

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО УРОВЕННЫМ
ДАНЫМ В РАЙОНЕ ЮЖНЫХ КУРИЛ В СВЯЗИ С ШИКОТАНСКИМ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 4 (5).10.1994 Г.**

О.С. Седаева, В.П. Семакин, Г.В. Шевченко

*ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск,
693022; e-mail: sedaeva@imgg.ru*

Поступила в редакцию 26 марта 2012 г.

Проанализированы материалы наблюдений за уровнем океана на мареографных станциях Южных Курильских островов и северо-восточной части о. Хоккайдо до и после Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. На станциях Ханасаки и Малокурильское, с учётом изменений направленности средних годовых значений уровня океана от начала наблюдений и до 1986 г., выделены три периода, для которых определены суммарные смещения земной поверхности (в см) и их средние скорости (см/год). В пределах этих периодов выявлены краткосрочные интервалы с аномальными смещениями и скоростями, которые связываются с землетрясениями, произошедшими на относительно небольших расстояниях от станций. В период с 1986 г. по 1990 г. в изучаемом районе происходило плавное поднятие земной поверхности, а в 1991 г. на всех станциях отмечено ее резкое опускание. По среднегодовым значениям уровня, наибольшее погружение земной поверхности во время и после землетрясения (октябрь–декабрь) произошло на о-ве Шикотан (-55 см) и п-ове Немуро (-11 см). Отрицательные смещения зафиксированы также на станциях Курильск и Абасири, в районах остальных мареографов произошло поднятие земной поверхности. С учетом поправки за атмосферное давление, уточнены вертикальные смещения земной поверхности непосредственно во время Шикотанского землетрясения, составившие в Малокурильском 46 см и в Ханасаки 21 см. По совокупности проанализированных данных и опубликованных материалов, наиболее вероятным механизмом Шикотанского землетрясения, по нашему мнению, является правый сдвиг-взброс, сопровождавшийся опусканием приостровного блока и поддвигом его под океанский блок.

Ключевые слова: вертикальные смещения земной поверхности, уровень океана, мареограф, землетрясение, механизм, взброс, сдвиг, ось сжатия, нодальная плоскость, Курильские о-ва, о. Хоккайдо.

ВВЕДЕНИЕ

Материалы измерений, осуществляемые при помощи береговых самописцев уровня моря, помимо динамических процессов в океане, несут информацию о вертикальных смещениях земной поверхности, обусловленных тектоническими движениями в районе, прилегающем к пункту измерений [4]. Наиболее интенсивны такие движения в районах глубоководных желобов, расположенных по периферии Тихого океана, в частности, в районе Курильской гряды [5, 9]. По вариациям среднегодовых значений уровня моря во многих случаях можно выделить движения, связанные с сильными землетрясениями, а также те, которые обусловлены постсейсмическими дислокациями. Измерения уровня моря не явля-

ются идеальным средством для отслеживания вертикальных движений земной поверхности, так как на них существенное влияние оказывают многие гидрометеорологические факторы, среди которых наиболее важное значение имеют вариации приземного атмосферного давления и температуры морской воды. В настоящее время имеется возможность изучать тектонические движения при помощи спутниковых методов, особенно если в изучаемом районе имеется сеть GPS-станций. Однако для сильных землетрясений прошлых лет, когда спутниковая информация отсутствовала, данные измерения уровня по-прежнему остаются важнейшим источником информации о характере тектонических процессов.

Сильное землетрясение с магнитудой $M_{LH}=8.1$ на Южных Курильских островах, произошедшее 4(5)

октября 1994 г. вблизи о. Шикотан, явилось причиной весьма значительных вертикальных смещений земной поверхности в этом районе. На основе анализа мареографических и геодезических данных, с учетом полевых исследований, выполненных вскоре после землетрясения, было установлено, что о. Шикотан опустился, как единое целое, на 50–60 см [8]. Столь значительные смещения земной поверхности наблюдаются очень редко, поэтому данное событие привлекло внимание многих исследователей, изучавших особенности механизма землетрясения, структуры очага и различных его проявлений [1, 10, 11]. В данной работе предпринята попытка проанализировать материалы наблюдений на мареографных станциях Южных Курильских островов и северо-восточной части о. Хоккайдо с целью изучить характер вертикальных смещений земной поверхности до, во время и после землетрясения.

