

УДК 550.348.32

ГОЛОЦЕНОВАЯ СЕЙСМОТЕКТОНИКА БЕРИНГОВОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ  
КАМЧАТКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
(ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ)

**Т.К. Пинегина**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-камчатский 683006*

[pinegtk@kcs.iks.ru](mailto:pinegtk@kcs.iks.ru)

На протяжении 1998-2003 гг. вдоль Берингоморского побережья Камчатки были проведены палеосейсмологические исследования в целях выявления геологических следов и

оценки параметров цунами и цунамигенных землетрясений, происходивших в Беринговом море на протяжении голоцена (рис.1).

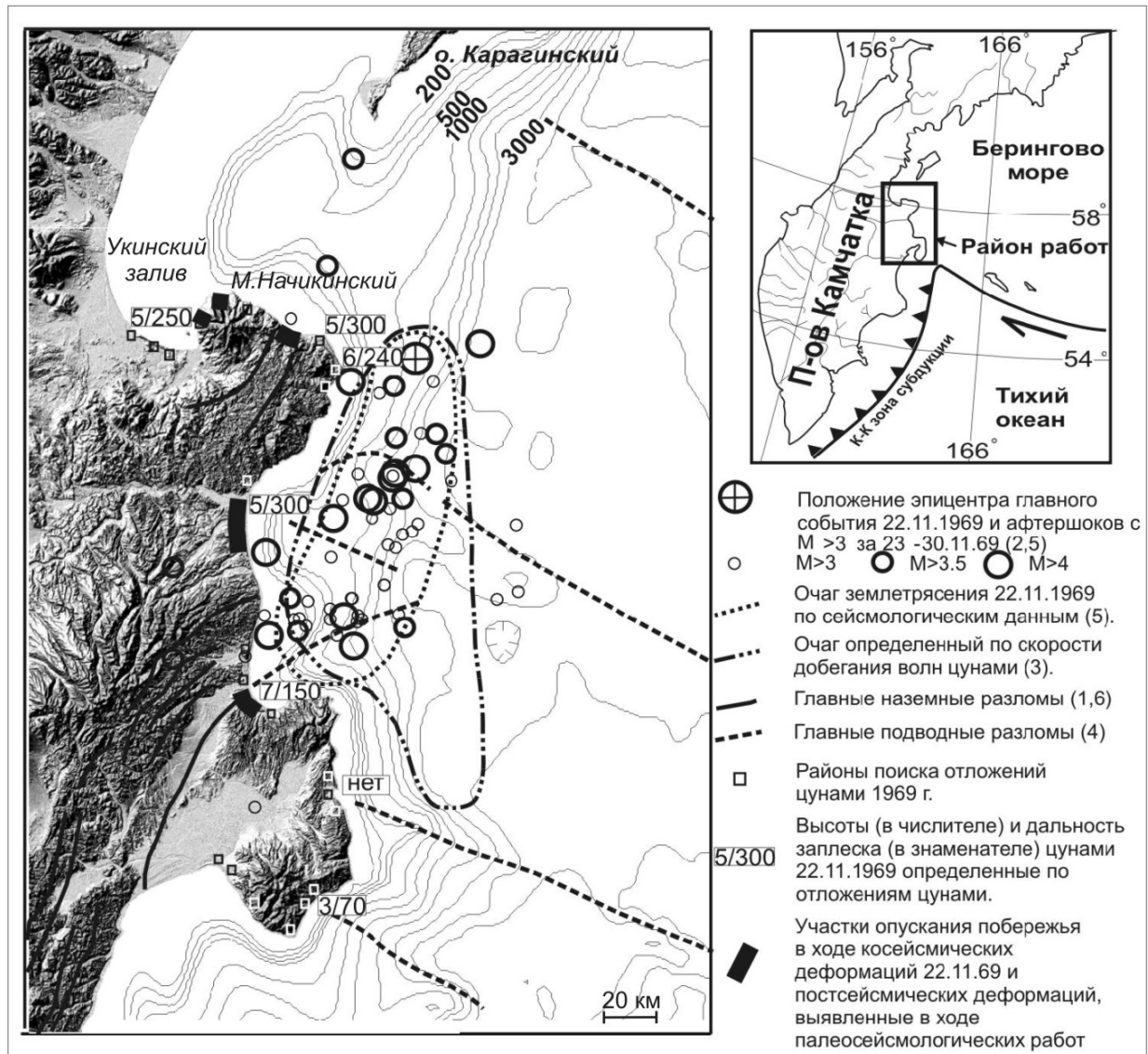


Рис. 1. Схема района работ.

