

УДК. 551.24+528.2/3

О ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
В ОКРЕСТНОСТЯХ ВУЛКАНА АВАЧИНСКИЙ В ПЕРИОД 1964-1995 гг.  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОДОЛЖЕНИЯ ЭТИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (КАМЧАТКА)

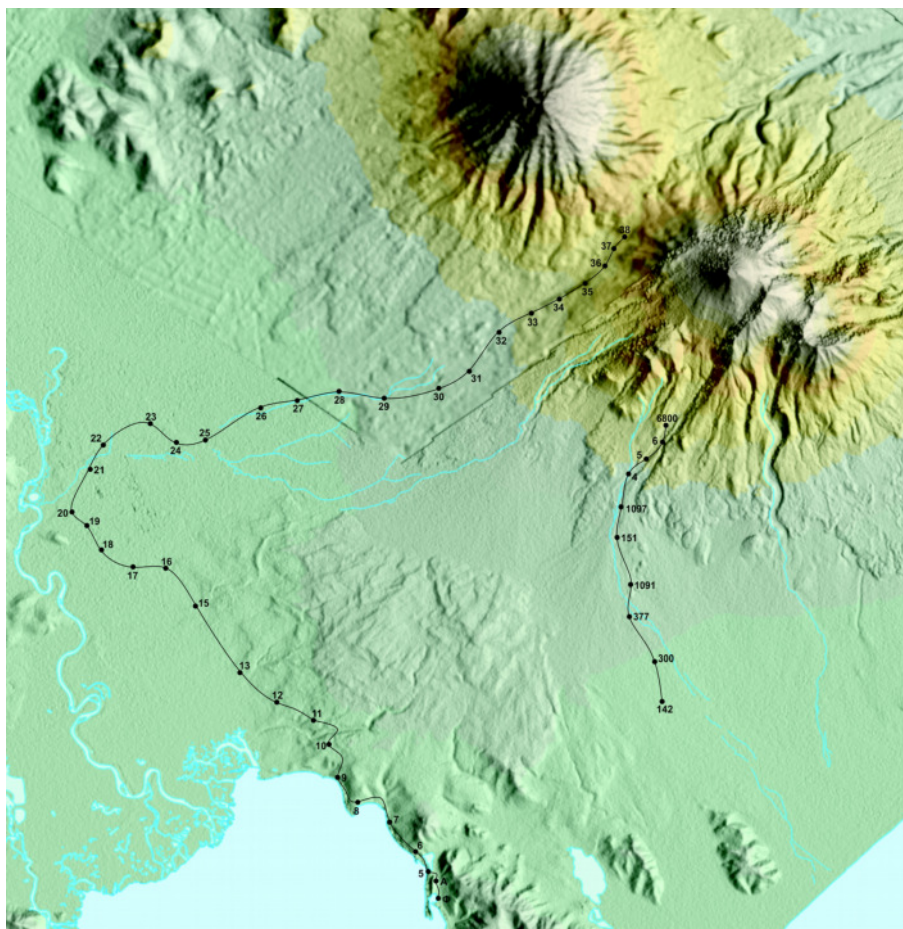
*М.А. Магуськин, И.К. Миронов, К.М. Магуськин*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail: magma@kscnet.ru*

В виде таблиц приведены все непосредственно измеренные в 1962-1995 гг. высокоточным нивелированием превышения между долговременными реперами, заложенными на Авачинском геодинамическом полигоне по двум профилям. Эти данные очень важны особенно для будущих исследователей, так как результаты повторных измерений будет чем сравнивать. Показано нарастание вертикальных деформаций по мере приближения к постройке вулкана, в то же время они носят колебательный характер. Амплитуда колебания высот реперов, расположенных в 6–7 км от кратера вулкана составляет от –4,2 см до +3,0 см относительно репера, удаленного от кратера на 7,4 км. Предполагается, что колебательный характер вертикальных движений в окрестностях вулкана происходит по причине переменного влияния на не глубокий магматический очаг под вулканом напряжений в земной коре которые меняются в зоне субдукции Тихоокеанской и Евразийской плит. В этих условиях магматический очаг вулкана «работает» как огромный природный деформометр. По данным , хотя и дискретным, нивелирования показан факт опускания участка берега Авачинской губы в районе морского порта на, вероятно, более 13 см в момент сильного землетрясения в ноябре 1971 г., эпицентр которого находился в Авачинском заливе на расстоянии около 70 км от города.

Достоверные даты извержений вулкана Авачинский, расположенного в 20 км от г. Петропавловска-Камчатского, известны с 1737 г. [3]. На основании этих данных определены промежутки между всеми извержениями, которые колеблются от 3 до 48 лет, а средняя частота извержений за период 1937–1991 гг. составляет около 18 лет [3]. Среди всех происшедших извержений выделяют сильные (пароксизмальные), причем количество их у разных авторов разное [1, 3, 5]. Не вдаваясь в подробности этих разногласий, отметим лишь, что Токарев П.И. определил цикл активности вулкана Авачинский  $40 \pm 6$  лет [5]; Дроздин В.А. определил средний промежуток между пароксизмальными извержениями  $34,5 \pm 15$  лет [1]. Время показало, что извержение этого вулкана происходит часто, а это позволяет изучать возможные деформации земной поверхности в окрестностях вулкана за сравнительно короткое время (в течении активной жизни одного поколения людей).

По инициативе директора Института вулканологии (ИВ) Пийпа Б.И. в 1962 г. вблизи вулкана Авачинский были начаты геодезические работы с закладки нивелирного профиля длиной 16 км от рп. 28 до рп. 38 (рис. 1) [8], на котором ИВ выполнил нивелирование II класса в 1962–1965 гг. (табл. 1). В 1965 г. нивелирный профиль был продлен и в 1967 г. выполнено нивелирование I класса до Астрономического пункта, расположенного в восточ-



**Рис.1.** Фрагмент схемы расположения реперов и ходов высокоточного нивелирования на Петропавловском геодинатическом полигоне.