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ ОКЕАНА

Информационную основу работы составляли средние месячные значения уровня моря на береговых самописцах на Южных Курильских островах: Малокурильское (1970–2008 гг.), Южно-Курильск (1953–2006 гг.), Курильск (1951–2001 гг.), и на северо-восточной части о. Хоккайдо: Ханасаки (1964–2007 гг.), Немуроко (1983–1996 гг.), Кусиро (1963–2007 гг.), Токачио (1983–2006 гг.), Уракава (1963–2008 гг.), Абасири (1963–2008 гг.) и Момбецу (1955–2008 гг.). Положение указанных станций показано на рис. 1 (звездочкой отмечен эпицентр землетрясения 4 октября 1994 г.) На станциях Малокурильское, Южно-Курильск, Ханасаки, Немуроко и Кусиро дополнительно привлекались ряды ежечасных значений уровня за 1992–1996 гг., а также данные измерений приземного атмосферного давления на ГМС Южно-Курильск за сентябрь–ноябрь 1994 г., полученные в стандартные метеорологические сроки.

При изучении вертикальных движений, согласно [4, 9], рекомендуется использовать средние годовые значения уровня, так как при осреднении по годовому периоду нивелируется влияние сезонных колебаний уровня, которые в данном районе весьма значительны и могут существенно различаться в разные годы [5, 6].

Рассмотрим характер вариаций уровня по измерениям на стационарном береговом самописце уровня моря (см) в бухте Малокурильская (был установлен в конце 1969 г., регулярные наблюдения велись с 1970 г.), а также на ближайшей к району землетрясения станции Ханасаки (океанское побе-



Рис. 1. Положение мареографных станций на Южных Курильских островах (1 – Малокурильское, 7 – Южно-Курильск, 8 – Курильск) и северо-восточной части о. Хоккайдо (2 – Ханасаки, 3 – Немуроко, 4 – Кусиро, 5 – Токачио, 6 – Уракава, 9 – Абасири, 10 – Момбецу).

В квадратных скобках указаны суммарные деформации земной поверхности: 1-ая цифра: за октябрь относительно среднего за сентябрь 1994 г. уровня моря. 2-ая цифра: среднее за октябрь–декабрь относительно среднего уровня моря январь–сентябрь того же года.

Звездочкой отмечено положение эпицентра землетрясения 4(5) октября 1994 года, штриховой линией – положение сейсмического разреза 1700 [7].

режье п-ова Немуро на северо-восточной оконечности о. Хоккайдо).

На рис. 2. представлены графики вариаций средних годовых значений уровня моря по измерениям на береговых СУМ в бухте Малокурильская и порту Ханасаки. При этом, хотя в данном районе в 1969, 1973 и 1975 гг. произошли сильные землетрясения, вызвавшие цунами (что бывает при значительных подвижках в области подводного землетрясения), ничего сопоставимого со смещениями



Рис. 2. Вариации средних годовых значений уровня моря на станциях Малокурильское (о. Шикотан) и Ханасаки (о. Хоккайдо).

при Шикотанском землетрясении 1994 г. по уровненным данным не отмечено.

Прежде всего, обращает внимание практически идентичный характер межгодовых вариаций уровня на этих станциях (коэффициент корреляции по синхронным рядам с 1970 по 2007 г. составляет 0.94). При этом на графиках станций Ханасаки и Малокурильское от начала наблюдений и до 1986 г. можно выделить три периода, в пределах которых происходило изменение направленности и скоростей уровней моря. Выделение периода 1967–1974 гг. относится только к станции Ханасаки. На станции Малокурильское период 1970–1074 гг. выражен неочётливо. Остальные периоды 1974–1980 гг. и 1980–1986 гг. хорошо выделяются на обеих станциях.

В соответствии с вариациями средних годовых значений уровня моря, устанавливаются вертикальные смещения земной поверхности в районах уровнемерных станций.