За время исторических наблюдений в районе было зарегистрировано одно сильное землетрясение 22 (23) ноября 1969 г. [5]. Озерновское землетрясение с  $M=7.7$  произошло 22 ноября 1969 г. в 23 ч. 09 мин. 35 сек. по Гринвичу (11 ч. 09 мин. 23 ноября по Камчатскому времени) в западной части Берингова моря в районе залива Озерной. Землетрясение вызвало сотрясение 8 баллов в ближайших населенных пунктах побережья и породило волны цунами высотой до 10-15 м. Район очага расположен в Тихоокеанском подвижном поясе на продолжении Курило-Камчатской сейсмической зоны к северу от ее пересечения с Алеутской зоной.

Размер очага землетрясения, оцененный по протяженности зоны афтершоков, произошедших в течение первых 32 часов, составил около 100 км [5]. Стокилометровый разрыв

ориентирован вдоль континентального склона впадины Берингова моря. Этот склон в области очага крутой, с уклонами до  $20-25^{\circ}$ , и прорезан несколькими подводными каньонами, вероятно имеющими тектоническое происхождение [4].

Размер очага, оцененный по времени добегаания волн цунами [3] более вытянут на юг, составил около 150 км (рис.1). Однако мореограммы имелись лишь для 4 пунктов, что для точного определения очага цунами несомненно мало. Полученные в ходе палеосейсмологических исследований данные о высотах и дальностях заплесков цунами позволяют утверждать, что размер очага, оцененный по протяженности афтершоков, более точен.

Интерес к Озерновскому землетрясению повысился в связи с тем, что его сила достигла 8 баллов в 7-бальной зоне карты сейсморайонирования 1968 г. Большое цунами в Беринговом море так же оказалось неожиданностью, поскольку этот район считался безопасным по картам районирования опасности цунами.

Палеосейсмологические исследования, проведенные в районе, включали следующие задачи: идентификацию и датирование сейсмогенных форм рельефа и отложений цунами; определение направлений и средних скоростей тектонических движений, а так же амплитуд сеймотектонических деформаций, сопряженных с отдельными сейсмическими событиями; палеогеоморфологическую реконструкцию развития Берингоморского побережья Камчатки в голоцене.

Во время полевых исследований вкрест простирания береговых валов измерялись топографические профили, вдоль которых закладывались шурфы на различном удалении от моря и на различных гипсометрических уровнях.

В шурфах идентифицировались цунамигенные отложения. По выклиниванию этих отложений на различных расстояниях и высотах из общей стратиграфической колонки определялись максимальные дальности и высоты заплесков древних цунами. Помимо цунамигенных отложений, в шурфах идентифицировались и коррелировались вулканические пеплы от известных голоценовых извержений вулканов Шивелуч, Безымянный, Ксудач. Прослой пеплов служили стратиграфическими и геохронологическими реперами для корреляции и датирования отложений цунами. Из шурфов отбирались образцы на радиоуглеродный, химический, диатомовый и спорово-пыльцевой анализы для определения или уточнения возраста, генезиса и состава различных типов отложений.

При определении скоростей и направлений тектонических движений определялись возраст и высота кровли морских аккумулятивных террас, а так же аллювиальных террас в приустьевых частях рек.

Для выявления амплитуд сеймотектонических деформаций определялись разницы высот изначально одноуровневых и одновозрастных поверхностей. Время образования деформаций определялось по соотношению геоморфологических форм рельефа, тифрострати-

графии и тефрохронологии.

В ходе работ было детально изучено свыше 200 км побережья, измерено свыше 50 топографических профилей вкрест простирающихся береговых валов и морских террас, опробовано свыше 400 шурфов глубиной от 1 до 4 м.

