

# Предварительный анализ цунамиопасности побережья Охотского моря по материалам исторических исследований и численного моделирования

*Бейзель С.А.<sup>1)</sup>, Гусяков В.К.<sup>2)</sup>, Чубаров Л.Б.<sup>1)</sup>, Шокин Ю.И.<sup>1)</sup>*

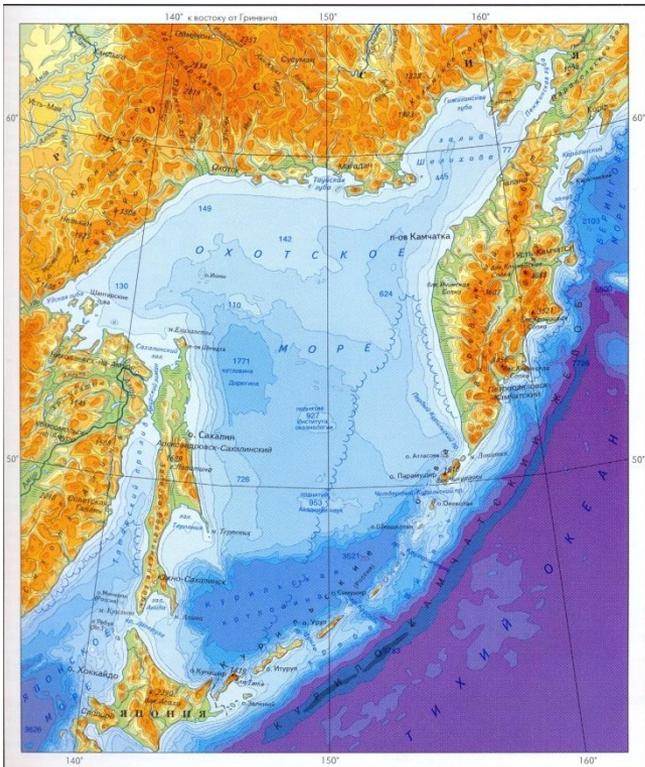
<sup>1)</sup>Институт вычислительных технологий СО РАН

<sup>2)</sup> Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирск, Россия

chubarov@ict.nsc.ru

# Характеристика акватории Охотского моря



Охотское море является одним из окраинных морей Тихоокеанского бассейна и отделяется от Тихого океана на юге островом Хоккайдо, на востоке цепочкой Курильских островов и полуостровом Камчатка.

Формальная граница, разделяющая бассейны Охотского и Японского морей, проводится по наиболее узким проходам Татарского пролива и пролива Лаперуза.

При таком определении **площадь** бассейна моря (без островов) составляет **1603** тыс. км<sup>2</sup> (по другим данным 1616.7 тыс. км<sup>2</sup>).

Площадь островов в его пределах равна 13.5 тыс. км<sup>2</sup>.

**Средняя глубина** моря **821 м** (по другим данным 859 м), **максимальная глубина** **3521 м** (в северной части Курильской котловины). **Суммарный объем** вод Охотского моря равен **1316.9** тыс. км<sup>3</sup>. **Протяженность береговой линии** моря составляет **10 460 км**.

Проливами Амурский лиман, Невельского на севере и Лаперуза на юге Охотское море соединяется с Японским морем, а многочисленными Курильскими проливами – с Тихим океаном. Первые узки и мелководны, что является причиной относительно слабого водообмена с Японским морем.

**Проливы Курильской островной гряды являются более широкими (их суммарная ширина составляет около 500 км) и глубоководными (глубины некоторых из них достигают 2000 м), что обеспечивает интенсивный водообмен с Тихим океаном, а также создает возможность для проникновения течений и волн цунами из Тихого океана в Охотоморский бассейн.**

В **тектоническом** отношении море расположено на Охотской субплите, являющейся частью Евразийской плиты. Основными морфологическими элементами в рельефе дна Охотского моря являются **шельф** (глубины 0 – 200 м), **материковый склон** (глубины 200 – 2000 м), на котором выделяются **отдельные возвышенности, впадины, острова** и расположенная в его южной части **Курильская глубоководная котловина** (глубины более 2500 м). **Дно** Курильской котловины представляет из себя плоскую абиссальную равнину со средними глубинами порядка 3300 м.

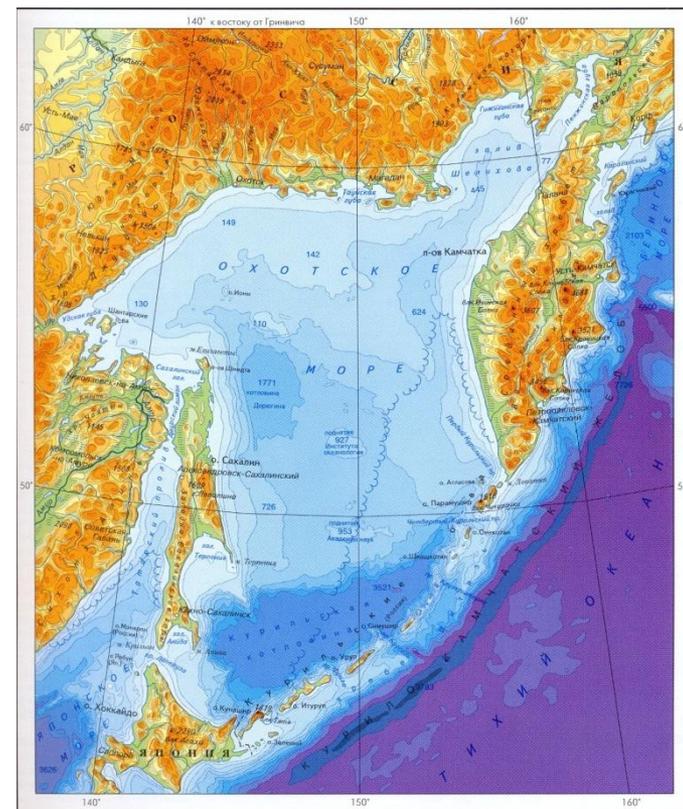
**Береговая линия** Охотского моря имеет сложные очертания. Изгибы ее, связанные с выступами крупных мысов и полуостровов, образуют заливы и губы. Наиболее изрезана и извилиста она в юго-западной и северо-восточной частях моря. Северо-западное побережье Охотского моря практически лишено крупных заливов, а северное – значительно изрезано.