В период 1967–1974 гг. на станции Ханасаки происходило отчётливое опускание земной поверхности со средней скоростью -2.7 см/год (смещение -19 см), а на станции Малокурильское в период 1970–1974 гг. зафиксировано стабильное состояние (рис. 2). В пределах указанных периодов на обеих станциях можно выделить более короткие интервалы, когда происходили смещения земной поверхности с аномальными скоростями противоположного знака. Так на станции Ханасаки в интервале 1971–1974 гг. установлено опускание (-13 см) земной поверхности со средней скоростью -4.3 см/год, а на станции Малокурильское за такой же интервал – поднятие ($+2$ см) с небольшой скоростью $+0.8$ см/год. Смещения земной поверхности противоположного знака могут быть связаны с землетрясением 17.06.1973 г. ($M_{\text{ЛН}} = 7.9$; $h = 48$ –

55 км), которое произошло к востоку от станции Ханасаки на небольшом от неё расстоянии. Вероятно, этим обусловлены значительные смещения и величина скорости на этой ближайшей к землетрясению станции.

В период 1974–1980 гг. на станциях Ханасаки и Малокурильское в целом происходило поднятие земной поверхности со средними скоростями соответственно $+1.0$ см/год (смещение $+6$ см) и $+2.0$ см/год (смещение $+12$ см), т.е. на станции Малокурильское величина поднятия оказалась почти в два раза больше, чем на станции Ханасаки.

В период 1980–1986 гг. на станциях Ханасаки и Малокурильское в целом происходило опускание земной поверхности соответственно со скоростями -0.7 см/год (смещение -4 см) и -0.6 см/год (смещение также -4 см).

В период с 1986 г. по 1990 г. в районах всех рассматриваемых уровнемерных станций (рис. 1), кроме Немуроко, происходило поднятие земной поверхности со среднегодовыми скоростями от $+0.2$ см/год (Кусиро) до $+1.7$ см/год (Момбецу). Район станции Немуроко в этот период находился в стабильном состоянии (табл. 1).

Примечательным является 1991 г., когда в районах всех станций произошло опускание земной поверхности со значительными смещениями от -2 см (Южно-Курильск) до -5 см (Курильск).

В интервале 1991–1993 гг. на шести станциях (Малокурильское, Ханасаки, Немуроко, Кусиро, Южно-Курильск, Абасири) продолжалось опускание земной поверхности со скоростями от -0.2 см/год (Малокурильское) до -2.9 см/год (Кусиро). В этот же период происходило поднятие на более удаленных станциях Курильск ($+3.8$ см/год) и Момбецу ($+0.9$ см/год). В интервале 1991–1994 гг. поднятие происходи-

Таблица 1. Скорости (V , см/год) вертикальных смещений земной поверхности в районе уровнемерных пунктов до Шикотанского землетрясения (4.10.1994 г.) в период с 1986 г. (Момбецу – 1987 г.) по 1993 г. (Токачико, Уракава – 1994 г.).

Малокурильское	Ханасаки	Немуроко	Кусиро	Токачико	Уракава	Южно-Курильск	Курильск	Абасири	Момбецу
Интервалы, годы									
V см/год									
<u>1986–90</u> +1.4	<u>1986–90</u> +0.3	<u>1986–90</u> -0.1	<u>1986–90</u> +0.2	<u>1986–89</u> +1.5	<u>1986–90</u> +1.4	<u>1986–90</u> +1.0	<u>1986–90</u> +0.8	<u>1986–90</u> +1.4	<u>1987–90</u> +1.7
<u>1990–91</u> -4.2	<u>1990–91</u> -4.2	<u>1990–91</u> -4.2	<u>1990–91</u> -3.6	<u>1990–91</u> -1.8	<u>1990–91</u> -4.1	<u>1990–91</u> -1.8	<u>1990–91</u> -5.3	<u>1990–91</u> -3.8	<u>1990–92</u> -1.8
<u>1991–93</u> -0.3	<u>1991–93</u> -0.5	<u>1991–93</u> -0.3	<u>1991–93</u> -3.0	<u>1991–94</u> +2.3	<u>1991–94</u> +1.2	<u>1991–93</u> -1.3	<u>1991–93</u> +3.4	<u>1991–93</u> -0.4	<u>1992–93</u> +1.0

ло также на станциях Токачико (+2.3 см/год) и Уракава (+1.2 см/год).

