

ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА МАЛЫХ ПЛОЩАДКАХ В РАЗЛОМНЫХ ЗОНАХ в 1984–1995 гг. НА КАМЧАТКЕ

© 2019 г. И. К. Миронов*, В. М. Магуськин

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9
e-mail: taliks123@mail.ru, magma@kscnet.ru

Поступила в редакцию 20.04.2018 г.

Приводится обзор высокоточных измерений расстояний светодальномерами и превышений из нивелирования I класса между долговременными геодезическими центрами на локальных деформационных площадках, заложенных на побережье Авачинского залива, с целью обнаружения деформационных предвестников вероятного сильного ($M > 7.0$) близкого землетрясения и получения количественных характеристик косейсмических деформаций. Сообщение в табличной форме содержит результаты всех измерений, выполненных в период 1984–1995 гг. Эти данные необходимы для будущих исследователей, так как между сохранившимися центрами (реперами) можно повторить измерения любыми точными методами, сравнить их с результатами прошлых лет и сделать более объективные выводы. За время наблюдений на всех площадках значимые изменения (превышающие двойную точность их определения) превышений и расстояний между геодезическими центрами не произошли. Произошедшее 02.03.1992 г. сильное ($M = 6.8$) землетрясение с эпицентром в Авачинском заливе не вызвало предвестников деформаций, не произошли и косейсмические деформации. Возможно, они были, однако чувствительность метода и удаленность площадок от гипоцентра землетрясения не позволили их обнаружить.

Ключевые слова: Землетрясение, наклонные расстояния, превышения, деформации, тренд.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019452-68>

ВВЕДЕНИЕ

Перед началом экспериментальных работ предполагалось, что появление на поверхности земли деформационных предвестников сильных землетрясений можно обнаружить повторными высокоточными геодезическими измерениями. Принципиально такие измерения можно выполнять на любой площади и с разной детальностью, причем, чем больше площадь, тем больше материальные затраты. До появления в геодезии Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) измерения проводились классическими методами, и их можно было выполнять только в благоприятных погодных условиях. Было очевидно – чем выше частота измерений, тем больше вероятность обнаружения деформационного предвестника. Однако на большой площади (сотни кв. км) измерения можно выполнить только один раз в год. По-видимому, ежегодными измерениями можно обнаружить тенденцию в изменениях вертикальных и горизонтальных составляющих деформаций и связывать их с текущей сейсмичностью некорректно. Частые измерения методами классической геодезии можно выполнять только на малых площа-

дах, так называемых деформационных площадках, и путем анализа этих данных попытаться обнаружить предвестники сильных землетрясений и получить количественные характеристики косейсмических деформаций. Такие измерения в окрестностях активных вулканов могут быть использованы в комплексе с другими данными для прогноза вулканических извержений.

Многочисленные публикации результатов повторных измерений показывают, что движения земной поверхности, иногда до нескольких сотен метров, происходят в моменты землетрясений, и направления подвижек пунктов, расположенных по разные стороны от разломной зоны, противоположны. Амплитуды их максимальны вблизи “бортов” разломной зоны [Кафтан, Докукин, 2007]. На основании этих фактов, выполнение частых высокоточных ($1 \cdot 10^{-6}$) геодезических измерений на малых площадках, расположенных на разломных зонах, казалось предпочтительным методом обнаружения деформационных предвестников сильных землетрясений. Так как непрерывные измерения, которые необходимы для краткосрочного прогноза, выполнять невозможно, то предполагалось, что

частые измерения будут полезными для среднесрочного прогноза (месяцы) сильных землетрясений. По предложению академика РАН С.А. Федотова [Федотов, Энман, 1973] в середине 1980-х годов в разных районах Камчатки были заложены деформационные площадки в предполагаемых активных разломных зонах. На этих площадках геодезические знаки представляют собой железобетонные столбы (далее пункты) диаметром 300 мм со стальными плитами, вмонтированными в верхнюю грань и служащими для принудительного центрирования геодезических приборов. Основания пунктов имеют бетонные якоря $1 \times 1 \times 0,3$ м. Глубина заложения якорей зависит от свойств грунта в месте установки знака и составляет 1,1–2,5 м. Высота такого пункта над земной поверхностью составляет 1,4–1,6 м. В основание каждого пункта на высоте 0,10–0,30 м над поверхностью земли заложен нивелирный репер скального типа из латуни. На некоторых деформационных площадках заложены грунтовые реперы и имеются реперы государственной нивелирной сети I класса. На всех площадках измеряемыми величинами являлись расстояния между пунктами, определенные светодальномером СП-2 и превышения между нивелирными знаками, известные из нивелирования по программе I класса с применением нивелира Ni005A. Методика производства измерений была единой во все годы. Камеральная обработка измеренных линий проводилась по методике, предложенной изготовителем СП-2, и отраженной в “Техническом описании и инструкции по эксплуатации СП-2”. Погрешность определения длины линий была не более $2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$, где D — длина линии в мм. Превышения определялись с погрешностью $0,5 \text{ мм} \cdot \sqrt{n}$, где n — число установок нивелира на штативе в промежутке между нивелирными знаками.

Так как геодезические знаки на деформационных площадках долговременные, то измерения на них можно повторить через десятилетия и по результатам сравнения их с предыдущими данными сделать более объективные выводы.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Деформационная площадка “Центр” имеет вид геодезического четырехугольника и расположена в центре г. Петропавловска-Камчатского (рис. 1а). Табл. 1 содержит все измеренные наклонные расстояния, приведенные к центрам стальной плиты в верхней части пункта. Графики изменения во времени расстояний представлены на рис. 1б. По всем линиям не просматривается тренд в изменениях. Разброс изменений от среднего значения за все годы не превышает двойной точности определения длины линии

(± 4 мм). Заметно, что длины линий, измеренные при отрицательных температурах, короче, чем длины, измеренные при положительных, и это объясняется, вероятнее всего, несовершенством введения поправок в расстояние за метеоусловия во время измерений в разные времена года.

На этой же площадке в мае 1984 г. было выполнено нивелирование I класса между пунктами 1 и 4 и пунктом городской триангуляции “Сигнальный”, который расположен рядом с пунктом 4 (см. рис. 1а). Измеренные превышения оказались равными: $-0,4339$ м между п. Сигнальный и пунктом 4 (скальный репер в основании бетонной тумбы); $+30,4191$ м между скальным репером в основании пункта 4 и скальным репером в основании пункта 1.

Деформационная площадка “Створ” выполнена в виде геодезического профиля протяженностью 2,1 км и состоит из 4-х пунктов. Здесь же заложены грунтовые реперы 879 и 1310 (рис. 2а). Пункт 21 совмещен с государственным пунктом триангуляции “Новая”. Из представленных в табл. 2 наклонных расстояний, измеренных в период с 1988 по июль 1992 гг., и графика изменений их во времени (см. рис. 2б) следует: отсутствие тренда и сезонного хода в изменениях длин линий колебательный характер этих изменений за все годы величины отклонений от среднего значения не превышала ± 4 мм, что не более двойной точности измерений. Судя по этим отклонениям, точность измерения линий не зависела от их длины. Превышения из нивелирования I класса (известные с погрешностью не более $0,5 \cdot \sqrt{L}$ мм, где L — расстояние между реперами в км) показали, что изменения превышений между грунтовыми реперами, заложенными в болотистой местности и любыми из бетонных столбов, доходят до 21 мм, в то же время изменения превышений между столбами, заложенными в благоприятных грунтовых условиях, лежат в пределах точности их определения (табл. 3, см. рис. 2в). На основании этих фактов следует признать неустойчивость грунтовых реперов, заложенных в болотистой местности, и исключить их в последующих измерениях.