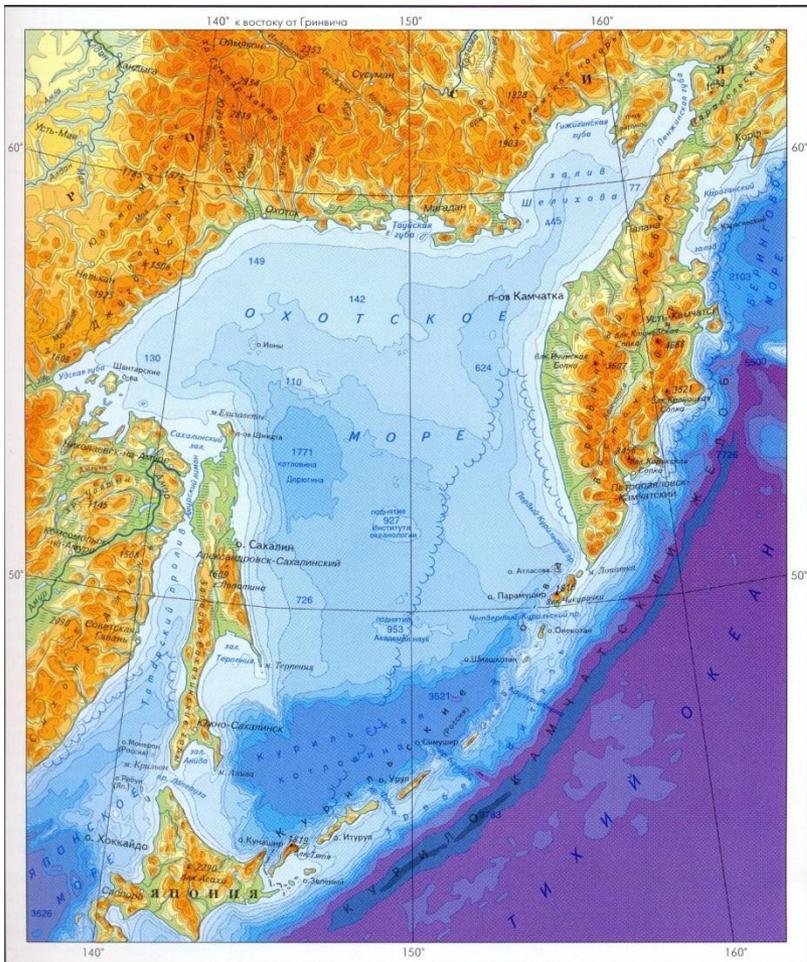
С октября по май **северная часть** моря покрыта льдом.

**Юго-восточная часть** моря практически не замерзает.

Значительные размеры и большие глубины Охотского моря, частые и сильные ветры над ним обуславливают развитие здесь **крупных волн**.

**Особенно бурным** море бывает осенью, а в безледных районах и зимой. На эти сезоны приходится 55 – 70% штормового волнения, в том числе с высотами волн 4 – 6 м, а **наибольшие высоты** волн достигают 10 – 11 м.





Приливные колебания уровня в Охотском море весьма значительны и оказывают существенное влияние на его гидрологический режим. Особенно высокие приливы (более 5 м) наблюдаются в крайней западной (Удская губа) и северной (Пенжинская губа) частях моря. Высота прилива в вершине Пенжинской губы достигает рекордных для всего российского побережья отметок в 11 – 12 м. В некоторых Курильских проливах скорости приливных течений доходят до 2 – 4 м/сек.

**В связи с этим, эффект воздействия цунами на многих участках побережья в сильной степени зависит от состояния и фазы прилива, что необходимо учитывать при цунамирайонировании и оперативном прогнозе.**

Кроме приливов здесь весьма обычными являются и **сгонно-нагонные колебания уровня**, возникающие при прохождении глубоких циклонов над морем. Нагонные повышения уровня могут достигать 1.5 – 2 м. Наибольшие нагоны отмечены на западном побережье Камчатки и в заливе Терпения.

# Анализ исторических сведений

Данные по проявлениям цунами в Охотском море **весьма скудны**.

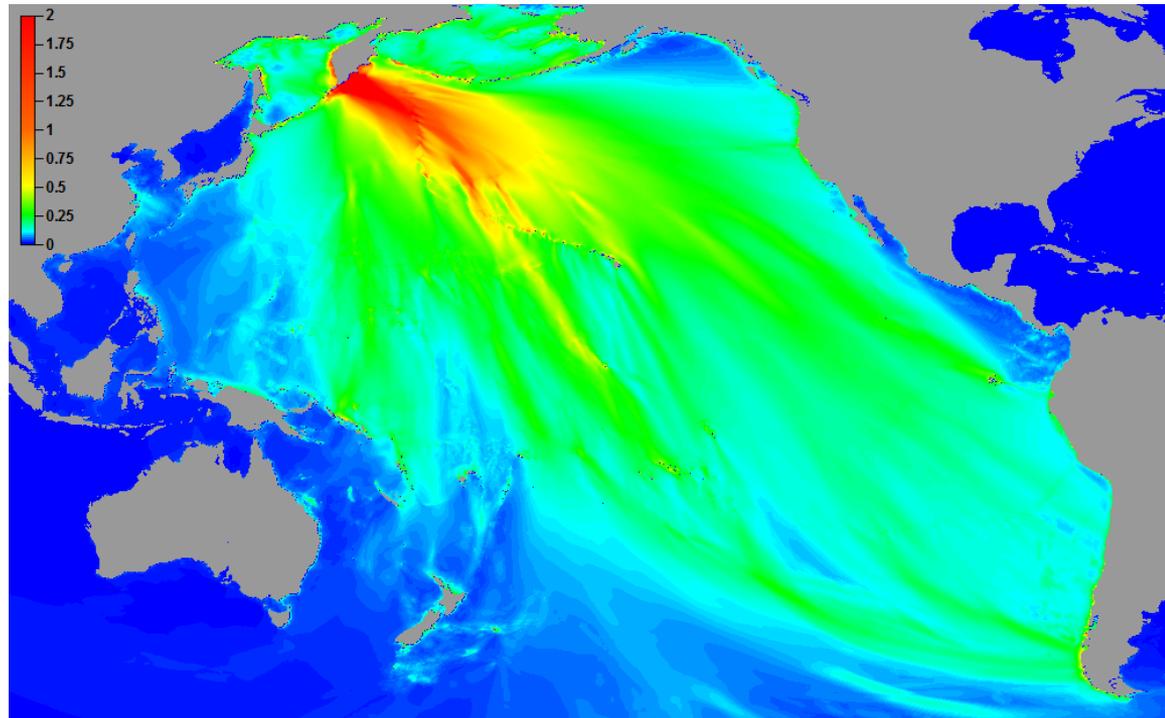
По-видимому, самым первым известным упоминанием о проявлении цунами в Охотском море следует считать сообщения **С.П.Крашенинникова** о катастрофическом Камчатском землетрясении 1737 года, с которого начинается сейсмический каталог всего Дальнего Востока.