ной стороне сопки Никольской, примерно в 150 м от главной почты г. Петропавловска. Астропункт был заложен в 1906 году. Его основание – кирпичная кладка, которая медленно разрушалась, поэтому верхняя часть пункта была заменена бетонным столбом на кирпичном основании (в каком году неизвестно). В 1972 году бетонный столб в верхней части имел сферическую поверхность, на которую ставилась нивелирная рейка (других точек для установки рейки не обнаружено). Впоследствии вокруг столба вырос низкорослый ольховый кустарник, который, по-видимому, полностью разрушил кирпичную кладку и столб повалился. В 2013 г. на месте Астропункта был только более-менее обихоженный кустарник. В 1972 г. К.О. ДАЛЬТИСИЗ заложил дополнительные реперы на участке Астропункт- рп. 10 и выполнил нивелирование I класса по всему профилю, продлив его до Петропавловского футштока, где ведутся наблюдения за уровнем моря (Тихого океана в этой точке). В 1973-1987 гг. нивелирование на этом профиле выполнялось (в разной полноте) Предприятием № 2 ГУГК. Все измеренные превышения в 1962–1987 гг. приведены в табл. 1 с необходимыми пояснениями, приведенными в примечаниях.

**Таблица 1.** Превышения, измеренные на полигоне «Авача-1» нивелированием I, II классов в 1962-1987 гг. от Петропавловского футштока до рп.38

Годы	Превышения от репера до репера в м.																			
	Ф-Астр	Астр-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	
1965	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1967					118,3253 (Астропункт-11)				-104,7493 (11-13)	14,2428 (13-16)				-18,9684 (16-19)						
1968								-26,0248	-75,6772	-29,0778	14,3598	-0,1160	-10,6040	-5,3368	-3,0206	0,6523	0,7628	-0,3068	9,5367	
1968									-104,7550		14,2438			-18,9614				9,2300 (21-23)		
1972	11,6523	-10,6432	0,9018	-1,7806	6,8728	23,8132	125,3173	-26,0240	-75,6743	-29,0739	14,3616	-0,1176	-10,6042	-5,3368	-3,0184	0,6548	0,7632	-0,8816	10,1130	
1972						118,4573			-104,7482		14,2420			-18,9594						
1972		-9,7414 (Астропункт-6)					123,1065 (8-11)													9,2314
1973,75				5,0963 (6-8)			123,0283		-75,6751	-29,0715	14,3598	-0,1146	-10,6046	-5,3353	-3,0163	0,6590	0,7645		9,2324	
1973,75						118,3736			-104,7466		14,2452			-18,9562						
1980				5,1084			123,0302		-76,0804	-28,6694	14,3603									
1980			-9,7711						-104,7498		14,2457			-18,9644						
1980						118,3882								-8,4191 (15-23)						
1982				5,1004					-76,0960	-28,6560	14,3583				5,2263 (15-24)					
1982						129,1856 (футшок-11)			-104,7520											
1982							123,0108							-8,4194						
1984			6,1748 (Футшок-8)				123,0247		-76,0950	-28,6536	14,3600			-8,4231						
1984						129,2075			-104,7486											5,2219
1987						132,3120 (Футшок -11)			-76,0944	-28,6523	14,3581									5,2178