#### Основные результаты

На юге Укинского залива в районе устья р. Маламваям было установлено, что данный участок побережья испытал значительное опускание (первые метры) около 2000 лет назад, в результате чего изменилась конфигурация береговой линии, и часть существовавших до этого времени береговых валов ушли под воду и были в последствии размывы. В то же время в 20 км к северу от р. Маламваям в Укинском лимане произошло поднятие, в результате чего береговая линия выдвинулась в море более чем на 1 км. Последующие этапы опускания южного участка и поднятия северного происходили около 1450 лет назад, 200 лет назад и во время землетрясения 1969 г. Судя по датировкам и анализу морфометрии береговых валов, в промежутки между этими довольно резкими подвижками скорость тектонических движений была небольшой.

В районе безымянной бухты к западу от мыса Начикинского было обнаружено озеро, отсутствующее на старых картах 1955 г. Озеро образовалось на месте заболоченной низменности, частично заросшей ольховым стлаником. В керне, отобранном со дна озера, под мало мощными озерными отложениями видны прослойки почвы, включающие пепел от извержения вулкана Безымянный 1956 г. Конфигурация береговой линии бухты так же претерпела недавние значительные изменения. В западной ее части древние валы попали в зону воздействия штормов и в настоящее время перекрыты слоем современных отложений. В восточной части фрагменты современных береговых валов оказались размывы, в настоящее время формирующийся молодой вал причленен к древнему валу, сформированному 2000 лет назад. Из анализа ряда геологических данных следует, что озеро образовалось в результате резкого опускания суши, вероятнее всего в результате землетрясения 1969 г, и амплитуда опускания составила не менее 30 см.

Работы в бухте Глубокая падь дополнили статистику палеоцунами и палеоземлетрясений. В торфяниках, сформировавшихся на протяжении последних 2000 лет, были найдены следы 17 цунами. Из них 8 цунами произошли, скорее всего, от близких источников. По интенсивности эти цунами сопоставимы с цунами 1969 г. Из полученных данных следует, что сейсмические события, сходные по силе с 1969 г., являлись для района п-ова Озерной максимальными на протяжении последних 2000 лет, и происходили в среднем раз в 250 лет. На протяжении голоцена в бухте преобладали отрицательные тектонические движения. Самый древний из сохранившихся береговых валов был сформирован около 2000 лет назад. Более старые береговые валы, сформированные до нашей эры, оказались размывы.

На участке побережья общей протяженностью около 10 км к востоку от р. Малая Конская установлено опускание после 1956 г. (по пеплу от извержения в. Безымянный) с амплитудой в десятки см. Участок опускания пространственно согласуется с зоной разломов, отделяющих Начикинский вулканический комплекс от остальной части п-ова Озерной. Здесь также были найдены отложения цунами, которые прекрасно коррелируются с отложениями в заливах Озерной и Укинский. В ходе работ были уточнены данные о проявлении цунами 1969 г. Из сообщений очевидцев, находившихся на ГМС «мыс Озерной», считалось, что высота цунами составила 15 м. По нашим данным, эта величина завышена почти в два раза. Высота цунами на мысу и на соседних участках побережья не превысила 6-7 м, максимальная дальность заплеска – 400 м.

На месте бывшего поселка рыбаков на севере п-ова Озерной (район озера Рыбного), существовавшего до цунами 1969 г., в настоящее время формируются береговой вал и пляж. В ходе исследований были найдены развалины поселка, погребенные под галечными отложениями современного пляжа. В кровле почвенного чехла, перекрытого морскими отложениями, местами сохранился вулканический пепел от извержения в. Безымянный 1956 г. Все это указывает на то, что данный участок берега так же испытал опускание после 1956 г., вероятно, во время землетрясения 1969 г. Амплитуда опускания оценивается в первые десятки см.