Очаг землетрясения располагался у восточного побережья Камчатки, примерно в той же области, которая спустя 215 лет была активирована очагом Камчатского землетрясения 1952 года.

Оба события, несомненно, относятся к классу мега-землетрясений (с магнитудой 9.0 или выше) и оба вызвали разрушительные цунами на ближайших к очагу участках побережья.

**Локальные высоты цунами 1737 г. были втрое выше высот цунами 1952 года.**

*Здесь и ниже изложение иллюстрируется картинками «свечений» от модельных источников с магнитудой  $M_W = 9,0$*



По описаниям С.П.Крашенинникова в **1737** году максимальная высота заливания на острове **Парамушир** достигала **63 м** (30 саженой).

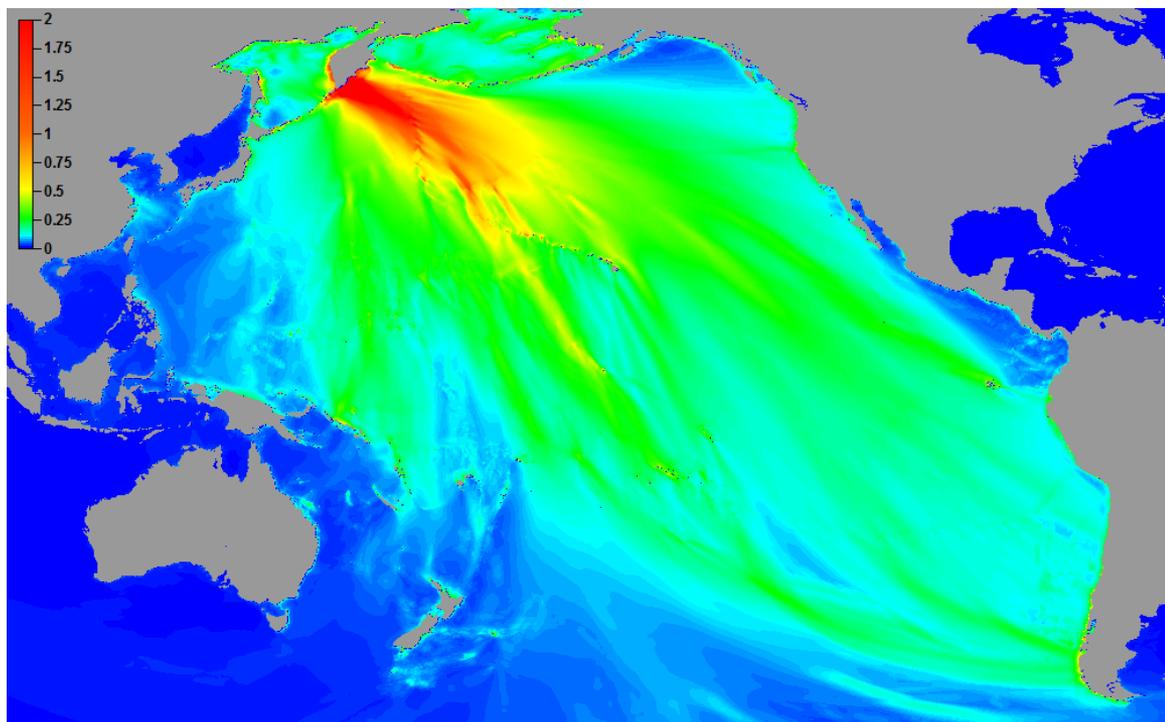
В районе **Авачинского** залива наблюдались волны высотой до **30 м**.

На **западной стороне Камчатки** цунами было, конечно, **существенно слабее**. В 25 км южнее Большерецка возможная высота волн составляла 2 – 5 м.

Данных о проявлениях в **Охотском море** второго сильнейшего Камчатского землетрясения 4 ноября 1952 года **несколько больше**, но и они являются **далеко не полными**.

На **западной стороне мыса Лопатка** высота волн достигала **5 м**, при этом на **океанском побережье** мыса наблюдались волны высотой **10 м**. В пос.Озерное – от 3 до 5 м, в пос.Колпаково – 0.5 м.

К сожалению, наблюдение **2 м** в районе **Магадана** является единичным, неизвестно, к какому конкретно пункту оно относится, какая конкретно величина была измерена (данные мареографа, высота заплеска на берегу или максимальная амплитуда на урезе).



**Чилийское цунами 1960 года** было вызвано сильнейшим ( $M_w=9.5$ ) за весь инструментальный период сейсмологических наблюдений землетрясением у побережья Чили.

Землетрясение вызвало трансокеанское цунами, которое распространилось на весь Тихий океан и достигло его противоположных берегов, сохранив свой разрушительный потенциал.

На Дальневосточном побережье РФ максимальные высоты залеска, достигавшие 7 м, были измерены на восточном побережье Камчатки в бухтах Моржовая и Русская (Заякин, 1996). Наблюдатель в бухте Моржовой отметил, что максимальной по высоте была пятая волна. Размах колебаний уровня в бухте Моржовой достигал как минимум 10 м.