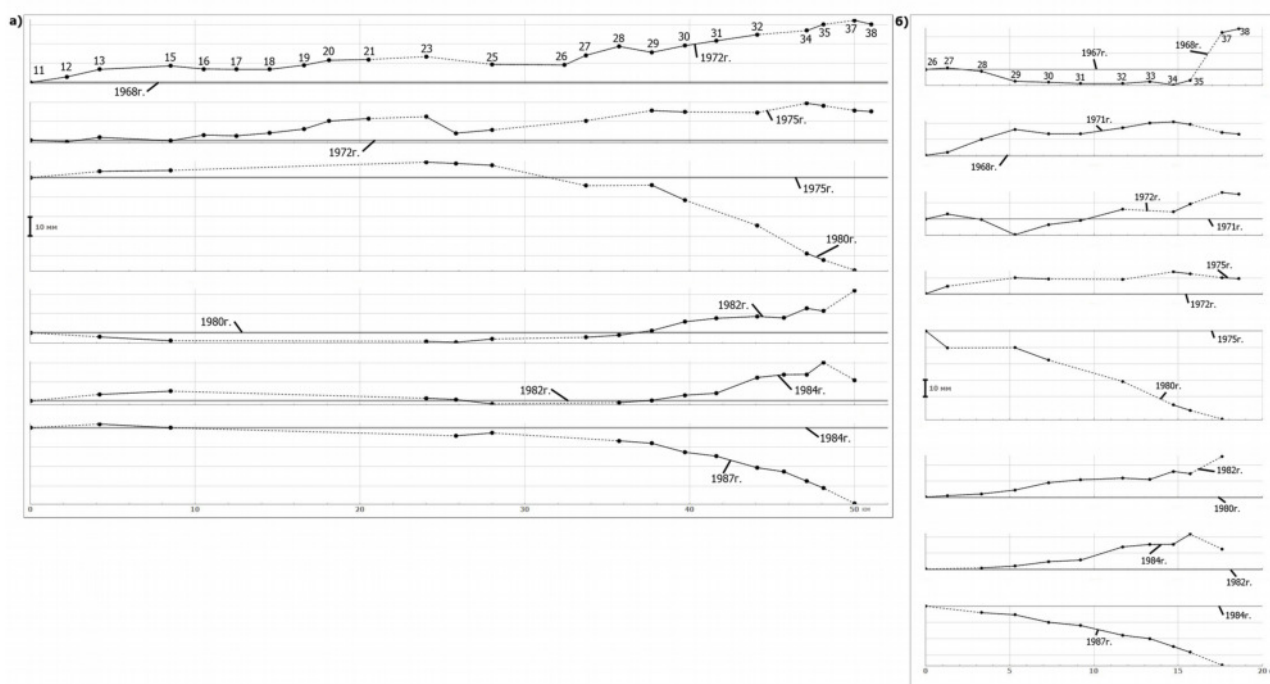
Таблица 1. Продолжение

Годы	Превышения от репера до репера в м:																
	23-24	24-25	25-26	26-27	27-28	28-29	29-30	30-31	31-32	32-33	33-34	34-35	35-36	36-37	37-38		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1962							241,8067 (28-31)		293,5106 (31-34)			152,5030 (34-36)			143,4352 (36-38)		
1963							241,8040		293,4825			152,4962			143,4228		
1964							241,8050		293,4812			152,5175			143,4152		
1965							241,8157		293,4998			152,5217			143,4158		
1967							241,8256		293,4929			152,5012			143,4107		
							82,2692	86,5292	114,3690	96,5563	82,5676	80,8121	71,6891	76,5528	66,8579		
1968							241,8190		293,4887			152,5217			143,4247		
1968	12,6334	12,9336	68,0725	27,4638	61,8470	73,0210	82,2686	86,5294	114,3656	96,5576	82,5655	80,8149	71,7068	76,5645	66,8602		
1971			68,0722	27,4658	61,8550	73,0273	82,2658	86,5284	114,3618	96,5606	82,5662	80,8133	71,7196	76,5466	66,8593		
1971							241,8215		293,4886			152,5329			143,4059		
1972	13,6555	11,9075	68,0722	27,4688	61,8516	73,0179	82,2721	86,5309	114,3688	102,7375	76,3877	80,8181	71,7211	76,5523	66,8582		
1972							241,8209		293,4940			152,5392			143,4105		
1973,75	13,6468	11,9092	95,5459 (25-27)	134,8748 (27-29)	82,2714	200,8994 (30-32)	102,7451	76,3850	80,8168	71,7181	76,5528	66,8576					
1973,75									152,5349			143,4104					
1980	13,6462	11,9082	95,5355	61,8522	73,0228	82,2638	86,5276	114,3588	96,5542	82,5616	80,8135	71,7236	76,5420				
1980				134,8750													
1980				157,3877 (25-28)			241,8142		293,4664			152,5374					
1982	13,6457	11,9099	95,5364	61,8533	73,0252	82,2684	86,5294	114,3598	96,5534	82,5666	80,8121	71,7220	76,5543				
1982				134,8785													
1982				157,3897				200,8792				152,5341					
1984	13,6450	11,9076	157,3904	73,0264	82,2711	86,5304	114,3681	96,5549	82,5667	80,8184	71,7165	76,5505					
1984								200,8985									
1984							241,8279					152,5349					
1987		11,9090	157,3864	73,0251	82,2665	86,5284	114,3621	96,5529	82,5618	80,8149	71,7207	76,5383					
1987							200,8905										
1987							241,8200		293,4768			152,5356					
1987								200,8905									

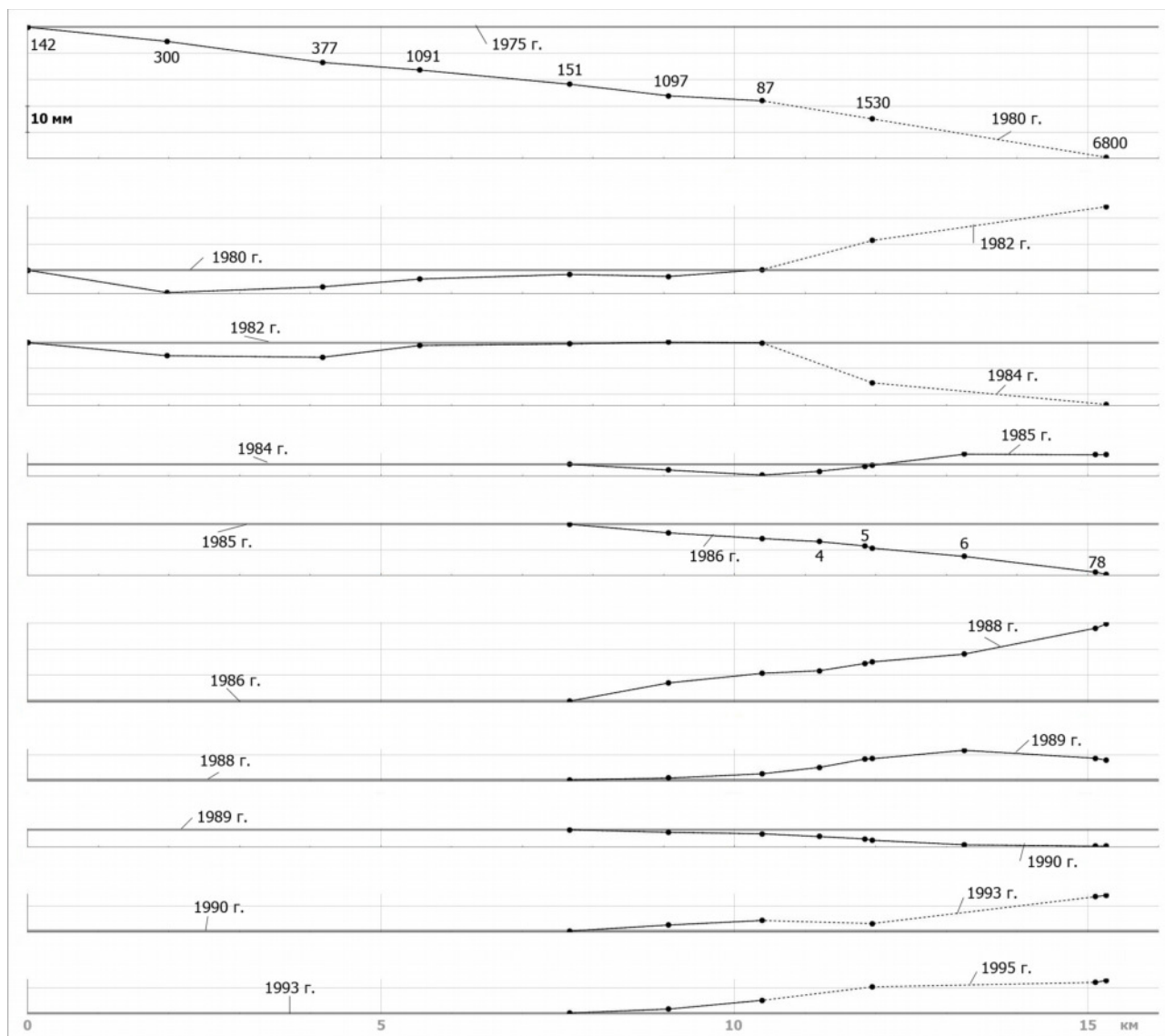
Примечания: 1. Скальный репер 24 в 1972 г. переизложен. 2. В качестве репера 33 в 1972 и 1973 гг. принят другой репер. 3. В 1980 г. зр. рт. 12 переизложен 4. В 1962 г. превышения между реперами 31-34, 34-36, 36-38 определены через несколько дней после закладки реперов, поэтому эти измерения из анализа исключаются. 5. Точки установки рейки на футштоке в разные годы были разными, в этом причина больших расхождений в превышениях футштоков — рт. 11. 6. Большие расхождения превышений с участием реперов 36 и 37 явно связаны с воздействием погодных условий (глубина оттаивания мерзлоты, обводненность почвы на месте репера при малой глубине закладки.)