Деформационная площадка “Океанская” расположена южнее г. Петропавловска-Камчатского. Пункты заложены на преобладающих высотах, окружающих озеро Банное, и образуют геодезический четырехугольник (рис. 3а). Результаты измеренных наклонных расстояний и графики их изменений во времени приведены, соответственно, в табл. 4 и на рис. 3б. Графики показывают, что по всем линиям отсутствует тренд в изменениях расстояний. Их колебания носят случайный характер (максимум до 7 мм) и, по видимому, это связано с несовершенством учета метеорологических поправок к расстояниям.

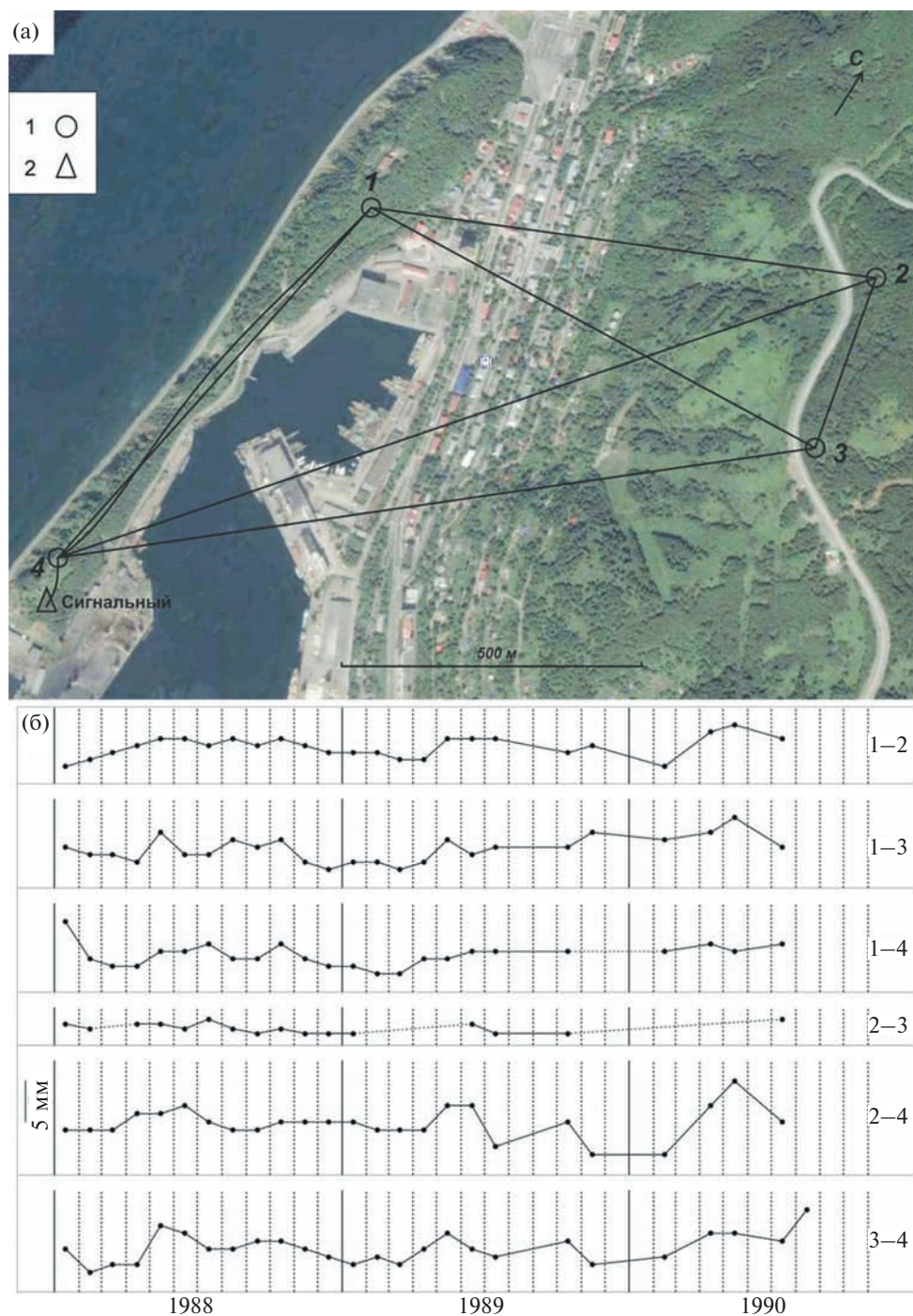


Рис. 1. Деформационная площадка “Центр”.

а — схема расположения пунктов: 1 — места установки светодальномера и отражателя, 2 — пункт триангуляции (сплошной линией обозначены измеренные линии, волнистой — трасса нивелирования); б — изменения длин линий.

Деформационная площадка “Островная” состоит из шести линий, образующих профиль длиной 11 км, который вытянут непосредственно вдоль берега Авачинского залива и пересекает устья рек Островная и Вахиль (рис. 4а). В створе профиля находятся два репера государственной нивелирной сети I класса № 1430 и № 167. В табл. 5 приведены значения наклон-

ных расстояний, измеренных в период с 1987 по 1992 гг., а на рис. 4б — графики изменений их во времени. Измерения выполнялись всегда в осенне-зимний период. Результаты измерений 18–21 августа 1989 г. показали слабое укорачивание длин почти всех линий, т.е. сжатие по всему профилю, которое в целом может быть связано с подготовкой землетрясения 13 класса,

Таблица 1. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке "Центр", м

Дата	Название линий					
	1–2	1–3	1–4	2–3	2–4	3–4
год/месяц/число						
1988.01.12-14	1149.674	1162.087	1009.817	435.196	1817.246	1576.100
1988.02.09-10	1149.675	1162.086	1009.812	435.195	1817.246	1576.097
1988.03.21-22	1149.676	1162.086	1009.811		1817.246	1576.098
1988.04.18-19	1149.677	1162.085	1009.811	435.196	1817.248	1576.098
1988.05.17-18	1149.678	1162.089	1009.813	435.196	1817.248	1576.103
1988.06.14-15	1149.678	1162.086	1009.813	435.195	1817.249	1576.102
1988.07.14-18	1149.677	1162.086	1009.814	435.197	1817.247	1576.100
1988.08.26-29	1149.678	1162.088	1009.812	435.195	1817.246	1576.100
1988.09.27-29	1149.677	1162.087	1009.812	435.194	1817.246	1576.101
1988.10.17-20	1149.678	1162.088	1009.814	435.195	1817.247	1576.101
1988.11.16-18	1149.677	1162.085	1009.812	435.194	1817.247	1576.100
1988.12.26-27	1149.676	1162.084	1009.811	435.194	1817.247	1576.099
1989.01.11-16	1149.676	1162.085	1009.811	435.194	1817.247	1576.098
1989.02.09-10	1149.676	1162.085	1009.810		1817.246	1576.099
1989.03.10-14	1149.675	1162.084	1009.810		1817.246	1576.098
1989.04.17-20	1149.675	1162.085	1009.812		1817.246	1576.100
1989.05.04-05	1149.678	1162.088	1009.812		1817.249	1576.102
1989.06.05-07	1149.678	1162.086	1009.813	435.196	1817.249	1576.100
1989.07.25-26	1149.678	1162.087	1009.813	435.194	1817.244	1576.099
1989.10.02	1149.676	1162.087	1009.813	435.194	1817.247	1576.101
1989.11.17-23	1149.677	1162.089			1817.243	1576.098
1990.02.01-02	1149.674	1162.088	1009.813		1817.243	1576.099
1990.04.25-28	1149.679	1162.089	1009.814		1817.249	1576.102
1990.05.29-31	1149.680	1162.091	1009.813		1817.252	1576.102
1990.07.03-06	1149.678	1162.087	1009.814	435.197	1817.247	1576.101
1990.08.27-28	1149.678	1162.088	1009.813	435.195	1817.250	1576.105

произошедшего 15 сентября 1989 г. вблизи полуострова Шипунский. Предположение основано на следующих обстоятельствах: эпицентр землетрясения находился в створе профиля на расстоянии 54 км, другие землетрясения с энергетическим классом 13 и выше произошли в несколько раз дальше от профиля или были меньшего класса.

