр. 9 назв.

УДК 525.622

Первые результаты регистрации земных приливов в Обнинске гравиметром "Аскания" GS-15. Волков В.А., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П., Засимов С.С., Парийский Н.Н. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 43-56.

Дается описание приливорегистрирующей установки фирмы "Аскания" GS-15 и приводятся первые результаты 4-месячных регистраций приливных изменений силы тяжести на перманентно действующей станции "Обнинск" ИФЗ АН СССР.

Таблиц 3, иллюстраций 6, библиогр. 6 назв.

УДК 525.622

Наблюдения приливных изменений силы тяжести в Красной Пахре гравиметром GS-12 № 180 с кварцевым внешним гальванометром. Гриднев Д.Г., Барсенков С.Н. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 57-69.

Приводятся результаты наблюдений приливных изменений силы тяжести, проведенных при помощи гравиметра фирмы "Аскания" GS-12 № 180. При-

менение внешнего кварцевого гальванометра практически устранило инструментальное запаздывание. Определение масштабных коэффициентов наряду с методом Перцева проводилось методом наклона на специальной плите. Получена хорошая сходимость результатов гармонического анализа, проведенного методами Перцева и Венедикова.

Таблиц 5, иллюстраций 1, библиогр. 13 назв.

УДК 525.622

Наблюдения приливных наклонов в Обнинске макетом кварцевого наклонометра. Гриднев Д.Г., Барсенков С.Н., Гусева Ф.П. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 70-77.

В статье приводятся результаты наблюдений приливных наклонов в Обнинске макетом кварцевого наклонометра с 29.I по 4.V 1973 г. Средние значения γ , полученные из наблюдений с макетом кварцевого наклонометра, близки средним значениям γ , полученным для Европейской части СССР из наблюдений с наклонометрами А.Е. Островского.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиогр. 7 назв.

УДК 525.622

Результаты наблюдений приливных наклонов земной поверхности на территории СССР за 1957-1972 гг. Островский А.Е. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 77-82.

В работе приводится сравнение точности определения гармонических постоянных γ и k по наблюдениям приливных наклонов в горных выработках, штольнях и в шурфах. По наблюдениям в шурфах, точность определений чисел Лява оказалась в 2 раза выше, чем по наблюдениям в штольнях. Число k оказалось равным $0,310 \pm 0,004$.

Таблиц 3, библиогр. 4 назв.

УДК 525.622

Азимутальное неравенство приливного фактора γ в Талгаре. Фандюшина С.М. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 82-88.

В статье рассматриваются результаты 6-летнего ряда стационарных высокоточных наклономерных наблюдений, проводимых на сейсмической станции "Талгар". Даются краткие сведения об условиях наблюдений и характеристике применяемой аппаратуры. Общее изменение наклона за 1967-1972 гг. по обеим составляющим не превышает $2,1''$ и свидетельствует о малом инструментальном дрейфе нуля приборов. Замечается годовая волна с амплитудой в $0,1''$.

Приливный фактор γ_{M_2} по обеим составляющим получен с ошибкой, не превышающей 0,3%, и практически не меняется во времени. В то же время значения γ_{M_2} , полученные для различных составляющих, различаются между собой на 15%. Высказывается предположение, что эта разница объясняется особенностями строения земной коры в данном районе.

Таблиц 3, иллюстраций 1, библиогр. 8 назв.

УДК 525.622

Предварительные результаты наблюдений наклонов земной коры на станции "Вигне" в Словакии. Росса К., Кубачкова Л., Гудец П., Островский А.Е., Широков И.А., Анохина К.М. - Сб. "Приливные деформации Земли", М., "Наука", 1975 г., стр. 88-91.

В работе сообщаются результаты наблюдений наклонов земной коры, выполненных на приливной станции "Вигне" Геофизического института Словацкой АН ЧССР. Работа выполнена в рамках международного сотрудничества АН СССР и АН ЧССР.

Приведены результаты гармонического анализа годового ряда наблюдений. Таблиц 2, иллюстраций 1, библиогр. 2 назв.

УДК 525.622

Приливные наклоны в Гарме за 1971 г. Миронова Л.И. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 91-97.