Смещения земной поверхности во время землетрясения и в период с 4.10.1994 г. по декабрь того же года относительно среднего уровня моря за 9 месяцев (январь–сентябрь) 1994 г. приведены на рис. 1 и в табл. 2. Наибольшее опускание земной поверхности (-55 см) за указанный период произошло в районе станции Малокурильское на о. Шикотан. На п-ове Немуро (станции Ханасаки и Немуроко) величина погружения составила -11 см. Отрицательные смещения зафиксированы также на станциях Курильск (-7 см) и Абасири (-2 см). В районах остальных мареграфов произошло поднятие земной поверхности – Момбецу (+2 см), Южно-Курильск (+2 см), Кусиро (+3 см), Токачико (+4 см), Уракава (+6 см). На последних трёх станциях, расположенных на Тихоокеанском побережье о. Хоккайдо, наблюдается возрастание смещений в направлении с северо-востока на юго-запад.

За исключением станции Курильск, аналогичный характер деформаций устанавливается на остальных станциях за октябрь 1994 г. (во время и после землетрясения 4.10.1994 г.) относительно средне-сентябрьского уровня моря 1994 г. Различие состоит в абсолютных величинах смещений (рис. 1).

Характер деформаций земной поверхности после 1994 г. по среднегодовым значениям уровня моря приведен в табл. 2. На станции Малокурильское опускание земной поверхности продолжалось с 1995 г. и в 1997 г. достигло максимального значения -68 см, после чего начался ее подъем. На станции Ханасаки опускание продолжалось в 1995 г., составив в целом -16 см, после чего деформации

приобрели знакопеременный характер. На станции Немуроко в 1995 г. произошло поднятие земной поверхности (+11 см), которое фактически компенсировало предыдущее опускание (-11 см). В районе станции Южно-Курильск с 1995 г. началось опускание земной поверхности, которое в 1997 г. составило в целом -15 см, после чего движения стали иметь знакопеременный характер. На станции Курильск погружение земной поверхности продолжалось в 1995–1996 гг., что составило в целом -12 см, после чего начался подъем. На остальных станциях движения земной поверхности имели в основном знакопеременный характер, в результате чего значительных смещений не произошло.

Вернемся к вопросу оценки вертикальных движений земной поверхности по уровенным данным непосредственно при Шикотанском землетрясении. Для этой цели привлекались ежечасные значения уровня моря на различных станциях, а также данные о приземном атмосферном давлении на уровне моря по наблюдениям на ГМС Южно-Курильск за сентябрь–ноябрь 1994 года. Этот период характеризуется сравнительно слабыми сезонными вариациями уровня (резкое его повышение обычно наблюдается в декабре-январе [5, 6]), что упрощает задачу оценки смещений.

Из исходных значений уровня был вычтен предвычисленный прилив, после чего были рассчитаны среднесуточные значения. Между среднесуточными значениями уровня и давления были определены коэффициенты линейной регрессии, после чего была введена соответствующая поправка, отвечающая закону “обратного барометра” (возможно, при этом косвенно учитывалось влияние когерентной с давлением составляющей скорости ветра). При этом дисперсия среднесуточных значений уменьшилась в среднем в 3 раза, что говорит о важности поправки на давление.

На рис. 3 приведен график вариаций уровня, скорректированного на давление, на станции Малокурильское. Хорошо видно, что благодаря введению поправки уровень случайных колебаний заметно снизился, это позволило более объективно оценить смещение земной поверхности как разность уровней за 5 и 3 октября, составившее 46 см. Расчет средних по интервалам за 1 сентября–3 октября и за 5 октября–8 ноября дал несколько большую величину, равную -55 см. Это связано с тем, что в период с 11 по 18 октября продолжался интенсивный подъем уровня (опускание о. Шикотан), смещение за указанный период составило 22 см. Наиболее вероятно, это обусловлено сильным афтершоком ($M_{MLH} = 7.3$),