Наряду с измерением расстояний между пунктами проводилось нивелирование I класса на участке длиной 5.2 км. Результаты приведены в табл. 6. Значимых вертикальных движений не наблюдалось, или они пропущены вследствие редких измерений.

Деформационная площадка "Объездная" создана в 1984 г. в предполагаемой разломной зоне

Таблица 2. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке "Створ", м

Дата год/месяц/число	Название линий				
	21–20	21–19	21–18	19–18	20–19
1988.01.07-11	1178.919	1493.328	2120.574	627.920	315.097
1988.02.04-05	1178.918	1493.329	2120.572	627.916	315.098
1988.03.23-24	1178.918	1493.329	2120.572	627.920	315.098
1988.04.20	1178.918	1493.332	2120.576	627.920	315.098
1988.05.19	1178.921	1493.332	2120.576	627.920	315.096
1988.06.21	1178.918	1493.330	2120.572	627.918	315.096
1988.07.13	1178.918	1493.330	2120.569	627.918	315.093
1988.08.24-25	1178.916	1493.329	2120.572	627.919	315.095
1988.09.19	1178.918	1493.329	2120.572	627.918	315.095
1988.10.21 28	1178.924	1493.331	2120.570	627.918	315.088
1988.11.14 21	1178.922	1493.327	2120.571	627.920	315.088
1988.12.09 14	1178.924	1493.329	2120.567	627.918	315.089
1989.01.05-06	1178.926	1493.328	2120.570	627.918	315.092
1989.02.16 20	1178.926	1493.330	2120.569	627.918	315.092
1989.03.15-16	1178.925	1493.327	2120.568	627.918	315.092
1989.04.21 24	1178.926	1493.329	2120.569	627.916	315.091
1989.05.10 12	1178.926	1493.330	2120.571	627.917	315.091
1989.06.07-09	1178.928	1493.332	2120.573	627.918	315.090
1989.09.11-12 22	1178.928	1493.327	2120.571	627.917	315.091
1989.10.23 26 11.01	1178.924	1493.327	2120.573	627.917	315.093
1989.11.28-29	1178.925	1493.328	2120.571	627.917	315.091
1990.01.17-18	1178.924	1493.328	2120.571	627.918	315.091
1990.02.23		1493.328			
1990.03.11-12		1493.327	2120.575	627.918	
1990.05.15-18	1178.928	1493.332	2120.576	627.918	
1990.06.18	1178.929	1493.333	2120.578	627.918	
1990.08.01-02	1178.926	1493.328	2120.574	627.918	
1990.09.11-14	1178.927	1493.329	2120.577	627.919	
1992.07.14	1178.929	1493.332	2120.577	627.916	

Примечание. Изменения длин линий 21–20 и 20–19 с 21 октября 1988 г. связаны с механическим воздействием на бетонный столб.

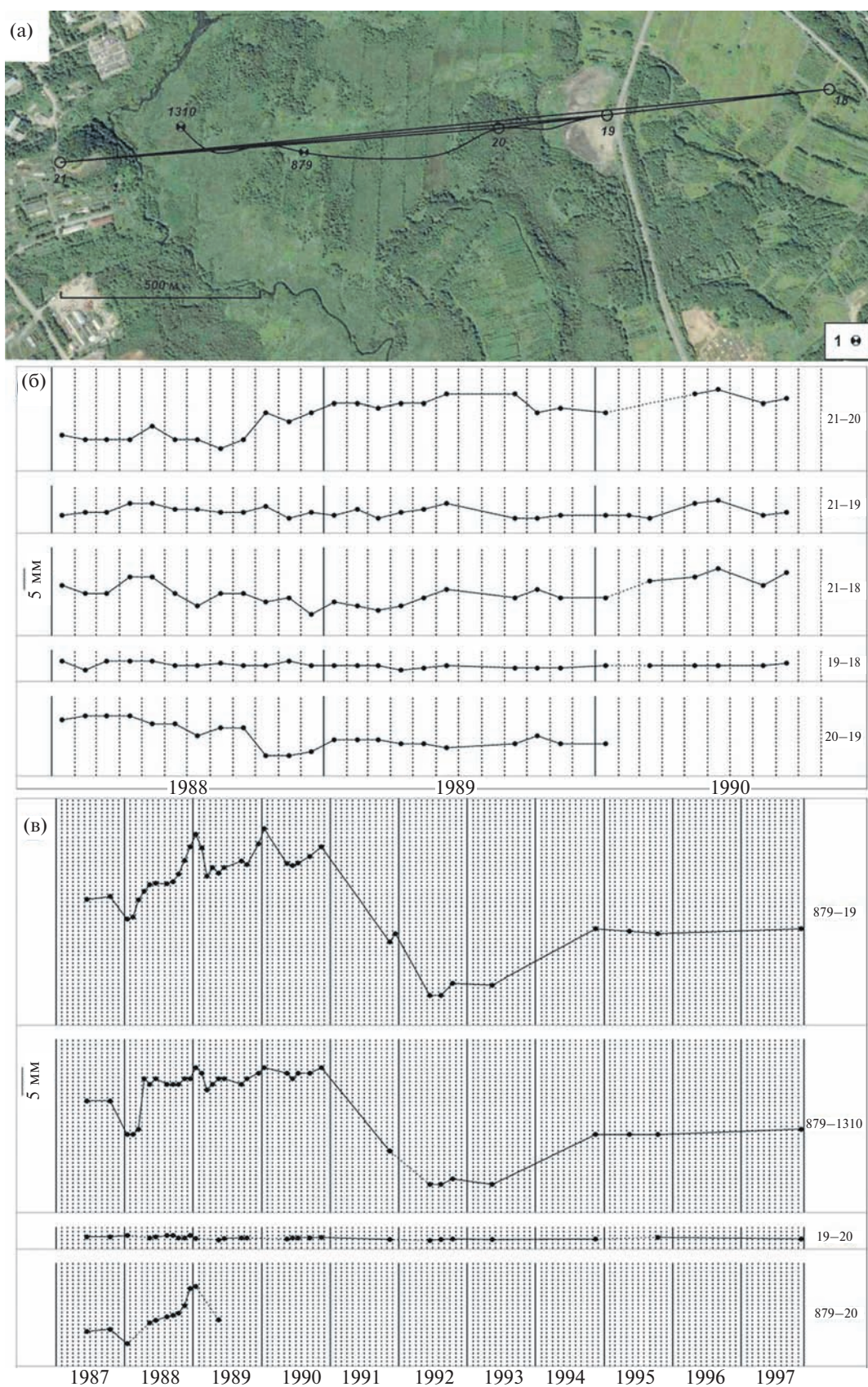


Рис. 2. Деформационная площадка “Створ”.

а – схема расположения пунктов и реперов (1310, 879): 1 – грунтовый репер (остальные обозначения см. рис. 1); б – изменения длин линий; в – изменения превышений.