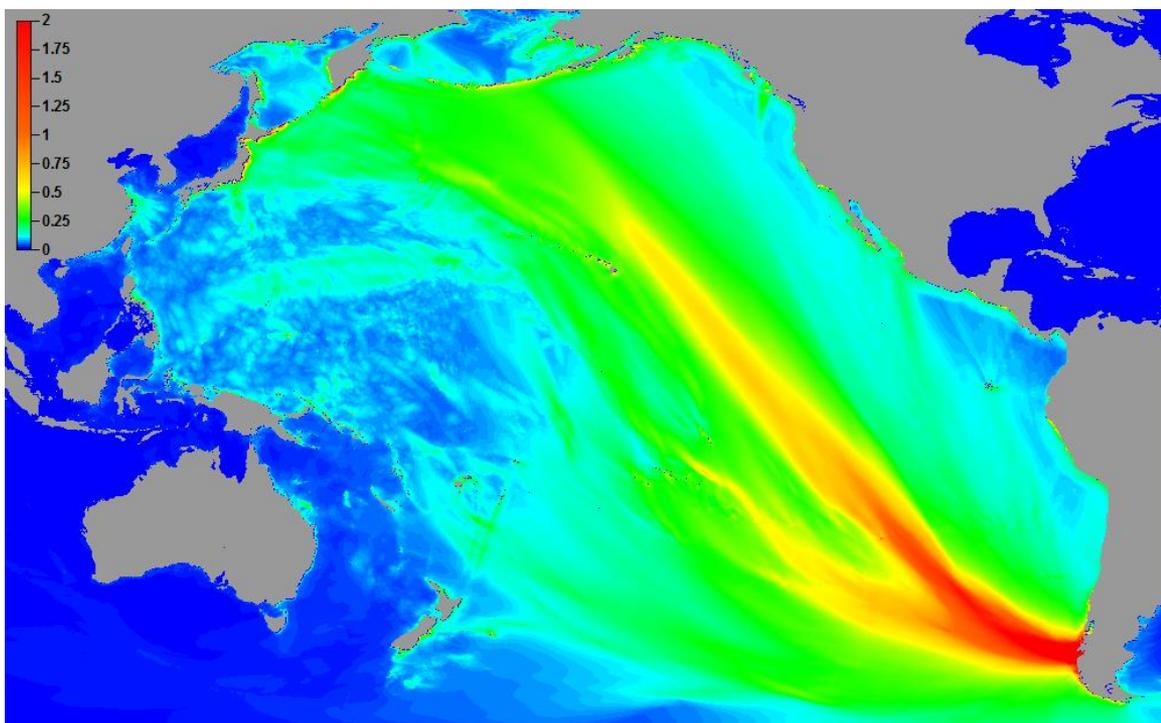
Сквозь курильские проливы цунами проникло в Охотское море и вызвало значительные колебание его уровня, продолжавшиеся более двух суток. Максимальная положительная амплитуда (214 см) наблюдалась в 06 час 40 мин.

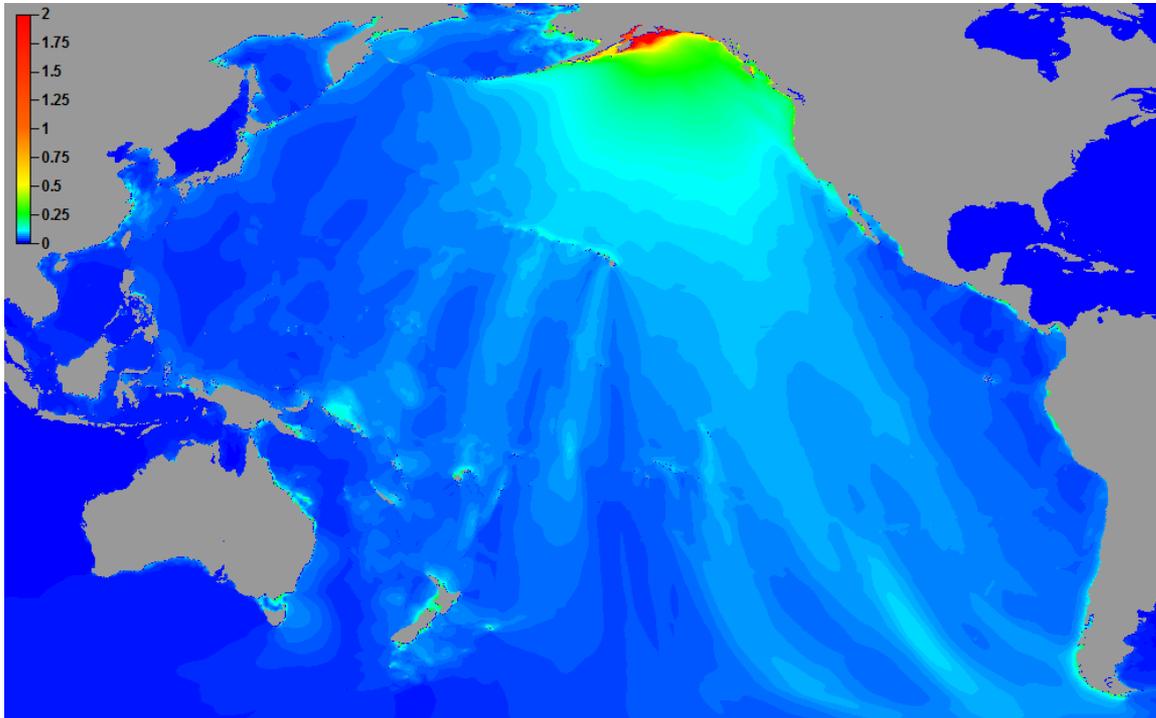
Высота волн этого цунами на побережье Сахалина оказалась существенно меньшей и составила в Корсакове 1.2 м, в Поронайске – 0.8 м, в Катангли – 0.6 м, на мысе Крильон – 0.4 м, в Холмске – 0.1 м (Соловьев, 1978).

**Средние высоты** чилийского цунами 1960 года по всей периферии Тихого океана были в диапазоне от **1.5 до 3 м**.

По сообщениям очевидцев на **побережье Корьякии** волны достигали высот **4 – 5 м**.

Учитывая, что все побережье Охотского моря находится в створе главного максимума распространения энергии этого цунами, можно полагать, что фактические высоты заливания на большом протяжении Колымского побережья могли достигать нескольких метров.