Эти исходные данные крайне важны для будущих исследователей. Результаты нивелирования в период 1964–1980 гг. подробно рассмотрены и по ним сделаны выводы в работе [8], в которой, к сожалению на наш взгляд, не приведена таблица измеренных превышений. В связи с этим будущий исследователь, определив какое-либо превышение между сохранившимися реперами, не сможет сравнить его с прошлым результатом. С несколько иных позиций (вычислением наклонов земной поверхности по секциям) рассмотрены результаты нивелирования в период 1975–1982 гг. на участке от рп. 25 до рп. 38 (174) в работе [2].

Располагая измеренными превышениями за все годы (1962–1982) и появившимися после работ [8] результатами нивелирований, выполненными в 1984 и 1987 годах (табл. 1 и 2), нами построены графики относительных изменений «уровня земной поверхности» на участке от рп. 11 до рп. 37, 38 (рис. 2) и на участке рп. 26 – рп. 37, 38, где измерения были выполнены более часто (рис. 3). Заметим, если бы реперы были заложены часто (через десятки метров), то изменение отметок их показало бы действительный уровень земной поверхности на определенную дату. Результаты нивелирования за период 1975–1982 гг. по профилю «Авача II» от рп. 139 до рп. 6800 (рис. 1) анализированы в работе [2]. В работе [8] сопоставлены только результаты 1975 и 1980 годов на этом же участке и дополнительно вдоль перпендикулярного профиля длиной 10 км (на рис. 1 этот участок не показан). После 1982 г. на этом профиле многократно выполнялось высокоточное нивелирование. Все измеренные превышения за период 1975–1995 гг. приведены в таблице 3. По этим данным построены графики относительных изменений уровня земной поверхности на участке от рп.151 до рп. 6800 (рис. 4), где выполнялись более частые измерения.



**Рис.2.** Относительные изменения уровня земной поверхности вдоль линии нивелирования от рп. 11 до рп. 37, 38 (а) и от рп. 26 до рп. 37,38 (б) в период 1968–1987 гг.



**Рис.3.** Относительные изменения уровня земной поверхности вдоль линии нивелирования от рп. 142 до рп. 6800 в период 1975–1984 гг и от рп. 151 до рп. 6800 в период 1984–1995 гг.

Погрешности измеренных превышений между реперами зависят от длины секции и, в условиях больших перепадов высот, от числа промежуточных установок нивелира. Для наших условий работ эту погрешность следует определять по формуле  $\pm 1 \text{ мм} \times \sqrt{L}$ , где  $L$  – расстояние между реперами в км. По мере передачи высот по трассе погрешность определения отметок реперов возрастает. Так, например, если трасса имеет длину 50 км, то погрешность отметки конечного репера составляет  $\pm 7 \text{ мм}$ . Как правило, заслуживают внимания те результаты, отклонения которых от условно принятой за неизменный, превышают двойную величину, вычисленную по формуле  $\pm 1 \text{ мм} \times \sqrt{L}$ .