В статье даются результаты гармонического анализа наклономерных наблюдений, проведенных XII 1970 г. - IX 1971 г. Наблюдения велись четырьмя приборами, установленными попарно параллельно друг другу и писавшими составляющие В-З и С-Ю. Получены средние арифметические, средние месячные и средние весовые значения амплитудного фактора γ и разности фаз κ за весь период наблюдений.

Таблиц 2, библиогр. 2 назв.

УДК 525.622

О приливных деформациях на станции "Талгар". Латынина Л.А., Аксенович Г.И. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 97-103.

Рассматриваются приливные деформации, зарегистрированные кварцевым деформографом. Регистрация ведется одновременно фотоэлектрическим и индуктивным приборами. Методом гармонического анализа получены амплитуды и фазы основных приливных волн. Амплитуды волн M_2 и O_1 по данным индуктивного прибора на 7,5% больше, чем по данным фотоэлектрического, и определяются со среднеквадратичной ошибкой 1,8 и 5,5% соответственно. Сдвиги фаз по данным обоих устройств получены одинаковыми и равными -6° для волны M_2 и $+11^\circ$ для волны O_1 . Числа h и l , определенные по амплитудам этих волн, ниже их теоретически рассчитанных для данного пункта значений и равны: $h = 0,39$ и $0,42$, а $l = 0,045$ и $0,049$. Аномалия приливной деформации может быть связана с влиянием крупного глубинного разлома, находящегося на расстоянии 2 км от станции.

Таблиц 1, библиогр. 4 назв.

УДК 525.622

Исследование температурных характеристик гравиметра GS-11 № 134. Гріднев Д.Г. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 104-107.

Приводятся результаты температурных исследований гравиметра GS-11 № 134 при помощи мостикового термографа сопротивления. Исследования позволили установить низкое качество термоконтактора внешней печи. Замена

термоконтактора значительно улучшила качества приливной кривой, регистрируемой гравиметром. По способу наименьших квадратов определены статистические (линейный и квадратичный) и динамический температурные коэффициенты для четырех температур термостатирования. Линейный коэффициент изменяется от $-0,33$ мгл для $22,5 \pm 32,5^\circ\text{C}$ до $+1,41$ мгл для $37,5 \pm 42,5^\circ\text{C}$.

Таблиц 1, иллюстраций 1, библиогр. 3.

УДК 525.622

Исследование фотоэлементов фирмы "Аскания" (ФРГ). Гриднев Д.Г. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 108-113.

Исследованы 12 пар фотоэлементов фирмы "Аскания". Внутреннее сопротивление и ток некоторых пар различаются на 20-25% для одинаковых напряжений на лампе фотоэлемента. Сопротивление фотоэлементов может изменяться в диапазоне рабочих напряжений лампы фотоэлемента (4,5-6,0 в) в 3-4 раза. Определение инструментального запаздывания фаз должно проводиться заново при изменении напряжения на лампе.

Таблиц 1, иллюстраций 1.

УДК 525.622

Стационарный кварцевый гравиметр. Гриднев Д.Г., Осинская С.В., Левзнер Б.Н. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г. стр. 113-123.

В статье описана конструкция опытного образца стационарного кварцевого гравиметра для регистрации приливных изменений силы тяжести. В гравиметре применяется кварцевая чувствительная система со встречными упругими моментами, позволяющими исключать дрейф нуля. Регистрация приливных изменений силы тяжести производится фотоэлектрическим способом. Цена деления отсчетного устройства гравиметра 0,01-0,02 мгл, точность отсчета 0,1 деления. Диапазон измерения 3-5 гл. Чувствительность на выходе до 2000 мм/мгл. Скорость развертки от 9,6 до 208,0 мм/ч.

Иллюстраций 8, библиогр. 7 назв.

УДК 525.622

Чувствительные системы гравиметров. Гриднев Д.Г. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 123-132.

Описываются две чувствительные системы гравиметра крутильного типа. Первая система состоит из горизонтально расположенных пружин, закрученных маятником, подвешенным на горизонтально расположенных нитях. Сползание нуля системы при температуре термостатирования 25°C составляет 0,5 мгл/сут. Вторая система состоит из горизонтально расположенных пружин, закрученных маятником, подвешенным на горизонтально расположенных нитях, закрученных в противоположную пружинам сторону. Сползание нуля системы в зависимости от величины углов закручивания пружин и нитей (от их деформации), а также от коэффициентов кручения пружин и нитей может быть любым: положительным, нулевым и отрицательным.