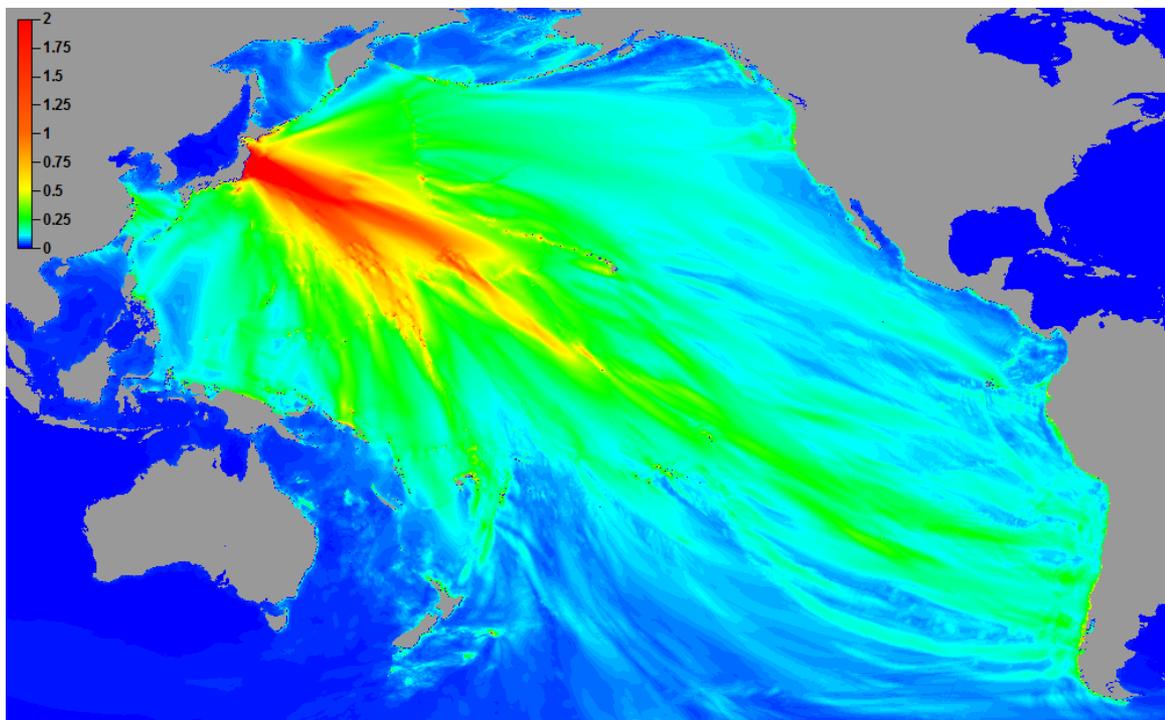
Второе сильнейшее трансокеанское цунами XX века – **Аляскинское** 1964 года имело слабое проявление на дальневосточном побережье России. **Максимальная** высота подъема уровня составила **1 м** (в Подгорном, на восточном побережье о-ва **Парамушир**), в **Северо-Курильске** мареограф записал волны высотой **0.8 м**, на о-ве **Шумшу** (Бабушкино) – **0.7 м** (Соловьев, 1978). **Основной причиной** этого является **положение и ориентация очага** этого землетрясения, при которой **максимум энергии цунами распространялся в южном направлении.**

**На Сахалине** максимальная высота волн этого цунами была зарегистрирована в **Корсакове (0.4 м)**. По **охотскому побережью** данных о проявлениях этого цунами **нет.**

Последнее по времени трансокеанское цунами – Тохоку 2011 года – вызвало опасные колебания уровня на восточном побережье Курильских островов и Камчатки, продолжавшиеся в ряде мест более суток.

Максимальные высоты волн (до 3 м) отмечены в бухте Крабовая на западном берегу о-ва Шикотан, при этом на его восточном побережье уровни заливания не превышали 1.5 м. В Малокурильске мареограф записал колебания с размахом до 2.3 м (Кайстренко и др., 2011). Максимальное заливание в Северо-Курильске достигало 2.5 м, в Буревестнике (о-в Итуруп) – 2 м.

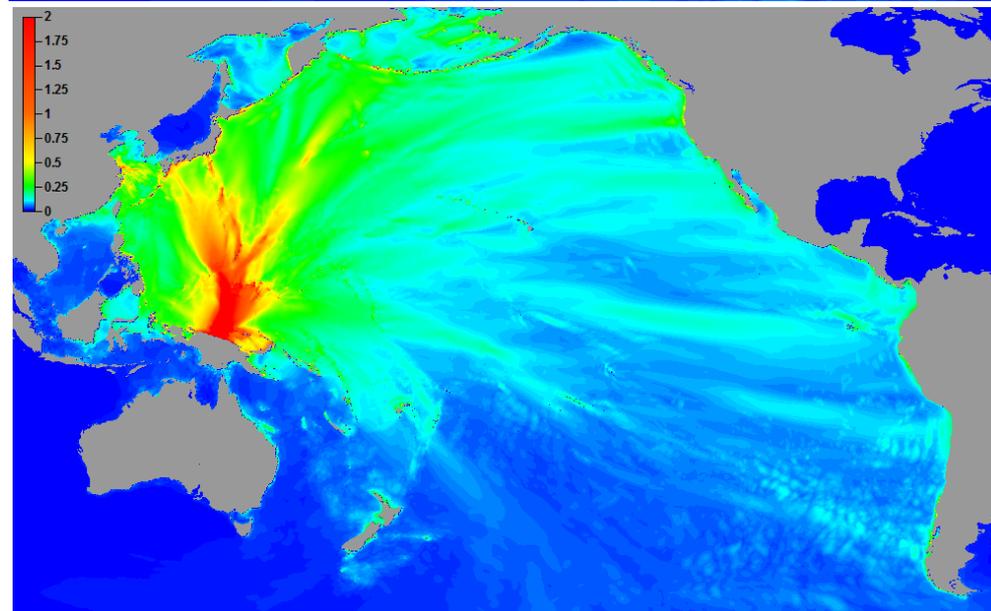
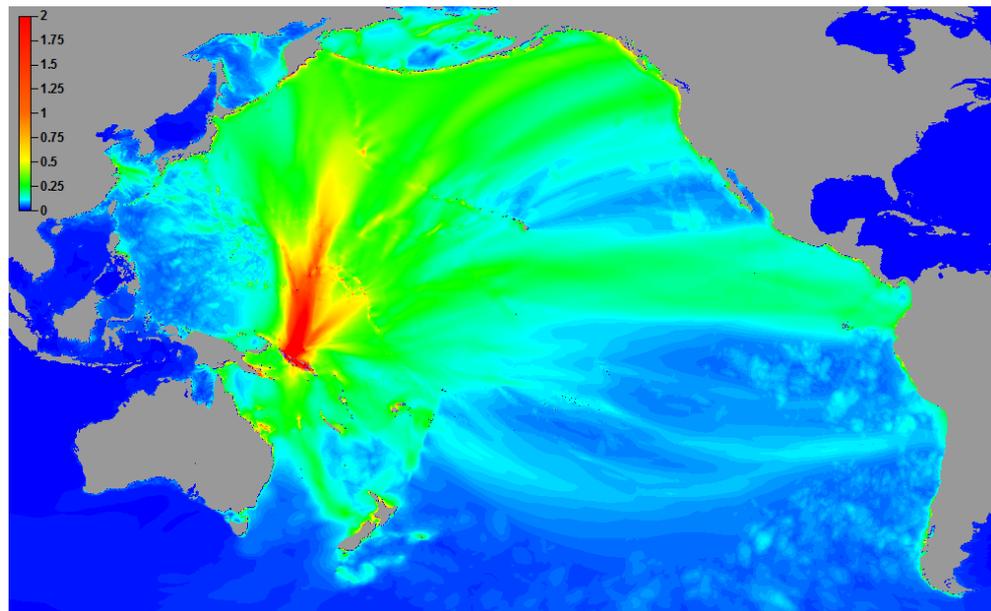
В бассейне Охотского моря наблюдались только фоновые колебания уровня – максимальные высоты волн по записям мареографов были 0.53 м (Курильск), 0.42 м (Корсаков), 0.44 м (Поронайск). По магаданскому побережью данных нет.