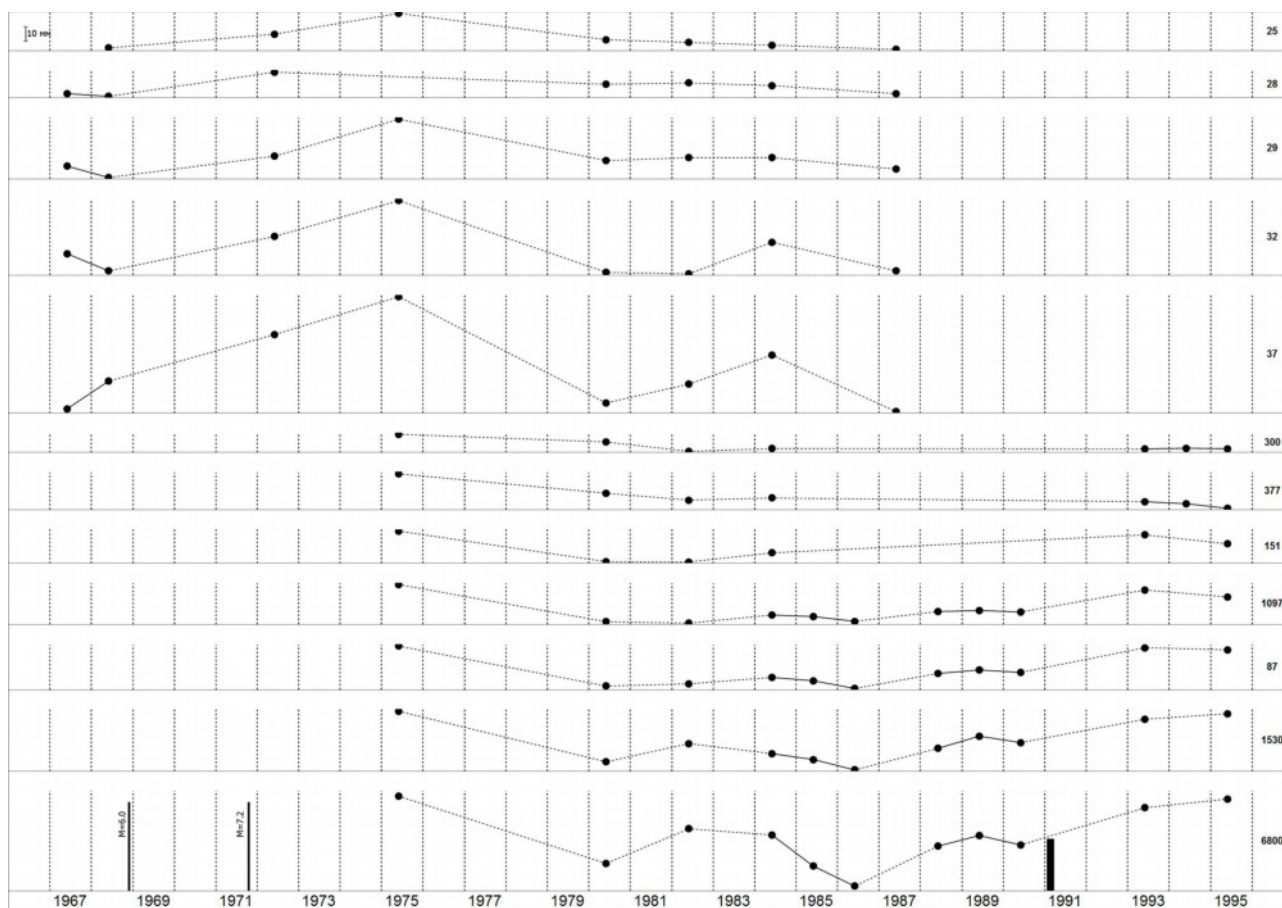
**Таблица 2.** Превышения, между одноименными реперам измеренные на полигоне «Авача-І» нивелированием I класса в 1967–1987 гг. от рп.11 до рп. 38

№№ репер	Расст. в км	Годы и превышения в метрах								
		1967	1968	1971	1972	1975	1980	1982	1984	1987
11										
	2,2		-75,6772		-75,6743	-75,6751				
12		-104,7493					-104,7498	-104,7520	-104,7486	-104,7467
	2,0	<b>(11-13)</b>	-29,0778		-29,0739	-29,0715				
13										
	4,3		14,3598		14,3616	14,3598	14,3603	14,3583	14,3600	14,3581
15		14,2428								
	2,0	<b>(13-16)</b>	-0,1160		-0,1176	-0,1146				
16										
	2,0		-10,6040		-10,6042	-10,6046				
17										
	2,0	-8,3684	-5,3368		-5,3368	-5,3353				
18		<b>(16-19)</b>								
	2,1		-3,0206		-3,0184	-3,0163				
19							-8,4191	-8,4194	-8,4231	
	1,5		0,6523		0,6548	0,6590	<b>(5-23)</b>			
20										5,2178
	2,4		0,7628		0,7632	0,7645				<b>(15-24)</b>
21										
	1,5		-0,3068		-0,8816					
22						9,23				
	2,0		9,5367		10,1130	<b>(21-23)</b>				
23										
	1,8		12,6334		13,6555	13,6468	13,6462	13,6457	13,6450	
24										
	2,2		12,9336		11,9075	11,9092	11,9082	11,9099	11,9076	11,9090
25										
	4,4		68,0725	68,0722	68,0722					
26						95,5459	95,5355	95,5364		
	1,3	27,4629	27,4638	27,4658	27,4688	<b>(25-27)</b>			157,3904	157,3864
27									<b>(25-28)</b>	
	2,0	61,8490	61,8470	61,8550	61,8516		61,8522	61,8533		
28						134,8748				
	2,0	73,0272	73,0210	73,0273	73,0179	<b>(27-29)</b>	73,0228	73,0252	73,0264	73,0251
29										
	2,0	82,2692	82,2686	82,2658	82,2721	82,2714	82,2638	82,2684	82,2711	82,2665
30										
	1,9	86,5292	86,5284	86,5284	86,5309		86,5276	86,5294	86,5304	86,5284
31						200,8994				
	2,5	114,3656	114,3656	114,3618	114,3688	<b>(30-32)</b>	114,3588	114,3598	114,3681	114,3621
32										
	1,6	96,5563	96,5576	96,5606			96,5542	96,5534	96,5549	96,5529
33					179,1252	179,1301				
	1,4	82,5676	82,5655	82,5662	<b>(32-34)</b>		82,5616	82,5666	82,5667	82,5618
34										
	1,0	80,8121	80,8149	80,8133	80,8181	80,8168	80,8135	80,8121	80,8184	80,8149
35										
	1,9	148,2419	148,2713	148,2662	148,2734	148,2709	148,2656	148,2763	148,2670	148,2590
37										
	1,0	66,8579	66,8602	66,8593	66,8582	66,8576				
38										
	$\Sigma = 51\text{км}$									