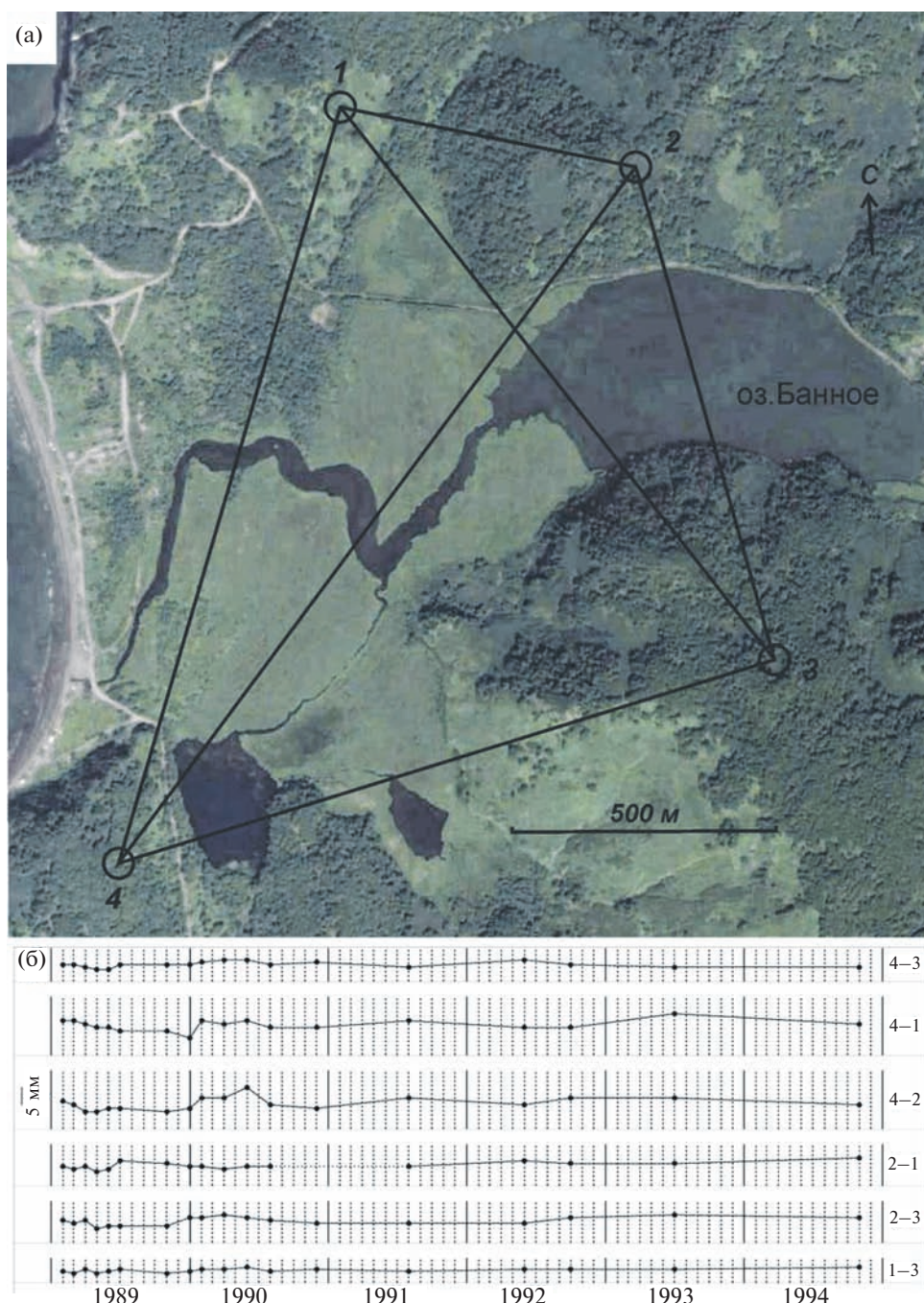


Рис. 3. Деформационная площадка “Океанская”.

а — схема расположения пунктов (условные обозначения см. рис. 1); б — изменения длин линий.

и состоит из 8 грунтовых реперов и уже имеющихся здесь реперов 1196 и 372 государственной нивелирной сети. Реперы расположены вдоль обьездной автомобильной дороги между городами Петропавловск-Камчатский и Елизово на участке от 14 км до 19 км (рис. 5а). Для выявления вертикальных деформаций круглогодично выполнялось нивелирование I класса вдоль этого профиля длиной 4.3 км. Анализ этих измерений приведен подробно в работе [Лакотко и др., 1989] и сделан обоснованный вывод: “ввиду отсутствия

значимых сейсмических событий нельзя выявить взаимосвязь смещений с подготовкой землетрясений”. Под “значимыми событиями” имелись в виду землетрясения с $M \geq 7$. С целью выявления ожидаемого сезонного хода вертикальных движений в табл. 7 приведены среднемесячные превышения и по этим значениям составлены графики их изменений. (см. рис. 5б). Из этих данных видно, что заметный сезонный ход наблюдается только по секциям (3–4, 4–5 и 5–7), тренд в изменениях превышений — отсутствует,

Таблица 3. Превышения, измеренные на деформационной площадке "Створ" нивелированием I класса, м

Дата год/месяц/число	Название секций нивелирного хода			
	19–879	879–1310	20–19	20–879
1987.06.09-18	–11.7192	1.2440	–13.7198	–25.4390
1987.10.09-10	–11.7197	1.2442	–13.7198	–25.4395
1988.01.14-15	–11.7160	1.2388	–13.7204	–25.4364
1988.02.20-21	–11.7164	1.2380		
1988.03.30	–11.7191	1.2394		
1988.04.27	–11.7206	1.2480		
1988.05.31	–11.7217	1.2479	–13.7192	–25.4409
1988.06.16	–11.7219	1.2480	–13.7196	–25.4415
1988.08.23	–11.7218	1.2470	–13.7204	–25.4422
1988.09.29	–11.7222	1.2471	–13.7204	–25.4426
1988.10.26-27	–11.7234	1.2470	–13.7192	–25.4430
1988.11.22-23	–11.7257	1.2482	–13.7190	–25.4447
1988.12.20-21	–11.7280	1.2488	–13.7204	–25.4484
1989.01.08-09	–11.7300	1.2504	–13.7189	–25.4489
1989.02.21	–11.7278	1.2485		
1989.03.23	–11.7231	1.2460		
1989.04.25	–11.7245	1.2470		
1989.05.17	–11.7236	1.2476	–13.7180	–25.4416
1989.06.12	–11.7245	1.2482	–13.7188	
1989.09.25	–11.7256	1.2474	–13.7192	
1989.10.20	–11.7250	1.2476	–13.7191	
1989.12.08	–11.7285	1.2487		
1990.01.20	–11.7309	1.2495		
1990.05.10-11	–11.7252	1.2486	–13.7185	
1990.06.13-14	–11.7249	1.2478	–13.7190	
1990.07.12	–11.7253	1.2492	–13.7192	
1990.09.05-06	–11.7264	1.2488	–13.7192	
1990.11.29-30	–11.7280	1.2500	–13.7194	
1991.11.26-27	–11.7122	1.2347	–13.7182	
1991.12.10	–11.7136			
1992.06.03	–11.7034	1.2293	–13.7177	
1992.08.13	–11.7034	1.2292	–13.7183	
1992.10.21	–11.7054	1.2299	–13.7184	
1993.05.17	–11.7051	1.2291	–13.7182	
1994.11.03	–11.7144	1.2381	–13.7184	
1995.05.25	–11.7140	1.2377		
1991.10.17	–11.7136	1.2384	–13.7194	
1997.11.11	–11.7144	1.2390	–13.7186	