Анализ проявлений в Охотском море сильнейших «близких» трансокеанских цунами показывает, что **опасными** для него могут быть **только очаги цунамигенных землетрясений класса М9, расположенные непосредственно у южного побережья Камчатки и в районе Курильской гряды.**

Что касается **удаленных очагов** сильнейших землетрясений, то из всего тихоокеанского сейсмического пояса наиболее опасны **южно-американские** землетрясения, способные вызвать колебания уровня с размахом **до 5 м** по всему побережью Охотского моря (что фактически и произошло в мае 1960 года).

Результаты численного моделирования удаленных цунами показывают, однако, что возможна еще одна зона (**Новая Гвинея, Соломоновы острова**), очаги в которой могут быть опасны для нашего Дальневосточного побережья.



Следующие сильные подводные землетрясения произошли возле **о-ва Уруп 13 и 20 октября 1963 года**. Магнитуда **первого** толчка оценивается величиной **8.1**, оно вызвало **5-метровое цунами** на ближайшем берегу. **Сейсмический эффект второго землетрясения был гораздо ниже (его магнитуда 7.2)**, но **цунами на ближайшем берегу достигло 15-метровой отметки**. Позднее, второе землетрясение было идентифицировано как типичный случай **цунами-землетрясения** (Kanamori, 1972), способного вызывать аномально сильные волны цунами при умеренной магнитуде.

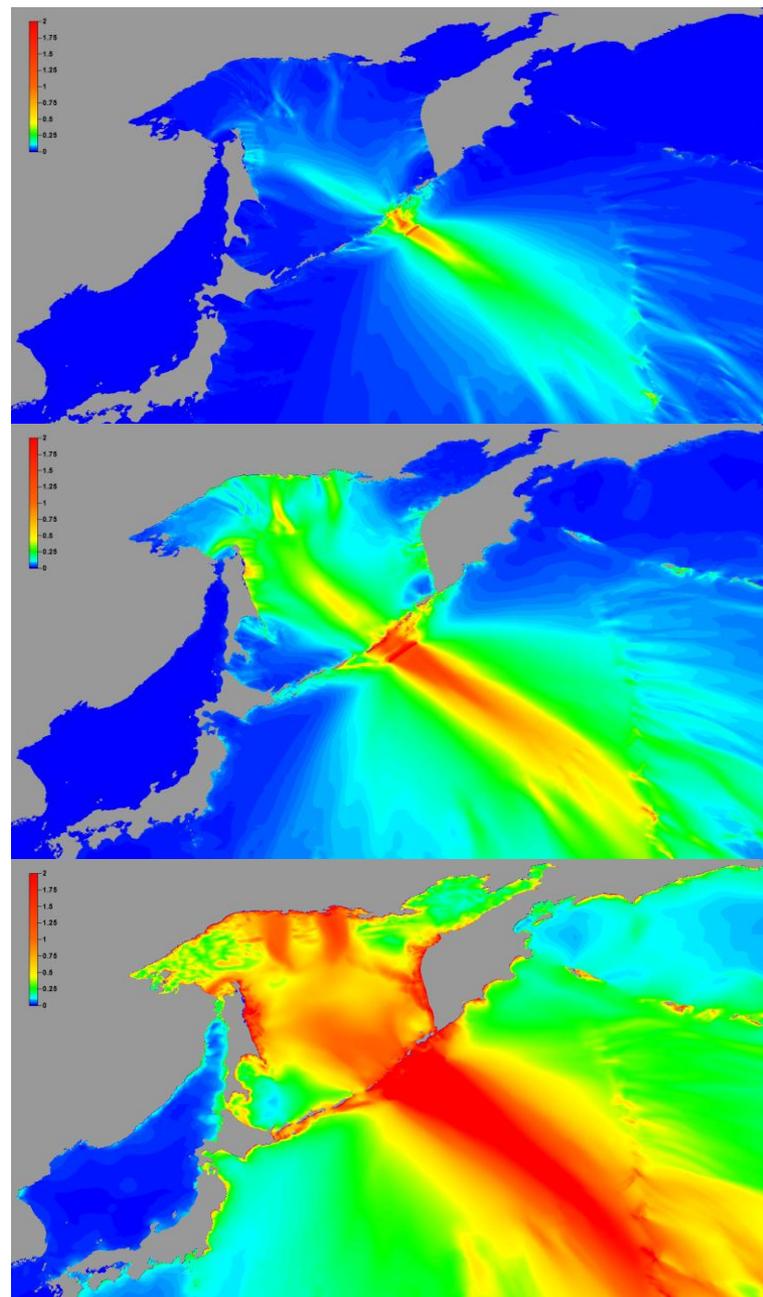
**В районе Южных Курил два сильных цунамигенных землетрясения** произошли практически в одном и том же районе – на участке континентального склона, прилегающего к острову Шикотан, 11 августа **1969** года ( $M_w=8.2$ ) и 4 октября года ( $M_w=8.3$ ). **Максимальные высоты** заплеска на ближайшем побережье (восточный берег о-ва **Шикотан**) от них составили **5 м и 10.4 м**, соответственно. **Оба эти цунами также вызвали только фоновые колебания уровня Охотского моря.**

Наконец, **последние по времени сильные цунамигенные землетрясения произошли в центральной части Курильской гряды**. Это Симуширские землетрясения 15 ноября **2006** года ( $M_w=8.3$ ) и 11 января **2007** года ( $M_w=8.1$ ). Волны цунами о землетрясения 15 ноября **2006** г. были четко записаны мареографом в **Магадане в виде цуга из 8 – 10 волн** с плавным вступлением, имевших период около часа и максимальный размах 63 см. **Второе цунами на записях мареографа Магадана идентифицировать не удалось** из-за низкого соотношения сигнал/шум (Лобковский и др., 2009). Это цунами хорошо прописалось только на ближайших к очагу мареографах в Мало-Курильске и Южно-Курильске.

Можно сделать вывод, что цунамигенные землетрясения с магнитудами 7.5 – 8.5, возникающие на континентальном склоне Курильской дуги, не представляют серьезной опасности для Охотоморского бассейна: Возникающие цунами способны проникать через проливы в Охотское море, однако доля их энергии составляет лишь незначительную часть от общей энергии, переданной землетрясением в водную толщу. Эта энергия достаточно быстро рассеивается на обширной акватории Охотского моря.