Таблица 3. Превышения, измеренные на полигоне Авача-II нивелированием I-класса в 1975-1995 гг. от рп.139 до рп.6800

Годы	Превышения от репера до репера, м.																
	139-275	275-142	142-121	121-300	300-377	377-1091	1091-151	151-1097	1097-87	87-4	4-5	5-1530	87-5760	5760-1530	1530-6	6-78	78-6800
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1975	35,8594	26,1631	47,2204	-1,7544	75,4302	62,6254	82,0420	74,2144	46,3085	88,9197 (87-1530)					206,4630 (1530-6800)		
1980	35,8598	26,1621	47,2154	-1,7548	75,4222	62,6225	82,0366	74,2100	46,3066	88,9128					206,4484		
1982	35,8612	26,1621	47,2080	-1,7560	75,4244	62,6255	82,0384	74,2092	46,3092	88,9240					206,4614		
1984	35,8624	73,3701 (275-121)		-1,7551	75,4238	62,6302	82,0391	74,2129	46,3107	88,9162					206,4531		
1984.06						62,6300	82,0388	74,2126	46,3106	88,9160			6,8939	82,0223	206,4530		
1984.10								74,2042	46,3054	42,5074	41,4005	5,0006	6,8934	82,0151	72,1198		
1985	35,8574									88,9132					206,4474		
1985.08										88,9121					191,8470(1530-78)		
1985.08								74,2076	46,3070	42,5091	41,4020	5,0010			72,1250		14,6002
1985.10								74,2074	46,3065	42,5090	41,4030	5,0012			72,1239		
1986.07								74,2041	46,3046	42,5078	41,4008	5,0002	6,8937	82,0151	72,1212	119,7166	14,5994
1988								74,2111	46,3083	42,5088	41,4036	5,0008	6,8938	82,0194	72,1242		14,6010
1988															191,8508		
1989								74,2119	46,3100	42,5114	41,4070	5,0009	6,8940	82,0253	72,1276	119,7234	14,6002
1990								74,2108	46,3094	42,5102	41,4060	5,0003	6,8937	82,0228	72,1257	119,7228	14,6002
1993.07				-1,7553	75,4193								6,8933	82,0205			
1993.08	35,8614			-1,7554	75,4223	62,6388	82,0452	74,2132	46,3112	88,9153					191,8592		14,6008
1993.10	35,8642			-1,7554	75,4224												
1994.03	35,8614			-1,7548	75,4194												
1994.05	35,8576			-1,7552	75,4164												
1995						62,6382	82,0449	74,2148	46,3147	88,9207			6,8938	82,0269	191,8610		14,6016





**Рис.4.** Относительные изменения высот реперов, расположенных вблизи вулкана Авачинский. На оси времени вертикальными черточками обозначены моменты сильных землетрясений, жирной заливкой чертой – продолжительность извержения вулкана Авачинский.

### Обсуждение результатов измерений

Выявленные вертикальные смещения реперов, превышающие двойную погрешность определения, необходимо объяснить, т.е. найти причину такого поведения их. Для этого приведем природные явления, происшедшие прежде всего на вулкане Авачинский а также на удалении 100–150 км от него в период 1962–1995 гг. В 1962–1990 гг. вулкан находился в стадии фумарольной деятельности; в 1964–1975 гг. под ним происходили слабые землетрясения с некоторым усилением сейсмической активности в 1973–1975 гг. [6]. В последующие годы наблюдалась присущая этому району фоновая сейсмичность. 13 января 1991 г. около 12 часов дня началось очередное извержение вулкана Авачинский. Оно было неожиданным, так как не предварялось вулканическими землетрясениями и другими признаками. В ходе извержения глубокий кратер на вершине вулкана был полностью заполнен свежей лавой примерно за трое суток, и она изливалась на склоны конуса по двум направлениям, образовав два потока глыбовой лавы. Извержение завершилось 19 января 1991 г. [3].

За время выполненных повторных нивелирований в период 1962–1995 гг. произошли два сильных землетрясения, эпицентры которых находились не далее 150 км от вулкана. Первое – 19.XII.1968 г. ( $M=6$ ),  $H=70$  км, в 130 км к СВ-В от Петропавловска и 24.XI.1971 г. ( $M=7,2$ ),  $H=125$  км, в 68 км к В-ЮВ от города [8]. Все эти события отмечены на графиках изменений уровня земной поверхности.

Тщательный анализ сохранившихся полевых материалов с примечаниями, отчетов, условий закладки реперов, сведений о Петропавловском футштоке и Астропункте, опрос свидетелей позволил объяснить большие расхождения превышений из определений в разные годы. Причины больших расхождений превышений пояснены в примечаниях к табл. 1. В превышениях, связанных с реперами 36 и 37, наблюдаются большие расхождения, причем разными знаками (табл. 1). После изучения условий закладки этих реперов (близость мерзлотного слоя на высотах над уровнем моря 900–1000 м, малая глубина закладки, до 1,5 м) есть основание считать их неустойчивыми. Этот вывод подтверждает рис. 2, где виден характер смещения рп. 37 (репер 36 был исключен из рассмотрения заранее). По причине малой глубины закладки реперы 36 и 37, расположенные на отметках 902 и 978 м соответственно над уровнем моря, имеют собственные движения, и из анализа исключены.