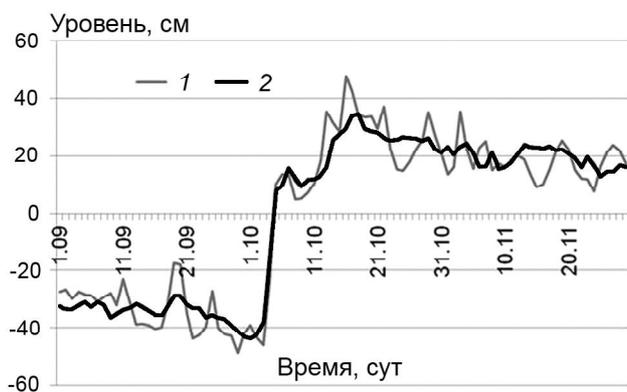


Рис. 3. Вариации среднесуточных значений уровня моря на станции Малокурильское (о. Шикотан).

1 – исходные значения уровня моря, 2 – вариации уровня моря, скорректированные на атмосферное давление.

Таблица 2. Смещения земной поверхности относительно предыдущего года (в см) до, во время и после землетрясения 4.10.1994 г. по данным среднегодовых значений уровня моря (вторая строка – накопленное смещение с момента землетрясения)

№ ст.	Название станции	1992	1993	1994		1995	1996	1997	1998	1999
				а) Сред. уровень за янв.–сент. 1994	б) Сред. уровень за окт.–дек. 1994					
1	Мало-Курильск	0	0	-3	-55	-7 -62	-2 -65	-4 -68	+8 -61	+5 -56
2	Ханасаки	-1	-1	-3	-11	-5 -16	+2 -14	-2 -16	+3 -13	-3 -16
3	Немуроко	0	-1	-3	-11	+11 0	-3 -3	---	---	---
4	Кусиро	0	-6	-3	+3	-6 -3	+2 -1	-3 -4	+2 -1	-3 -4
5	Токачиико	+2	+3	+2	+4	-5 -2	+2 0	-3 -2	+3 0	0 0
6	Уракава	+2	+1	0	+6	-9 -2	+2 0	-2 -2	+2 +1	-1 0
7	Южно-Курильск	-1	-2	-1	+2	-11 -9	-1 -10	-6 -15	+2 -14	-2 -15
8	Курильск	+2	+5	-4	-7	-2 -9	-4 -12	+4 -9	+5 -3	-6 -9
9	Абасири	+1	-2	-3	-2	-1 -3	+2 -1	-3 -3	+4 0	-2 -2
10	Момбецу	-2	+1	-3	+2	-4 -2	+3 +1	-1 0	+5 +5	-4 +2

имевшим место 9 октября в 7:55 GMT. Хотя затем уровень плавно понижался (на 16 см к 10 ноября), общее увеличение в октябре было значительным.

На станции Ханасаки поправка на давление также позволяет существенно уточнить смещение, произошедшее в результате землетрясения – оно составило в период с 3 по 7 октября 21 см (без поправки – 30 см). Подъем уровня после афтершока 9 октября был менее выраженным (общее смещение 10 см) и наблюдался несколько позже, в период с 14 по 23 октября.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Анализ среднегодовых вариаций уровня моря на береговых станциях в районе Южных Курильских островов указывает на весьма интенсивные тектонические процессы, связанные с Шикотанским землетрясением 4 октября 1994 г. Наиболее вероятно, такой необычный характер их проявления был обусловлен механизмом очага этого землетрясения.

Рассмотрим сейсмотектонические аспекты, связанные с Шикотанским землетрясением. 4 октября 1994 г. в 13 ч. 23 м. 04 с. к юго-востоку от о. Шикотан на западном склоне Курильского желоба (43.5°N, 147.3°E, h= 26 км, $M_{MLH} = 8.1$) произошло

разрушительное землетрясение, по макросейсмическим проявлениям которого на острове интенсивность сотрясений оценена в 9–10 баллов [2, 8]. За 5 сек. до главного толчка (13 ч. 22 м. 59 с.) зафиксирован форшок (43.5°N, 143.3°E, h= 26 км, $M_{MPV} = 7.3$, $M_{MPH} = 7.1$). Характерно, что других форшочков не было установлено [2, 8].