**Исключением являются лишь предельно сильные (класса М9) землетрясения, подобно происходившим в 1737 и 1952 гг. у побережья Камчатки и в 2011 году у побережья Японии. Энергия возникающих от них цунами столь велика, что она способна вызывать резонансные колебания всего бассейна окраинного моря, которые могут продолжаться несколько суток.**

**Диаграммы свечения для модельных очагов с магнитудами 7.8 (вверху), 8.4 (в центре), 9.0 (внизу), расположенных в районе пролива Крузенштерна. Степень проникновения цунами в Охотское море резко возрастает с увеличением мощности источника. Усиливается также захват волновой энергии шельфами Сахалина, Камчатки и охотского побережья в районе Магадана и Охотска).**



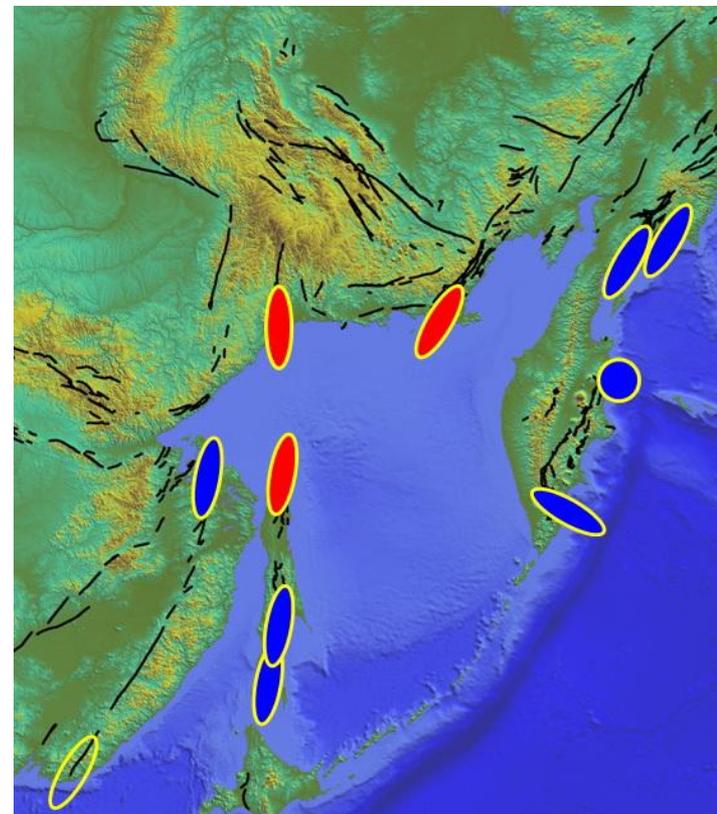
Достоверных случаев возникновения цунами от подводных землетрясений с **очагами на западной стороне Курильской островной дуги**, в Дальневосточном каталоге цунами нет (глубины очагов более 80-100 км). **Единственный** известный случай это землетрясение с магнитудой 6.2, произошедшее 5 марта 1956 года на глубине 20 км вблизи северного побережья о-ва Хоккайдо, от которого мареограф в Абашири записал волну высотой 0.4 м (Iida, 1984). Данных о регистрации этого цунами мареографами на Сахалине нет.

Из собственно сахалинских землетрясений, очаги которых могут быть отнесены к акватории Охотского моря, в дальневосточном каталоге цунами имеются всего два. Первое это землетрясение с  $M_w=6.8$ , случившееся 15 марта 1924 года в районе Углегорска, после которого было отмечено «сильное волнение воды в реке» (Соловьев, 1978). Второе – это разрушительное Нефтегорское землетрясение 27 мая 1995 года с  $M_s=7.1$ , после которого мареографом были зафиксированы волны высотой до 0.1 м. После которого мареографом были зафиксированы волны высотой до 0.1 м.

Инструментально зарегистрированная сейсмичность собственно охотоморского шельфа является весьма слабой. Наивысшая магнитуда, зарегистрированная здесь за весь период инструментальных наблюдений не превышает 6.6 (землетрясение 15 июля 1931 года в районе Магадана). Землетрясения такой магнитуды сами по себе не способны вызывать опасное цунами, однако, они могут инициировать подводный оползень или береговой обвал, результатом которого могут быть волны цунами практически любой высоты.

По результатам дешифрирования космоснимков выявлена система правосторонних сдвигов, проходящая от Магадана до Эвенска вдоль западного побережья залива Шелехова (Ланково-Омолонская зона), способная продуцировать землетрясения с магнитудой до 7.5 (Кожурин, 2012). Сама по себе зона находится целиком в пределах суши, однако, любое сильное землетрясение в этой зоне, в силу ее близости к побережью вполне способно вызвать сейсмообвалы на побережье, которые в свою очередь могут генерировать опасные цунами. И такие обвалы действительно происходили в недавнем геологическом прошлом.

**Цунами, возникающие при такого рода береговых и подводных обвалах, носят, как правило, локальный характер, однако, высота заплеска при этом может быть сколь угодно большой.**



Значительная часть акватории Охотского моря **покрыта сплошным льдом** в течение большей части года (6 – 7 месяцев). Взаимодействие цунами со льдом изучено еще недостаточно, однако известные факты заставляют отнести к этому со всей серьезностью.

Накат волн цунами на **заснеженное побережье** также имеет свои особенности. Одним из таких редких случаев является Камчатское цунами 13 апреля 1923 года, с большой глубиной заливания, которая явилась следствием наличия в тот момент снежного покрова на поверхности Усть-Камчатской равнины: **заснеженное побережье резко изменяет условия взаимодействия волн с берегом и диссипацию волновой энергии при накате.** Другим негативным эффектом при этом цунами явилось **долгое (в течение суток) стояние воды залившей прибрежную равнину,** что также было обусловлено наличием снега на поверхности суши.

Другим потенциально опасным источником цунами в бассейне Охотского моря могут **являться взрывы и обрушения кальдер островных и прибрежных вулканов Курило-Камчатской зоны.**

В историческое время отмечено три случая возбуждения вулканогенных цунами в Охотском море. В атласе "Тихий океан" имеется указание на **сильное вулканогенное цунами, возникшее в 1918 году** в средней части Курильской гряды.

Сильное цунами возникло при **вулканическом взрыве 8 января 1933 года**, который уничтожил верхнюю половину центрального конуса вулкана Севергина на о-ве Харимкотан (Важенин, 2006). Возникшее цунами на ближайших островах имело высоту до 9 м (Соловьев, 1978), наблюдалось три волны, вынесшие на берег большие глыбы льда.