Вдоль побережья залива Озерной выявлена общая тенденция к опусканию на протяжении голоцена. В настоящее время прибрежные торфяники, расположенные в югу от устья р. Озерной, находятся в зоне штормового воздействия и продолжают размываться. Современный береговой вал местами не сформирован (на его месте находится абразионный торфяной уступ), что указывает на продолжающееся опускание. В кровле торфяника, перекрытом современными штормовыми и цунамигенными отложениями 1969 г., залегает вулканический пепел от извержения в. Шивелуч 1964 г. Ниже по профилю в торфе не было встречено цунамигенных прослоев и штормовых отложений. По геологическим данным выявлено, что цунами, сопоставимые с событием 1969 г., имеют в районе р. Озерной заплеск в среднем на 300 м вглубь суши. Предпоследнее (до 1969 г.) сильное цунами в районе, по нашим данным, произошло примерно в середине IXX в. Следовательно, по грубой оценке, за 100 лет в районе происходит отступление берега на 300 м. Общее опускание, произошедшее в ходе землетрясения 1969 г. в районе р. Озерной, по комплексу геолого-геоморфологических признаков оценивается в десятки сантиметров.

На юге залива Озерной наиболее сильное опускание побережья произошло на побережье напротив каньона Покатый, являющегося продолжением Усть-Камчатского разлома. Амплитуда опускания здесь оценивается в первые десятки см. По деформациям изначально одноуровневых лагунных отложений, сформированных 6 тыс. лет назад, было определено,

что средняя скорость опускания побережья в районе сочленения Усть-Камчатского разлома и Каньона Покатый на 0.6 мм/год выше, чем на соседних участках. За 6 тыс. лет кровля лагунных отложений здесь оказалась опущенной на 4 м ниже, чем на остальных участках Столбовской депрессии. То же самое можно сказать и о побережье в районе устья р. Озерной. Кровля лагунных отложений здесь за последние 6 тыс. лет опустилась на 4-6 м ниже, чем в 15-20 км от берега вглубь суши.

Исходя из оценок величины опусканий в результате отдельного землетрясения 1969 г., а так же повторяемости землетрясений по палеосейсмологическим данным, можно предположить, что наиболее крупномасштабные и крупноамплитудные опускания (в десятки см) происходили на побережье залива Озерной во время землетрясений, а в промежутках между ними опускание замедлялось, либо отсутствовало.

Как уже сказано выше, в ходе работ, помимо данных о древних землетрясениях, были получены суммарные амплитуды о косейсмических и постсейсмических деформациях для единственного инструментально зафиксированного в районе сильного землетрясения 1969 г.

Были рассмотрены механизмы этого землетрясения, предложенные различными авторами (таблица 1). Численный расчет амплитуд и направлений косейсмических деформаций на земной поверхности (проведенный В.М. Павловым) показал, что деформации побережья имеют характер опускания, что не противоречит наблюдаемым опусканиям на суше и хорошо согласуется с палеосейсмологическими данными.

#### Выводы

По палеосейсмологическим данным установлено, что землетрясение 1969 года по силе сопоставимо с максимальными сейсмическими событиями в Беринговоморском регионе. Вместе с тем, землетрясение 1969 г. не уникально. Периодичность подобных ему землетрясений составляет 200-280 лет для западной акватории Берингова моря.

Деформации на побережье, парагенетически связанные с событием 1969 г., унаследованы, и произошли примерно в тех же местах и с теми же знаками, что и более древние голоценовые деформации, выявленные по геологическим данным. Это говорит в пользу того, что выделенные участки опусканий приурочены к активным разломам.

Скорости тектонических движений на изученных участках побережья непостоянны на протяжении голоцена. Их резкое изменение за короткое время, вероятно, связано с косейсмическими деформациями.

Полученные палеосейсмологические данные позволили уточнить очаговую область цунами 1969 г., которая, вероятнее всего, совпадает с очаговой областью землетрясения.

Полученные независимо палеосейсмологические и сейсмологические данные хорошо согласуются и дополняют друг друга.

Таблица 1. Инструментальные данные и механизм очага землетрясения 22.11.1969 г. по разным авторам.

Источник данных	время	эпицентр		Глуб., км	Магнитуда		Полос 1-ой нодальной плоскости		Полос 2-ой нодальной плоскости		Ось напряжения сжатия Р		Ось напряжения растяжения Т		Ось промежуточного напряжения, В	
		широта	долгота		МВ	MS	Прост.	Падение	Прост.	Пад.	Прост.	Пад.	Прост.	Пад.	Прост.	Пад.
V/75	23:09:39	57.700 с.ш.	163.719 в.д.	33	6.2	7.7	100	60	280	40	100	15	280	75	010	00
SM01/76	23:09:37.2	57.8 с.ш.	163.5 в.д.	33	6.3		302	15	082	71	112	29	319	58	209	12
OSB/69	23:09:39	57.9 с.ш.	163,4 в.д.	50		7.7										
EDR/69	23:09:37.2	57.76 с.ш.	163.54 в.д.		6.3b	7.3										
FT/72	23:09:35	57.76 с.ш.	163.85 в.д.	30												
OSB/69	23:09:32	57.8 с.ш.	163.6 в.д.	5												
Earth/73	23:09:32	57.76 с.ш.	163.75 в.д.	30		7.7	220	75	300	50	170	10	370	40	60	50