Глубина моря в районе эпицентра составляет около 2000 м. К северо-западу от эпицентра, на небольшом от него удалении, расположен крутой уступ рельефа высотой примерно 1700 м, ориентированный в северо-восточном направлении в соответствии с простираем западного склона желоба. В тектоническом отношении эпицентр землетрясения находится в пределах внешнего грабен-синклиналиного прогиба, где мощность осадочного чехла составляет 9 км [7].

9 октября 1994 г. в 7 ч. 55 м. 37 с. зафиксирован сильный ($M_{MLH} = 7.3$) афтершок (43.4°N, 147.6°E, h= 31 км [2, 3]). Следует заметить, что по данным локальной сейсмической сети на о. Хоккайдо глубина очага была оценена в 8 км [10]. Мы отдали предпочтение этой глубине, так как данная оценка базируется на более обширном, чем в [3], материале наблюдений

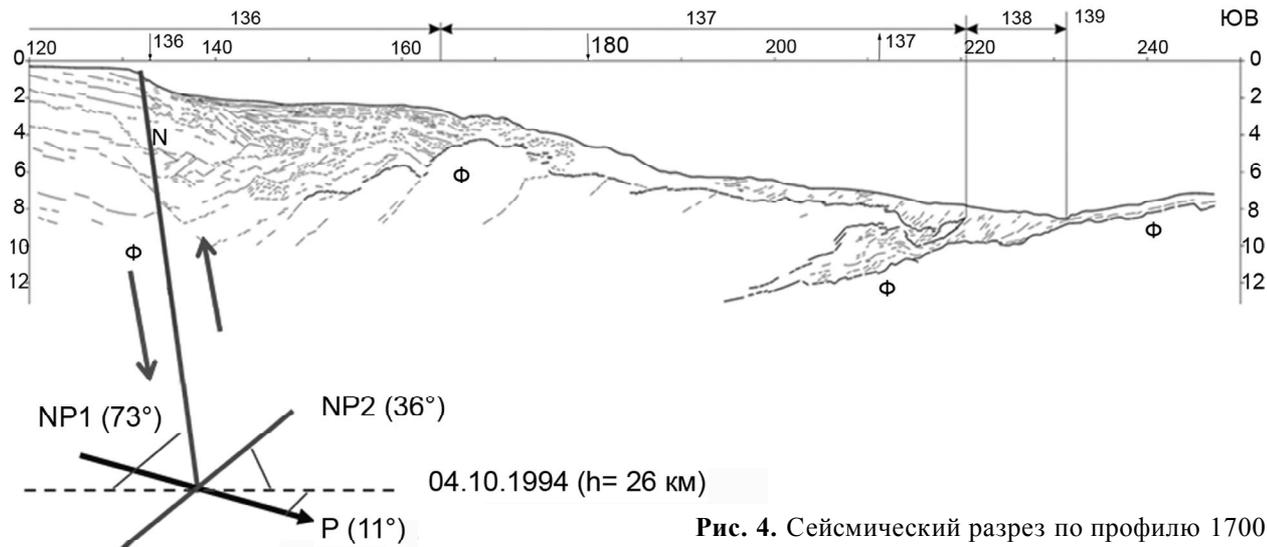


Рис. 4. Сейсмический разрез по профилю 1700 [7] и очаги землетрясений 4(5) и 9 октября 1994 г.

ний, а также хорошо согласуется со структурой земной коры по данным сейсмического профилирования (рис. 4). Параметры механизмов очагов главного толчка и сильного афтершока 9.10.1994 г. нами заимствованы из работы [3] и представлены в табл. 3. По сравнению с этими параметрами, для нодальной плоскости главного толчка NP1 вместо $DP = 58^\circ$ (падение нодальной плоскости) нами взят угол падения равный 73° в соответствии с данными Л.М. Балакиной [1]. Японские исследователи этот угол оценивают от 76° [11] до 77° [10].