Подъем земной поверхности, который происходил с нарастанием по мере приближения к конусу вулкана Авачинский в 1972–1975 гг., по-видимому, был вызван усилением сейсмической активности под вулканом в эти годы. Особо значимый подъем начинается с места расположения репера 26 (рис. 2а) Время начала подъема неизвестно. На месте репера 35, удаленном от кратера вулкана на 7 км, подъем составил 4,8 см в период (формально) 1968–1975 гг. К 1980 году подъем сменился на опускание примерно на эту же величину, и оно распространилось до рп. 29, т. е. на удалении от кратера почти на 17 км. В дальнейшем этот участок по 1984 г. испытал подъем на величину 3,2 см на репере 35, а по 1987 г. этот репер опустился на 3,9 см (рис. 2а). На этом же профиле от рп. 26 до реперов 37 и 38 нивелирование выполнено в 1967 и 1971 гг. С учетом этих данных построены графики вертикальных движений реперов относительно рп. 26 (рис. 2б), из которых следует, что за один год с 1967 по 1968 гг. произошло незначительное опускание (до 10 мм) участка от рп. 29 до рп. 35, а в 1971 г. был зафиксирован уже подъем того же участка, который продолжался по 1975 г.

На втором нивелирном профиле от рп. 142 до рп. 6800 (рис. 1) частота измерений также была разной на разных участках. Наиболее частые измерения выполнены от удаленного от кратера на 13 км репера 151 до рп. 6800, и по этим данным составлены графики относительных движений реперов (рис. 3). Характер вертикальных деформаций на этом участке сходен с деформациями на первом профиле, например в периоды 1975–1980 гг. и 1980–1982 гг. В целом же наблюдается также колебательный характер вертикальных подвижек вблизи конуса вулкана, но уже под другим азимутом. Если же рассматривать вертикальные движения относительно рп. 142 (рис. 3), удаленного от кратера на 18 км, то представление об общем характере изменения высот реперов вдоль этого профиля не изменится, но выясняется, что рп. 151 опустился в период 1975–1980 гг. на 2,2 см относительно рп. 142.

Такие колебательные вертикальные движения земной поверхности (то опускание, то подъем) вблизи конуса вулкана, по-видимому, объясняется изменением давления в приповерхностном магматическом очаге, куда новая порция магмы внедрилась во время усиления сейсмической активности под вулканом в 1973–1975 гг. Изменение давления в очаге возникает из-за изменения напряженно-деформированного состояния земной коры в окрестностях вулкана по действием пододвигания Тихоокеанской плиты под Евразийскую. В данном случае неглубокий магматический очаг вулкана Авачинский «работает» как природный объемный деформометр.

Превышение между реперами Астропункт (А) и 11 (рис.1), измеренные в 1967 и 1972 годах, отличаются друг от друга на 13,2 см. Это изменение с большой вероятностью произошло в момент сильного землетрясения 24 ноября 1971 г. ( $M=7,2$ ;  $H = 125$  км), эпицентр которого находился в Авачинском заливе на расстоянии 68 км от г. Петропавловска-Камчатского. Анализ изменений превышений между реперами А-6, 6-8, 8-11, определенных в 1967, 1972, 1975 годах, доказывает, что в момент землетрясения 1971 г. произошло опускание берега Авачинской губы на участке от рп. А по рп. 8 со слабым наклоном на юго-восток. Максимальное значение опускания неизвестно. По-видимому, сразу после землетрясения началось постепенно возвратное движение, и летом 1972 г. были зафиксированы опускания реперов на этом участке в пределах от 7,8 см до 13,2 см относительно стабильного репера 11. С 1972 по 1975 гг. возвратное движение (подъем участка берега) составило максимум на 8,4 см по сравнению с его уровнем в 1972 году.

Относительные смещения реперов (колебание уровня земной поверхности) в юго-западном секторе вулкана на расстоянии до 17 км от кратера превышают погрешности их определения (выходят за границы интервала доверия), в их поведении нет закономерности. Причины такого характера подвижек пока не удалось уловить (понять), возможно разнонаправленность связана с миграцией источника давления в подводящем канале вулкана, либо изменением упругих напряжений в верхних частях земной коры.