V/75 – Veith, K.F., 1974/ The relationship of island arc seismicity to plate tectonics, Ph.D. Dissertation, Southern Methodist Univ., Dallas, Texas.

SM01/76 – Stauder, W. and L. Mualchin, 1976. Fault motion in the larger earthquakes of the Kuril-Kamchatka arc and of the Kuril-Hokkaido corner, J. Geophys. Res., 81, 297-308.

OSB/69 – Оперативный сейсмологический бюллетень. Изд. Междувед. Геофиз. Ком-та. Ноябрь-декабрь 1969 г. М., 1969.

EDR/69 – Earthquake Data Report, USCGS, N 77-69. Rockville, 1969.

FT/72 – С.А. Федотов, П.И. Токарев и др. Землетрясения Камчатки и Командорских островов. – В сб. «Землетрясения в СССР в 1968 г.» М., Наука, 1972

OSB/69 – Сейсмологический бюллетень.

Earth/1973 – С.А. Федотов, А.А. Гусев, В.М. Зобин и др. Озерновское землетрясение и цунами 22(23) ноября 1969 г. – В сб. «Землетрясения в СССР в 1969 г.» М., Наука, 1973

\* Механизм землетрясения по Earth/73 определен по первым вступлениям. М.В. Зобин, выбрав первую нодальную плоскость подвижки, характеризовал подвижку как почти чистый левосторонний сдвиг со смещением западного крыла на юг, опускание западного крыла ненадежно. Ориентировка суммарного тензора сейсмического момента может быть несколько иной.

\*\* Механизмы землетрясения по SM01/76 и V/75 (определены по длиннопериодным объемным волнам, что более надежно характеризует суммарную подвижку по разлому) примерно совпадают. Выбрав первую нодальную плоскость подвижки по Стаудеру, получим подвижку типа надвига.

\*\*\* При расчете амплитуд и направлений косейсмических деформаций на земной поверхности за основу был принят механизм SM01/76. При этом деформации побережья имеет характер опускания, что не противоречит наблюдаемым опусканиям на суше.

### Список литературы

1. Госгеолкарта М 200 000. Листы О-58-ХІХ, ХХ (Камчатгеология, 1989 г.), О-58-ХХХІ (Камчатгеология, 1970 г.).
2. Заякин Ю.А. Цунами 23 ноября 1969 г. на Камчатке и особенности его возникновения. Метеорология и гидрология, №12, 1981, с. 77-83.
3. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998.
4. Федотов С.А., Гусев А.А. Озерновское землетрясение и цунами 22 (23) ноября 1969 г. в сб. Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1973. С.195-208.
5. Andrei I. Kozhurin. Active faulting at the Eurasian, North American and Pacific plates junction. Tectonophysics 380 (2004) 273– 285.
6. World data Center A for Solid Earth Geophysics. Summary of earthquake focal mechanisms for the western Pacific-Indonesian region, 1929-1973. Report SE-3, March 1977, Boulder, Colorado.

Данная работа проводилась при финансовой поддержке грантов:

РФФИ 00-05-64697 (2000-2002 гг.)

НШ-2104.2003.5 (2003 г.) (рук. Б.В. Левин.).

РФФИ 03-05-64584 (2003-2005 г.)

РФФИ 03-05-78027 (2003 г.)

ДВО К2003\_R1\_Gr0\_S08\_IMGiG\_Kaistrenko (рук. В.М.Кайстренко)

NSF грант № EAR 0125787(рук. Joanne Bourgeois)

Автор выражает глубокую благодарность Александру Александровичу Гусеву и Виктору Михайловичу Павлову за обсуждение результатов и помощь.