Показано, что величина сползания нуля прямо пропорциональна относительной деформации упругих элементов системы.

Таблиц 1, иллюстраций 4, библиогр. 11 назв.

УДК 525.622

Результаты эталонирования гравиметра СКГ наклоном. Гриднев Д.Г. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр 133-136.

Приводятся результаты эталонирования гравиметра СКГ наклоном на плите. Наклономерная плита с базой 1 м и шагом винта 0,5 мм позволяет определять цену деления гравиметров СКГ с ошибкой, не превышающей 0,1%, наклоном их на углы до 10-15 мин дуги.

Таблиц 2, библиогр. 1 назв.

УДК 525.622

Исследование влияния магнитного поля на показания гравиметров "Аскания". Гриднев Д.Г., Парийский Н.Н., Шибеев Ю.Ф. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 136-141.

В статье описаны методика и результаты исследования гравиметров GS-11 № 134 и 167 и внешнего гальванометра GS-11 № 124 в магнитном поле катушки Гельмгольца. Результаты исследования показывают, что гравиметры по-разному реагируют на изменения магнитного поля, но во всех случаях влияния не превосходят $5 \cdot 10^{-4}$ мкгл/у.

Таблиц 2, иллюстраций 1, библиогр. 3 назв.

УДК 525.622

Температурные наклоны земной поверхности и вызываемые ими искажения в показаниях приливных гравиметров. Гриднев Д.Г. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г. стр. 142-149.

Приводятся результаты наблюдений температурных наклонов земной поверхности на гравиметрической станции "Красная Пахра", проведенных при помощи кварцевых фотооптических и фотоэлектрических наклономеров. Двойные амплитуды суточных наклонов наиболее значительны летом, когда они могут достигать 3,5 сек дуги. Температурные наклоны могут исказить амплитуду приливной волны K_1 на 2-3%. Показано, что при постоянстве азимута температурного наклона его влияние на показания приливного гравиметра можно полностью исключить, если между азимутом наклона и азимутом маятника гравиметра угол равен 45° , а маятник и его ось вращения отклонены от горизонтальной плоскости на равные углы разных знаков.

Иллюстраций 7, библиогр. 9 назв.

УДК 525.622

Кварцевый наклономер НК-1. Буланже Ю.Д., Гриднев Д.Г., Давыдов В.И., Тененбаум С.Г., Власов Б.В. - Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1957 г., стр. 149-158.

В статье описывается конструкция опытного образца кварцевого наклономера с фотоэлектрической системой регистрации. В наклономере применяется новый способ его эталонирования при помощи наклона рамки подвеса чувствительной системы на точно известный угол. Цена деления отсчетного микрометра устройства для эталонирования наклономера 1-2 мсек дуги. Точность отсчета 0,1 дел. Диапазон наклона рамки до 2 сек дуги.

Описан порядок установки наклономера в рабочее положение и его эталонирования. Приводятся результаты эталонирования наклономера. Собственный

период маятника до 100 сек. Рабочий период маятника при регистрации приливных наклонов 8–12 сек. При напряжении на лампе фотоэлемента 1,0 и периоде маятника 10 сек чувствительность на выходе наклономера около 2000 мм/сек дуги. Регистрация приливных наклонов производится при помощи фоторегистратора гравиметра СКГ. Скорость развертки от 9,6 мм до 208 мм/ч.

Таблиц 1, иллюстраций 2, библиогр. 7 назв.

УДК 525.622

Способ определения приведенной длины и чувствительности горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации. Гриднев Д.Г. – Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр.158–163.

Описывается способ определения приведенной длины и чувствительности горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации. Ошибка определения приведенной длины маятника предложенным способом в несколько раз меньше ошибки определения способом горизонтального маятника. Суть предложенного способа заключается в точном замере смещения светового блика по фотоэлементу при наклоне горизонтального маятника в вертикальной плоскости, перпендикулярной плечу маятника. Замер смещения производится при помощи поворотного зеркала, снабженного микрометренным отсчетным устройством.