### **Проект продолжения исследований деформаций земной поверхности**

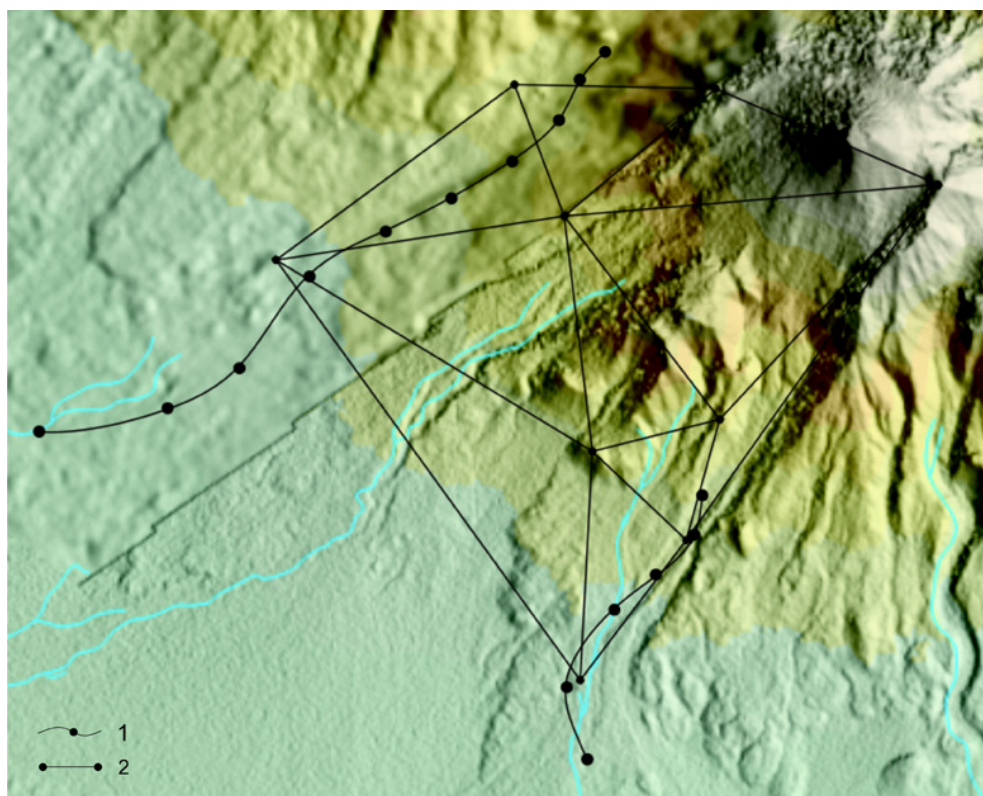
#### **в районе вулкана Авачинский методами GNSS-технологий и нивелирования I класса**

С появлением ГНСС технологии, в том числе для точного определения своего местоположения, стало возможным одновременное изучение горизонтальных и вертикальных составляющих деформаций земной поверхности практически непрерывно во времени, то есть вести мониторинг с высокой точностью. При этом горизонтальные подвижки определяются с погрешностью первые миллиметры на базах от первых метров до 100 км, а вертикальные с погрешностью около 2 см.

Кроме показанных выше результатов исследований вертикальных подвижек в окрестностях вулкана Авачинский в 1964-1995 гг., здесь выполнялись повторные измерения длин линий светодальномерами на отдельных небольших участках. Результаты этих работ рассмотрены в работах [2,7]. Погрешность этих измерений определялась по формуле ( $2\text{мм} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$ ),

где  $D$  расстояние между пунктами установки светодальномера и отражателя. Рассчитанная по этой формуле погрешность для расстояния в 5 км составляет  $\pm 1,2$  см, а погрешность разности расстояния в двух «эпохах» равна  $\pm 1,7$  см. Как правило, уверенно рассматриваются расхождения превышающие эту величину в два раза, то есть  $\pm 3,4$  см. В выполненных повторных измерениях в предыдущие годы не были замечены расхождения в расстояниях, определенных в разное время, превышающие двойную погрешность измерений. Возможно горизонтальные подвижки и были, но они терялись в «шумах», то есть не превышали погрешностей определения более чем в два раза. ГНСС технология на порядок улучшает точность определения расстояний, кроме того «работает» независимо от погодных условий в любое время суток и в автоматическом режиме. Опираясь на эти преимущества, предлагается создать на первом этапе сеть установки спутниковых геодезических приемников по схеме (рис. 5) для дискретных двух суточных наблюдений. На пяти пунктах этой сети уже были выполнены наблюдения осенью 2015 г.

Очень трудоемкие геометрическое нивелирование является на сегодняшний день самым точным методом определения превышений между реперами. Поэтому этим методом будут продолжены исследования вертикальных деформаций земной поверхности по двум профилям на самых чувствительных участках этих профилей (рис. 5).



**Рис.5.** Схема геодезических наблюдений в окрестностях вулкана Авачинский методами ГНСС – технологии и высокоточного нивелирования.

### Выводы

1. Вертикальные движения земной поверхности в окрестностях вулкана Авачинский возрастают по мере приближения к постройке его (конусу вулкана).

2. Закономерность вертикальных движений во времени не замечена, они носят колебательный характер.

3. Перед слабым извержением вулкана в январе 1991 г. не наблюдались значимые изменения высот реперов, определенных в летнее время в 1988–1990 годах.

4. После извержения 1991 г. по выполненным измерениям в 1993 и 1995 годах наблюдалось значимое воздымание земной поверхности даже на расстоянии 15 км от кратера.

5. Сильное землетрясение в ноябре 1971 г. с эпицентром в 68 км от города Петропавловска-Камчатского вызвало опускание берега Авачинской губы в районе морского порта на величину вероятно более 13 см.

### Список литературы

1. Дроздин В.А., Муравьев Я.Д. Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке (январь 1991 г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 3-19.
2. Кириенко А.П., Никитенко Ю.П. Особенности горизонтальных и вертикальных деформаций земной поверхности на Петропавловском геодинамическом полигоне (Камчатка) за период 1974-1982 гг. // Вулканология и сейсмология. 1986. № 3. С. 38-47.
3. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н. и др. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть I (1737-1909 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13-27.
4. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н. и др. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть II (1926-1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3-23.
5. Токарев П.И. О долгожданном прогнозе извержений Авачинского вулкана // Бюл. вулканол. ст., 1971. № 47. С. 33-36.
6. Токарев П.И., Широков В.А. Состояние и сейсмический режим Авачинского вулкана в 1971-1975 гг. - Бюл. вулканол. ст., 1977. № 53. С. 46-52.
7. Федотов С.А., Магуськин М.А., Левин В.Е. и др. Деформации земной поверхности на восточном побережье Камчатки и их связь с сейсмичностью // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 24-40.
8. Энман С.В., Золотарская С.Б., Никитенко Ю.П., Энман В.Б. Закономерности вертикальных движений земной поверхности на Петропавловск-Авачинском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 1986. № 4. С. 102-108.