Согласно приведенным данным по механизму очага главного толчка Шикотанского землетрясения [3], ось сжатия P ориентирована ($AZM 132^\circ$) практически ортогонально к простиранию западного склона Курильского желоба и полого ($PL 11^\circ$) падает в сторону глубоководной его части (рис. 4). Ось растяжения T ориентирована субмеридионально ($AZM 6^\circ$) и круто ($PL 71^\circ$) падает в северном направлении. Из двух нодальных плоскостей в качестве основной плоскости разрыва выбрана плоскость NP1 ($STK 54^\circ$), которая совпадает с простиранием оси желоба, его западного склона и уступа в рельефе, расположенного к северо-западу от эпи-

центра. Плоскость круто ($DP 73^\circ$) падает в сторону желоба и смещение по ней классифицируется как правый ($SLIP 108^\circ$) сдвига-взброс, т.е. висячий юго-восточный (океанский) блок поднят и немного сдвинут в юго-западном направлении. В связи с тем, что на о. Шикотан при землетрясении 4.10.1994 г. по уровенным данным (станция Малокурильское) зафиксировано опускание величиной 46 см, есть основание полагать, что лежащий северо-западный (приостровной) блок в зоне разрыва также опустился с определенным поддвигом под висячее крыло. Об этом, в частности, может свидетельствовать горизонтальное смещение при Шикотанском землетрясении в восточном направлении величиной 42 см в районе г. Немуро (о. Хоккайдо) [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы вариации уровня океана на мареографных станциях Южных Курильских островов и северо-западной части о. Хоккайдо до и после Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. На станциях Ханасаки и Малокурильское с учётом изменений направленности средних годовых значений уровня океана на графиках от начала наблюдений и

Таблица 3. Параметры механизма очага главного толчка Шикотанского землетрясения 04.10.1994

Дата	Эпицентр		H Км	M MLH	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
	φ°, N	λ°, E			T		N		P		NP1			NP2		
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP		
04.10.1994	43.50	147.30	26	8.1	71	6	15	225	11	132	54	58 (73)	108	203	36	64

Примечание. В скобках указаны принятые нами значения.

до 1986 г. выделены три периода, для которых определены суммарные смещения земной поверхности (в см) и их средние скорости (см/год). В пределах этих периодов выявлены краткосрочные интервалы с аномальными смещениями и скоростями до -5.4 см/год, которые связываются с землетрясениями, произошедшими на относительно небольших расстояниях от станций. В период с 1986 г. по 1990 г. в районах уровнемерных станций, кроме Немуроко, происходило поднятие земной поверхности. Примечательным является 1991 г., когда в районах всех станций произошло опускание земной поверхности со значительными смещениями от -2 см (Южно-Курильск) до -5 см (Курильск).

По среднегодовым значениям уровня, наибольшее опускание земной поверхности во время и после землетрясения (октябрь–декабрь) произошло в районе станции Малокурильское (-55 см) на о. Шикотан. На п-ове Немуро (станции Ханасаки и Немуроко) величина погружения составила -11 см. Отрицательные смещения зафиксированы также на станциях Курильск (-7 см) и Абасири (-2 см). В районах остальных станций произошло поднятие земной поверхности – Момбецу (+2 см), Южно-Курильск (+2 см), Куриро (+3 см), Токачико (+4 см), Уракава (+6 см). На последних трёх станциях, расположенных на Тихоокеанском побережье о. Хоккайдо, отмечено возрастание величины смещений в направлении с северо-востока на юго-запад.

На станции Малокурильское опускание земной поверхности продолжалось до 1997 г, после чего начался ее подъем. На станции Ханасаки погружение продолжалось в 1995 г., после чего деформации приобрели знакопеременный характер. На станции Немуроко в 1995 г. произошло поднятие земной поверхности, которое фактически компенсировало опускание при землетрясении. В районе станции Южно-Курильск с 1995 г. началось погружение земной поверхности, но начиная с 1998 г движения стали носить знакопеременный характер.

С учетом поправки на атмосферное давление, уточнены вертикальные смещения земной поверхности во время землетрясения, составившие в Малокурильском 46 см и в Ханасаки 21 см.