Таблица 4. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке "Океанская", м

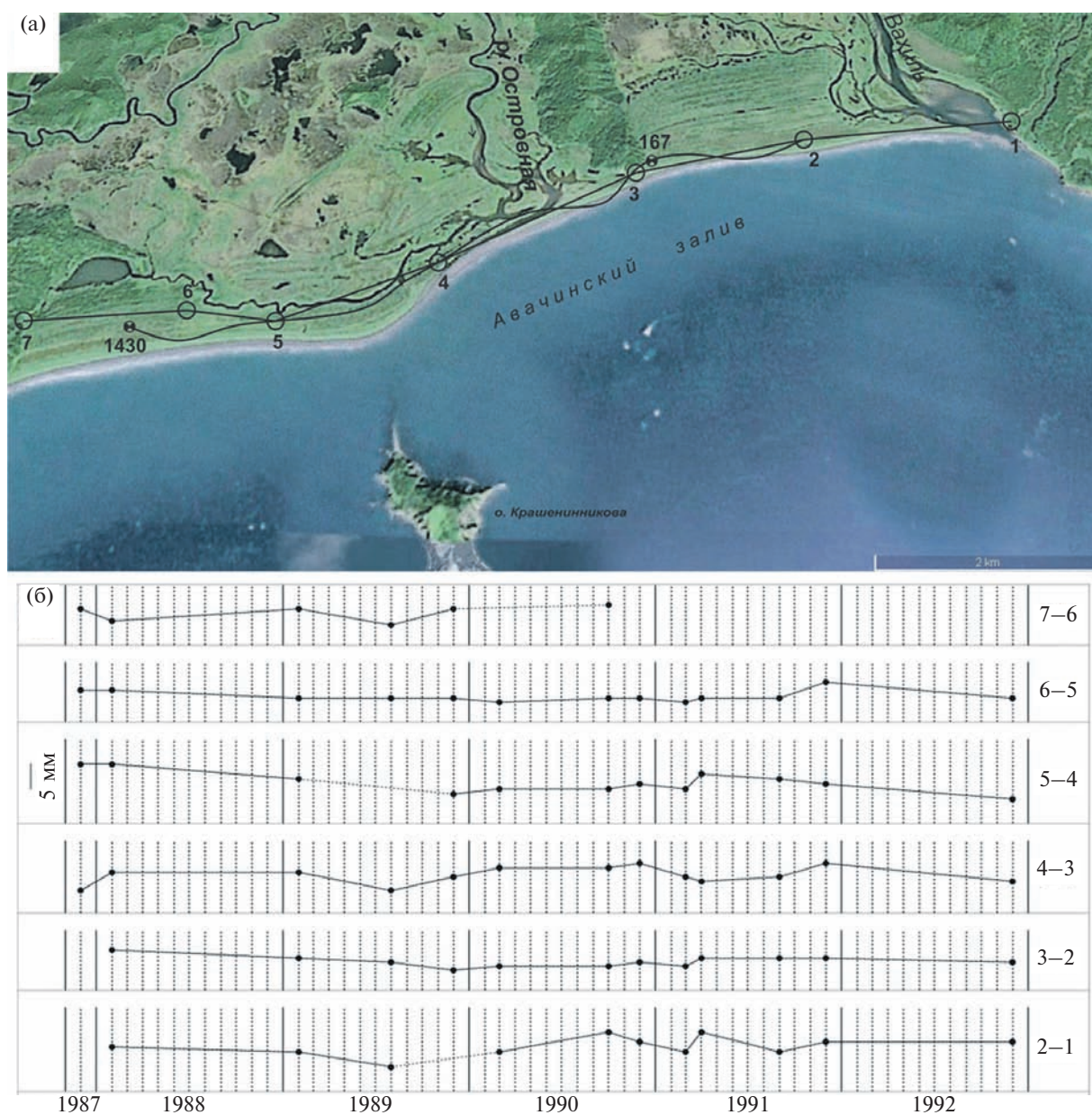
Дата год/месяц/число	Название линий					
	4–3	4–1	4–2	2–1	2–3	1–3
1989.02.24-25	1057.885	1613.872	1761.711	553.655	1046.262	1257.660
1989.03.21-22	1057.885	1613.872	1761.710	553.654	1046.261	1257.659
1989.04.13-14	1057.884	1613.871	1761.708	553.655	1046.262	1257.661
1989.05.24-29	1057.883	1613.870	1761.708	553.653	1046.259	1257.659
1989.06.13-15	1057.883	1613.870	1761.709	553.654	1046.260	1257.660
1989.07.31-08.01	1057.885	1613.869	1761.709	553.657	1046.260	1257.661
1989.11.13-16	1057.885	1613.869	1761.708	553.656	1046.260	1257.659
1990.01.03-05	1057.885	1613.867	1761.709	553.655	1046.263	1257.660
1990.02.07-08	1057.886	1613.872	1761.712	553.655	1046.263	1257.661
1990.04.18-19	1057.887	1613.871	1761.712	553.654	1046.264	1257.661
1990.06.26-28	1057.887	1613.872	1761.715	553.655	1046.263	1257.662
1990.08.20-22	1057.885	1613.870	1761.710	553.655	1046.262	1257.660
1990.12.14	1057.886	1613.870	1761.709		1046.261	1257.661
1991.08.24	1057.884	1613.872	1761.712	553.655	1046.261	1257.660
1992.06.18 23-24	1057.887	1613.870	1761.710	553.657	1046.261	1257.661
1992.10.30	1057.885	1613.870	1761.712	553.656	1046.263	1257.661
1993.07.19-20	1057.884	1613.874	1761.712	553.656	1046.264	1257.661
1994.11.01	1057.884	1613.871	1761.710	553.658	1046.263	1257.662

Таблица 5. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке "Островная", м

Дата год/месяц/число	Название линий					
	7–6	6–5	5–4	4–3	3–2	2–1
1987.12.17-23	1598.636	1028.064	1792.793	2403.144		
1988.02.27-03.03	1598.633	1028.064	1792.793	2403.148	1897.822	2339.947
1989.01.31-02.06	1598.636	1028.062	1792.790	2403.148	1897.820	2339.946
1989.08.18-21	1598.632	1028.062		2403.144	1897.819	2339.943
1989.12.24-26	1598.636	1028.062	1792.787	2403.147	1897.817	
1990.03.28-29		1028.061	1792.788	2403.149	1897.818	2339.946
1990.10.21-26	1598.637	1028.062	1792.788	2403.149	1897.818	2339.950
1990.12.22-23		1028.062	1792.789	2403.150	1897.819	2339.948
1991.03.20-23		1028.061	1792.788	2403.147	1897.818	2339.946
1991.04.26-27		1028.062	1792.791	2403.146	1897.820	2339.950
1991.09.02-07		1028.062	1792.790	2403.147	1897.820	2339.946
1991.12.20-25		1028.066	1792.789	2403.150	1897.820	2339.948
1992.12.09-12		1028.062	1792.786	2403.146	1897.819	2339.948

Таблица 6. Превышения, измеренные на деформационной площадке "Островная" нивелированием I класса, м

Дата год/месяц/число	Название секций нивелирного хода			
	2–167	1430–5	5–4	4–167
1987.09.09-11		0.2064	–0.0513	3.4436
1987.10.17-21		0.2050	–0.0511	3.4423
1989.08.08-16	2.0792	0.2063	–0.0512	3.4415
1991.09.01-06	2.0788	0.2066	–0.0508	3.4422

**Рис. 4.** Деформационная площадка "Островная".

а — схема расположения пунктов (условные обозначения см. рис. 1 и рис. 2); б — изменения длин линий.