Таблиц 1, иллюстраций 1, библиогр. 2 назв.

УДК 525.622

О влиянии атмосферного давления на показания кварцевых наклономеров. Гриднев Д.Г., Гусева Ф.П. – Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 163–167.

В статье описываются результаты определения барометрических коэффициентов четырех кварцевых наклономеров. Наклономеры с герметизированным корпусом имеют барометрические коэффициенты от $-9,3$ до $+10,6$ мсек дуги на 1 мбар. Негерметизированные наклономеры практически не имеют барометрического эффекта.

Таблиц 1, иллюстраций 2, библиогр. 4 назв.

УДК 525.622

Макет фотоэлектрического кварцевого барографа. Гриднев Д.Г., Прохоровский Г.С. – Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр.168–172.

В статье описывается конструкция макета кварцевого барографа. Показано, что чувствительная система барографа линейна. Чувствительность барографа может регулироваться в широких пределах – от 1 до 10^4 мм/мбар. Диапазон измерения с помощью измерительной пружины 100 мбар и может быть изменен смещением груза.

Иллюстраций 2, библиогр. 4 назв.

УДК 525.622

Способ изготовления кварцевых пружин для чувствительных систем гравиметров. Гриднев Д.Г. – Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 172–174.

Описывается способ изготовления кварцевых пружин из расплава цилиндрических кварцевых заготовок диаметром 4–5 мм. Дано описание устрой-

ства для навивки кварцевых пружин. Скорость навивки пружины 1000 витков/мин. Прочность пружин, навитых из расплава, в среднем на 23% выше прочности пружин, навитых из предварительно заготовленных нитей.

Иллюстраций 1.

УДК 525.622

Прецизионный источник стабильного тока или напряжения для калибровки геофизических приборов. Багмет А.Л., Багмет М.И. — Сб. "Приливные деформации Земли". М., "Наука", 1975 г., стр. 174-179.

Описан источник стабильного тока или напряжения на полевых транзисторах. Напряжение регулируется в пределах $0,3 \pm 3,0$ в, т.к.н. $7 \cdot 10^{-6}$ /град, ток нагрузки 10-50 мка в зависимости от типа транзисторов. Источник имеет лучшие параметры, чем у нормального элемента, и применения для калибровки чувствительности наклономеров НФМ. Приведены результаты исследования стабильности выходного напряжения во времени.

Иллюстраций 4, библиогр. 4 назв.

ПРИЛИВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛИ

Утверждено к печати
Ордена Ленина Институтом физики Земли
им. О.Ю. Шмидта Академии наук СССР

Редактор Н.Е. Миронова
Художник Р.М. Буданов
Художественный редактор А.Н. Жданов
Технические редакторы
Г.П. Каренина, Е.К. Полукарова

Подписано к печати 20/VI - 75 г.
Т - 19615, Усл.печ.л. 11,75.
Уч.-изд.л. 12,2. Формат 60x90 1/16.
Бумага офсетная №1. Тираж 700 экз.
Тип. зак. 640 Цена 1 р. 23 к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 103717 ГСП,
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

Исправления и опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
12	Табл. 3, 1-я гр., 8 сн.	$p = T$	$p = 1$
13	12 св.	$h = 2,04$	$h = 2,04k$
14	6 св.	$H_2 r_2 \omega$	$H_2' r_2 \omega$
34	Табл. 1, гр. "K ₁ ", 6 св.	1,444	1,144
39	Табл. 8, 3-я колонка, 4 сн.	-62,62	-2,62
51	Таблица, гр. "M ₂ ", 5 св.	1,320	1,189
74	Табл. 2, 2-я гр., 17 св.	0,654	0,645
90	Табл. 2, гр. "K ₁ ", 1 св.	803	80,3
90	Табл. 1, гр. "K ₁ "	10 м·сек	1,0 м·сек
101	Ф-ла (1), числитель	2 e	2 l
101	Ф-ла (2)	(h - 4 e)	(h - 4 l)
102	15 св.	0,046	0,048
102	2 сн.	в Тамаре	в Талгаре
102	4 сн.	"Тамар"	"Талгар"

1 р. 23 к.

1988