По совокупности проанализированных данных и опубликованных материалов, наиболее вероятным механизмом Шикотанского землетрясения, по нашему мнению, является правый сдвиг-взброс, спрово-

вождавшийся опусканием приостровного блока и поддвигом его под океанский блок.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Э. Като (Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета) за предоставленные материалы наблюдений за уровнем моря и атмосферным давлением на Южных Курильских островах, а также Метеорологическому агентству Японии, на интернет-сайте которого были взяты данные наблюдений за уровнем моря на побережье о. Хоккайдо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакина Л.М. Землетрясение Шикотанское 04.10.1994 г., Кроноцкое 05.12.1997 г. и их сильнейшие афтершоки – закономерные проявления тектонического процесса в Курило-Камчатской сейсмогенной зоне // Физика Земли. 2000. № 11. С. 11–26.
2. Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: ГС РАН, 2000. 306 с.
3. Каталог механизмов очагов сильных (М_б 6.0) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2000 гг. / Л.Н. Поплавская, М.И. Рудик, Т.В. Нагорных и др. Владивосток: Дальнаука, 2011. 131 с.
4. Никонов А.А. Современные вертикальные движения земной коры. М.: КомКнига, 2006. 193 с.
5. Поезжалова О.С., Шевченко Г.В. Вариации среднего уровня Охотского моря // Цунами и сопутствующие явления. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 131–144.
6. Седаева О.С., Шевченко Г.В. О взаимосвязи сезонных вариаций уровня моря и атмосферного давления в районе Курильской гряды // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 81–93.
7. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / О.В. Веселов и др.; отв. ред. К.Ф. Сергеев. М.: Наука, 2006. 130 с.
8. Шикотанское землетрясение 4(5) октября 1994 г. Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения / П.А. Алексин, Ж.Я. Аптекман, С.С. Арефьев и др. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 136 с.
9. Якушко Г.Г., Никонов А.А., Юркевич Н.Е. Современные вертикальные движения Курильских островов // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 2. С. 444–449.
10. Katsumata K., Ichiyanagu M., Miwa M., Kasahara M. Aftershock distribution of the October 4, 1994 M_w 8.3 Kurile islands earthquake determined by a local seismic network in Hokkaido, Japan // Geophys. Res. Lett. 1995. V. 22, N. 11. P. 1321–1324.
11. Kikuchi M., Kanomori H. The Shikotan earthquake of October 4, 1994: Lithospheric earthquake // Geophys. Res. Lett. 1995. V. 22, N. 9. P. 1025–1028.

O.S. Sedaeva, V.P. Semakin, G.V. Shevchenko

Vertical displacements of the Earth's surface from level data in the South Kuril Islands in relevance to the Shikotan earthquake of October 4(5), 1994

The materials of the sea level observations at the coastal tide gauges of the South Kuril Islands and the north-eastern part of the Hokkaido Island before and after the Shikotan earthquake of October 4(5), 1994 were analyzed. At the Hanasaki and Malokurilsky stations, taking into account changes in the direction of average annual sea level values from the beginning of observations till 1986, three periods were identified for which a total displacement of the Earth's surface (cm) and their mean velocity (cm/year) were specified. Within these periods short-term intervals with anomalous displacements and velocities were revealed, which are associated with the earthquakes occurred at relatively small distances from the stations. During the period from 1986 to 1990, in the area under consideration a gradual elevation of the Earth's surface took place, while in 1991 all stations registered its rapid subsidence. By the average annual sea level values, the greatest subsidence of the Earth's surface during and after the earthquake (October-December, 1994) occurred in the Shikotan Island (-55 cm) and Nemuro Peninsula (-11 cm). The negative bias is also recorded at the Kurilsk and Abashiri stations, in the regions of other gauges the Earth's surface uplift was observed. Taking into account the correction for atmospheric pressure, the vertical displacement of the Earth's surface directly during the Shikotan earthquake were verified (46 cm in Malokurilsk and 21 cm in Hanasaki). On the basis of the analyzed data and published materials, the most probable mechanism for the Shikotan earthquake, in our opinion, is the right shift-upthrust, followed by lowering of the near-shore block and its subduction beneath the ocean block.

Key words: vertical displacement of the Earth's surface, sea level, tide gauge, earthquake, mechanism, thrust, shift, compression axis, nodal plane, Kuril Islands, Hokkaido Island.