Таблица 7. Превышения, измеренные на деформационной площадке "Объездная" нивелированием I класса, м

Дата год/месяц/число	Название секций нивелирного хода						
	1–2	2–3	3–4	4–5	5–7	7–8	8–9
1984.08.10-11	2.9650	1.7485					
1984.11.16-30	2.9627	1.7480		–19.8962	–17.9724	4.1380	–1.7976
1984.12.03 11	2.9632	1.7476		–19.8960	–17.9723	4.1350	–1.7939
1985.03.06 13		1.7470		–19.8944		4.1351	–1.7942
1985.06.10-30	2.9615	1.7484		–19.8945	–17.9715	4.1352	–1.7930
1985.07.01-30	2.9638	1.7480		–19.8948	–17.9715	4.1343	–1.7929
1985.08.01-30	2.9631	1.7480		–19.8944	–17.9724	4.1351	–1.7931
1985.09.02-30	2.9637	1.7476	–12.3479	–19.8954	–17.9721	4.1347	–1.7935
1985.10.02-31	2.9636	1.7476	–12.3482	–19.8957		4.1343	–1.7936
1985.11.04-29		1.7483	–12.3494	–19.8962	–17.9726	4.1344	–1.7937
1985.12.05-26	2.9627	1.7474	–12.3499	–19.8955	–17.9728	4.1345	–1.7932
1986.01.09-28		1.7484	–12.3495	–19.8955	–17.9730	4.1346	–1.7927
1986.02.05-26		1.7473	–12.3492	–19.8954	–17.9721	4.1340	–1.7941
1986.03.04-21		1.7480		–19.8949	–17.9722	4.1341	–1.7934
1986.04.09-23		1.7475	–12.3482	–19.8943	–17.9715	4.1503	–1.8084
1986.05.16 22		1.7474	–12.3482	–19.8950	–17.9712	4.1505	–1.8091
1986.06.04-25	2.9632	1.7477	–12.3482	–19.8934	–17.9720	4.1498	–1.8092
1986.07.03-29	2.9642	1.7475	–12.3488	–19.8951	–17.9723	4.1494	–1.8090
1986.08.02-22	2.9633	1.7482	–12.3490	–19.8948	–17.9727	4.1501	
1986.09.02 13	2.9626	1.7473	–12.3499	–19.8952	–17.9740	4.1500	
1986.10.30	2.9636		–12.3495	–19.8966	–17.9741	4.1506	–1.8097
1986.11.04	2.9631		–12.3499	–19.8972		4.1503	–1.8103
1987.03.24				–19.8955			
1987.04.06 16	2.9627	1.7463	–12.3498	–19.8963	–17.9731	4.1497	–1.8103
1987.05.28-29		1.7483	–12.3495	–19.8954		4.1501	–1.8101
1987.07.03-31		1.7483	–12.3491	–19.8959	–17.9731	4.1501	–1.8094
1987.10.08-28		1.7477	–12.3497	–19.8972	–17.9723	4.1492	–1.8107
1988.01.21			–12.3497	–19.8955	–17.9732	4.1496	–1.8110
1988.05.25 30	2.9628	1.7482	–12.3496		–17.9738	4.1492	–1.8096
1988.06.01-29	2.9634	1.7480	–12.3496	–19.8951	–17.9728	4.1498	–1.8098
1988.07.01-20		1.7484	–12.3496	–19.8955	–17.9733	4.1496	–1.8100
1988.08.01 05		1.7481	–12.3499	–19.8960	–17.9739	4.1493	–1.8097
1988.10.11-20		1.7479	–12.3498	–19.8954	–17.9738	4.1502	–1.8100
1989.05.18-31		1.7471	–12.3494	–19.8961	–17.9735	4.1499	–1.8094
1989.06.02-20		1.7471	–12.3495	–19.8954	–17.9738	4.1498	–1.8093
1989.07.21		1.7471	–12.3494				
1990.06.15			–12.3486	–19.8946	–17.9722	4.1502	–1.8092

Примечание. 09 апреля 1986 г. было обнаружено, что латунный штырь репера 8 согнут, вследствие чего изменились превышения 8–9 и 7–8, соответственно, на 15 мм и на 16.2 мм. Эти изменения на графиках не показаны.

отклонение каждого среднемесячного превышения от среднего за все годы не превышает двойной точности определения. К сожалению, в публикации [Лакотко и др., 1989] не приведены значения измеренных превышений и это исключает возможность сравнения с ними последующих измерений. Показанные в табл. 7 среднемесячные значения исключают этот недостаток, т.е. предыдущие фактические данные не “исчезают”.

За горизонтальными подвижками следили вторичными измерениями длин 4-х линий высокоточным светодальномером СП-2, установленном на пункте 10 (см. рис. 5а). Результаты приведены в табл. 8, из которой следует, что в изменениях длин линий не наблюдается тренд; их откло-

нения от среднего за все годы не превышают двойной точности измерений.

Деформационная площадка “Налычево” расположена на побережье Авачинского залива, в районе так называемого “Халактырского” пляжа. Нивелирный профиль, совмещенный с линейным, вытянут вдоль берега Авачинского залива, имеет общую длину 7 км (рис. 6). Измерения линий (светодальномером СГ-3 с пункта 6, погрешностью $2 \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D$) выполнялись с целью обнаружения ожидаемых деформаций сжатия перед сильными землетрясениями. Результаты измеренных наклонных расстояний и превышений приведены в табл. 9 и 10. Из этих данных следует, что в наклонных расстояниях в период 1982–1984 гг. не наблю-

Таблица 8. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке “Объездная”, м

Дата год/месяц/число	название линий			
	10–13	10–9	10–12	10–11
1984.09.13		678.244	1342.088	1205.709
1985.06.27	2327.584	678.244	1342.090	1205.709
1985.07.09	2327.583	678.243	1342.088	1205.707
1985.07.13	2327.580	678.244	1342.091	1205.711
1985.07.19	2327.580	678.242	1342.086	1205.707
1985.07.27	2327.579	678.242	1342.086	1205.706
1987.07.02-09	2327.580	678.245	1342.090	1205.712
1987.07.12-18	2327.585	678.244	1342.082	1205.706
1987.07.20-31	2327.586	678.245	1342.082	1205.706
1987.08.02-10	2327.586	678.244	1342.083	1205.704
1987.08.11-24		678.243		1205.706
1987.08.25-31		678.249		1205.706
1987.09.01-05				1205.704
1987.10.07-10	2327.584			1205.709
1987.10.14-29	2327.581			1205.707

Таблица 9. Наклонные расстояния, измеренные на деформационной площадке “Налычево”, м

Дата	Название линий							
	6–62	6–63	6–64	6–65	6–66	6–67	6–68	62–63
1982	7658.922	7322.130	6974.354	6702.777	5777.032	5596.335	6019.167	
1983		7322.137	6974.368	6702.793	5777.050	5596.333	6019.160	509.607
1984	7658.906	7322.123		6702.789	5777.045	5596.331	6019.180	509.608
Дата	Название линий							
	63–64	64–65	65–66	66–67	67–68			
1982		472.375	1855.929	1903.425	1785.565			
1983	526.502		1855.923	1903.418	1785.557			
1984			1855.921	1903.420	1785.561			

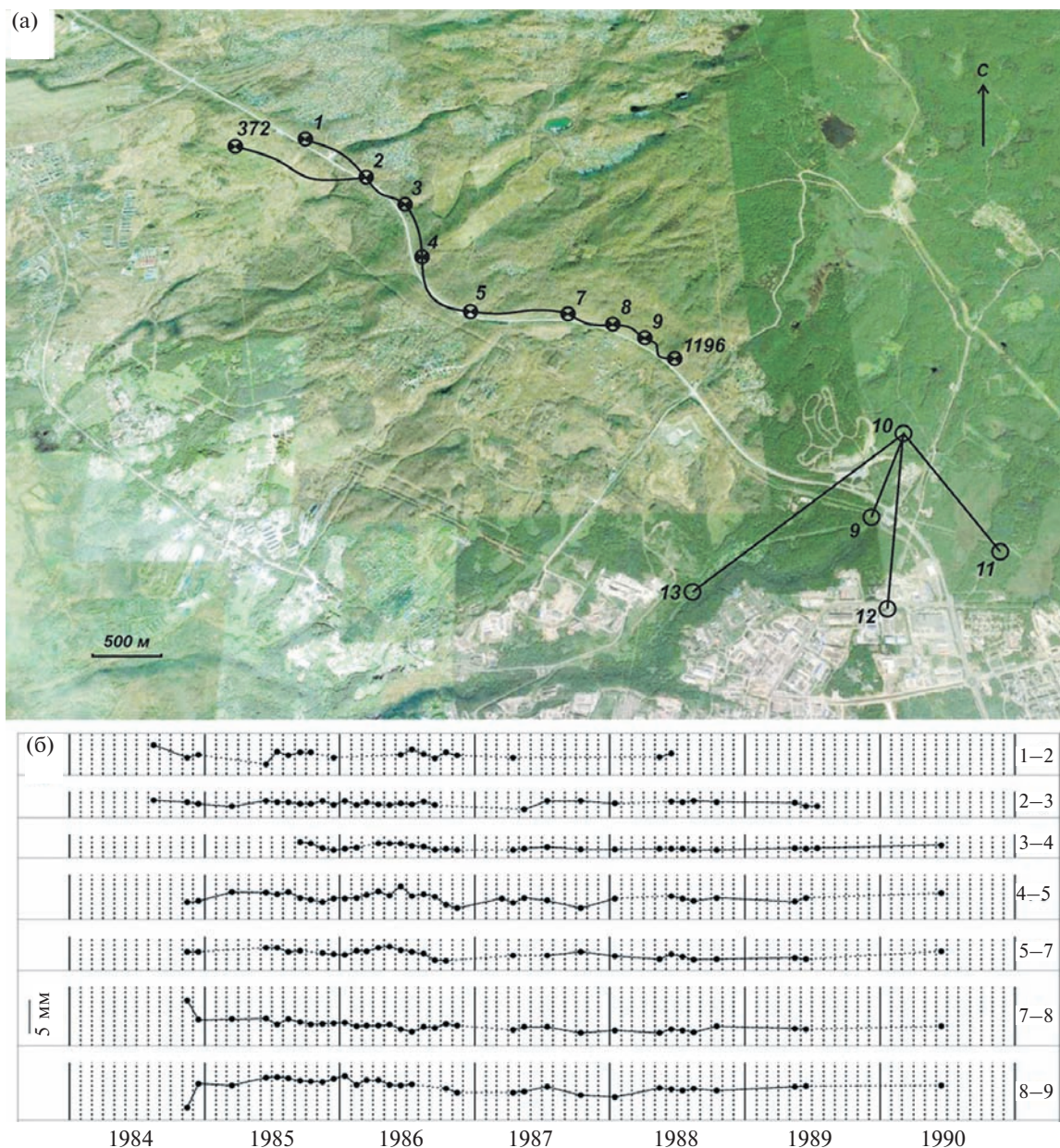


Рис. 5. Деформационная площадка “Объездная”.

а — схема расположения пунктов (условные обозначения см. рис. 1 и рис. 2); б — изменения превышений.

дается ни сжатие, ни растяжение. Отклонения их от среднего в целом не превосходят двойной точности их определения. Из сравнения превышений, измеренных в период 1983–1986 гг., можно заключить, что в этот период значимых вертикальных подвижек земной поверхности в этом районе не происходило.

Деформационная площадка “Чапаевка” состоит из двух участков — геодезического четырехугольника и обособленного нивелирного профиля (рис. 7а). За горизонтальными подвижками планировалось следить повторными измерениями расстояний между пунктами светодально-

мером СП-2 (погрешность $2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$). Результаты измеренных в 1989 г. линий приведены в табл. 11. В другие годы измерения не выполнялись. С целью определения вертикальных движений земной поверхности, перед сильными ($M > 7$) землетрясениями в Авачинском заливе, выполнялись нивелирования I класса по трассе от репера 800 до репера 275, проходящей вдоль автомобильной дороги (см. рис. 7а). С июня 1993 г. по май 1994 г. превышения между реперами определялись ежемесячно и изменения их оказались случайными ($\pm 3 \text{ мм}$ от среднего значения за год) (табл. 12). Не наблюдается связь

Таблица 12. Превышения, измеренные на деформационной площадке "Чапаевка" нивелированием I класса, м

Дата год/месяц/число	Названия секций нивелирного хода		
	800—183	183—139	139—275
1993.06.01-02	−7.4932	−12.3566	35.8554
1993.07.08-10	−7.4954	−12.3591	35.8586
1993.08.16 21	−7.4924	−12.3598	35.8614
1993.09.13 23	−7.4943	−12.3583	35.8597
1993.10.07	−7.4961	−12.3565	35.8642
1993.11.10	−7.4947	−12.3606	35.8642
1993.12.26 27	−7.4953	−12.3562	35.8552
1994.01.14	−7.4960	−12.3602	35.8548
1994.02.13	−7.4930	−12.3579	35.8574
1994.03.09-10	−7.4986	−12.3582	35.8610
1994.04.13	−7.4980	−12.3576	35.8582
1994.05.17	−7.4981	−12.3570	35.8576
Среднее:	−7.4954	−12.3582	35.8590

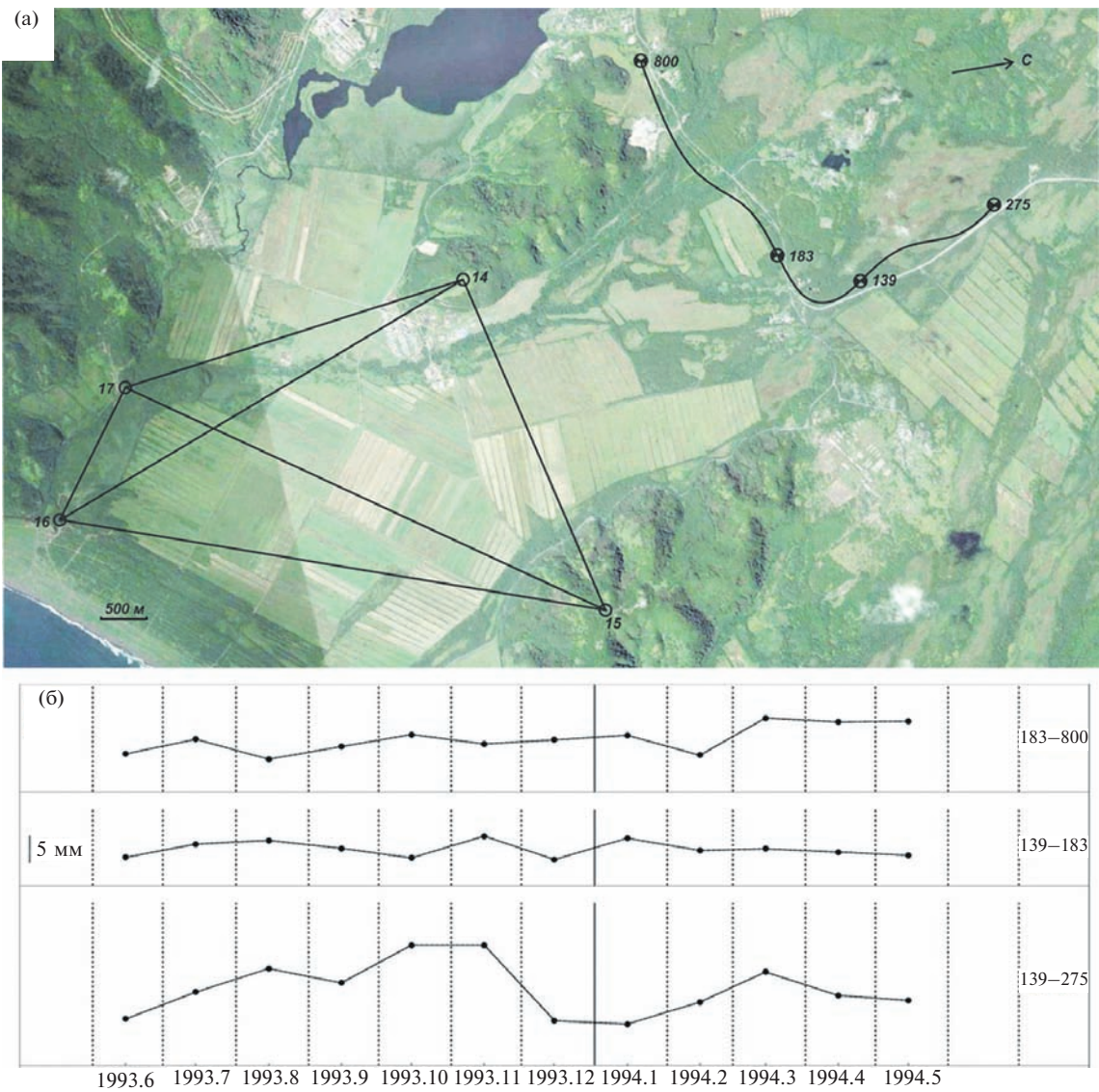


Рис. 7. Деформационная площадка "Чапаевка".

а — схема расположения пунктов (условные обозначения см. рис. 1 и рис. 2); б — изменения превышений.

геодезической аппаратуры. Например, в отрогах Заилийского Алатау на севере Тянь-Шаня, непрерывная запись кварцевого деформографа с базой 25 м за 15 дней до землетрясения с $M = 6.0$ на эпицентральной дистанции 250 км показала деформацию сжатия величиной $9 \cdot 10^{-8}$ [Калабаев, 1989]. Такие деформации не могут быть обнаружены геодезическими измерениями. Даже сильное ($M = 6.8$) землетрясение 2 марта 1992 г., очаговая зона которого расположена в подводном продолжении полуострова Шипунский (Камчатка), не вызвало косейсмические деформации на площадках “Океанская” и “Островная”, находящихся на расстояниях 100–120 км от эпицентра. По модельным представлениям о вертикальных и горизонтальных смещениях земной поверхности [Кузьмин, Чуриков, 1998] на таких расстояниях ожидаемые смещения не будут превосходить величину, равную двойной точности их определения.

Авторам известен единственный случай на Камчатке, когда была зарегистрирована вертикальная составляющая деформационного краткосрочного предвестника сильного ($M = 6.9$) землетрясения, происшедшего 17 августа 1983 г. в центре излучины побережья Камчатского залива, вблизи устья р. Сторож. На нивелирной трассе, удаленной от эпицентра на 7–20 км, вертикальные деформации начались примерно за 12 суток и происходили с нарастанием вплоть до момента землетрясения [Fedotov et al., 1992].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На побережье Авачинского залива, в г. Петропавловск-Камчатский и его окрестностях, в предполагаемых разломных зонах на сравнительно небольших участках (деформационных площадках) заложены долговременные геодезические центры. В период 1984–1995 гг. между этими центрами определены расстояния и превышения с многократным повторением.

Повторными геодезическими измерениями на деформационных площадках не зафиксированы горизонтальные и вертикальные деформации земной поверхности, в 2–3 раза превышающие погрешности их определения, которые в геодезической практике считаются значимыми. В наблюдаемый период в Авачинском заливе и поблизости от деформационных площадок не происходили землетрясения с $M > 7$, а происшедшее 2 марта 1992 г. землетрясение с $M = 6.8$ на эпицентральной дистанции 100–120 км от мест расположения деформационных площадок могло бы вызвать, по модельным представлениям [Кузьмин, Чуриков, 1998], вертикальные движения реперов только в пределах первых мм и горизонтальные деформации до $4 \cdot 10^{-6}$.

Опубликованные фактические данные (расстояния и превышения), доступные исследователям через много лет, необходимы для выявления косейсмических деформаций, которые с большой вероятностью возможны после сильного ($M \geq 7$) землетрясения с эпицентром в Авачинском заливе или вблизи г. Петропавловск-Камчатский.

Для выявления краткосрочных деформационных предвестников сильных землетрясений геодезические наблюдения должны выполняться непрерывно в автоматическом режиме, данные передаваться по каналам связи в центр обработки и анализа со многих пунктов наблюдений, которые размещены вблизи примерно известных очаговых зон землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бахтияров В.Ф., Левин В.Е. Светодальномерные измерения из обсерватории Мишенная. Анализ результатов наблюдений // Вулканология и сейсмология. 1991. № 3. С. 85–89.

Буланже Ю.Д., Певнев А.К. Геодезия и прогнозы землетрясений // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. М.: Наука, 1983. С. 7–10.

Жаринов Н.А., Магуськин М.А. Вертикальные движения земной поверхности на малых нивелирных площадках (Камчатка) // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: “Дониш”, 1989. С. 234–243.

Калабаев Н.Б. Связь горизонтальных смещений земной поверхности на деформационной площадке Алма-Атинского геодинамического полигона с некоторыми показателями сейсмичности // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: “Дониш”, 1989. С. 156–162.

Кафтан В.И., Докукин Н.А. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых геодезических измерений // Геодезия и картография. 2007. № 9. С. 18–22.

Корчагин Ф.Г. Исследование короткопериодных горизонтальных блоковых движений в районе Зейского водохранилища // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: “Дониш”, 1989. С. 201–210.

Кузьмин Ю.О., Чуриков В.А. Механизм формирования аномальных деформационных процессов в период подготовки Камчатского землетрясения 2 марта 1992 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 37–50.

Лакотко М.И., Сапрыкин А.В., Чуриков В.А. Результаты и особенности круглогодичного нивелирования в связи с поиском предвестников землетрясений на восточном побережье Камчатки // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: “Дониш”, 1989. С. 220–233.

Лотоцкий В.Д. Локальные изменения превышений над активным тектоническим разломом и их связь с сейсмичностью // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: "Дониш", 1989. С. 138–145.

Трапезников Ю.А., Медведев В.В., Белокопытов В.А. Результаты геодезических исследований в предгорьях Киргизского хребта // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: "Дониш", 1989. С. 127–137.

Федотов С.А., Энман В.Б. Программа геодезических работ по изучению современных движений земной

коры на Камчатке // Современные движения земной коры. 1973. Вып. 5. С. 267–273.

Чудновский В.С., Гусева Т.В. Прецизионные светодальномерные измерения в зоне Вахшского надвига // Прогноз землетрясений, № 11. Геодезические методы исследований. Душанбе, М.: "Дониш", 1989. С. 258–263.

Fedotov S.A., Maguskin M.A., Kirienko A.P., Zhari-nov N.A. Vertical ground movements on the coast of the Kamchatka Gulf: their specific features in the epicentral zone of the august 17, 1983, earthquake $M = 6.9$, before and after // Tectonophysics 202. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1992. P. 157–162.

EXPERIENCE OF OBSERVING DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE AT SMALL SITES IN RIFT ZONES IN 1984–1995 IN KAMCHATKA

I. K. Mironov*, V. M. Maguskin

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia

**e-mail: taliks123@mail.ru, magma@kscnet.ru*

Received April 20, 2018

A review is given of high-precision measurements of distances by light-rangefinders and elevations from Class I leveling between long-term geodetic centers at local deformation sites laid on the coast of Avacha Bay, in order to detect deformation precursors of a likely strong earthquake ($M > 7.0$) and to obtain quantitative characteristics of co-seismic deformations. The report in tabular form contains the results of all measurements performed in the period 1984 –1995. These data are necessary for future researchers, since between the preserved centers you can repeat the measurements with any exact methods, compare them with the results of previous years and draw more objective conclusions. During the observations at all sites, no significant changes (exceeding the double accuracy of their determination) exceeded and the distances between the geodetic centers did not occur. The strong ($M = 6.8$) earthquake that occurred on March 2, 1992, with its epicenter in Avacha Bay did not cause precursors of deformations, and co-seismic deformations did not occur either. Perhaps they were, however, the sensitivity of the method and the remoteness of the sites from the hypocenter of the earthquake did not allow them to be detected.

Key words: Earthquake, inclined distances, elevations, deformations, trend.