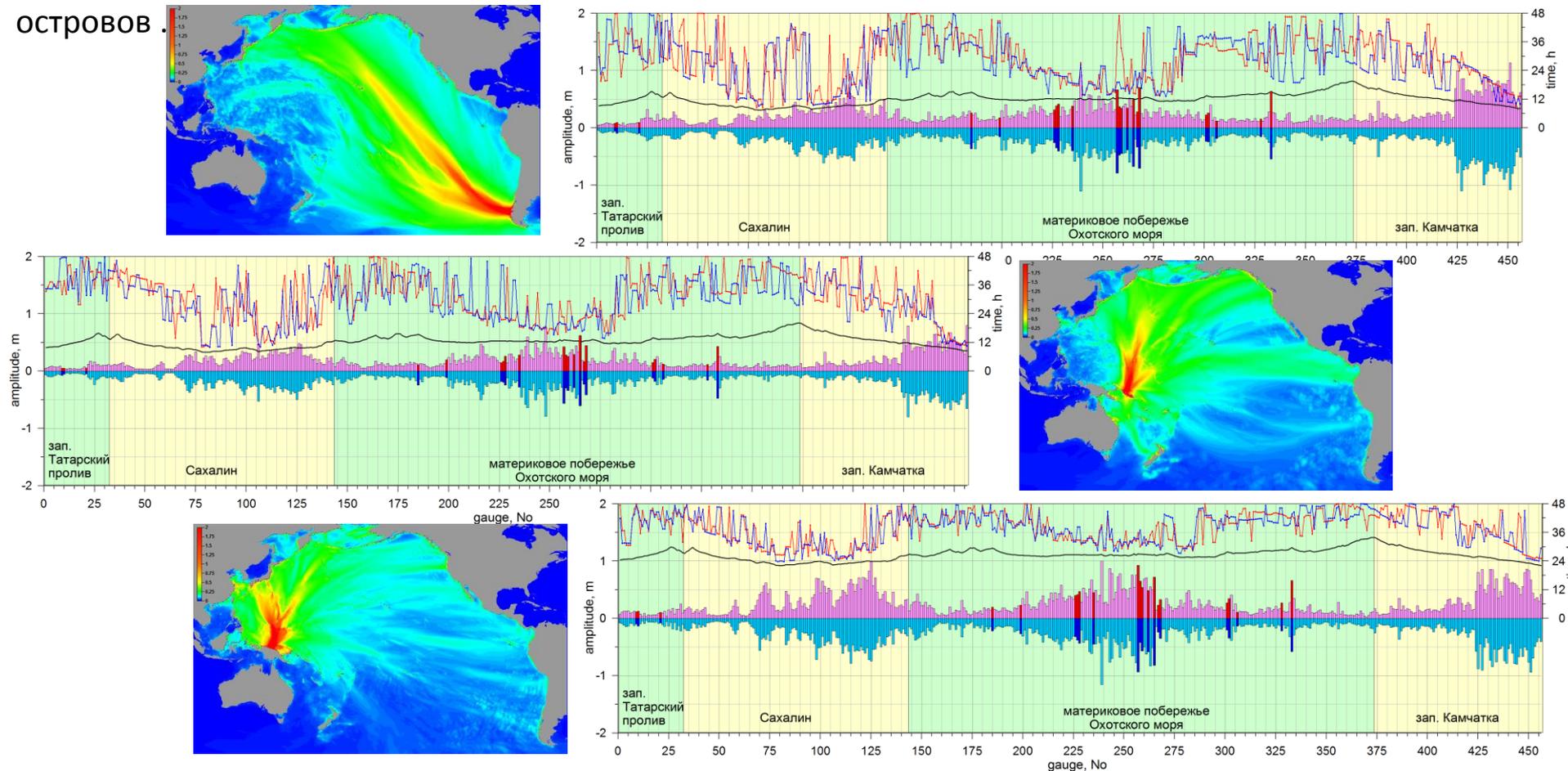
При **извержении вулкана Сарычева на о-ве Матуа 13 ноября 1946 года** возникли "гигантские волны" на северо-западном берегу острова (Соловьев, 1978).

По сравнению с типичными сейсмогенными цунами, волны, возникающие при вулканических взрывах, обрушениях кальдер, а также береговых оползнях и обвалах, имеют **совершенно другую диаграмму направленности и закон убывания высоты волны с расстоянием.** Как правило, они опасны только в ближайших окрестностях очаговой области.

Служба предупреждения о цунами в ее настоящем виде не имеет средств оперативного прогноза таких цунами, однако, возможность их возникновения должна учитываться при планировании защитных мероприятий для конкретных населенных пунктов.

# Анализ проявления удаленных цунами у берегов Охотского моря по материалам вычислительных экспериментов

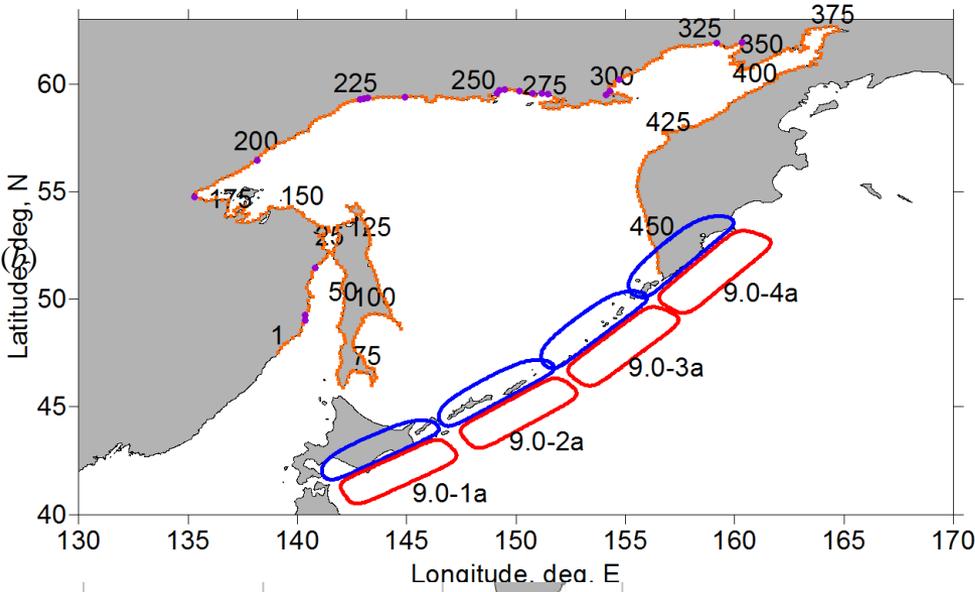
Анализ распределений экстремальных характеристик волн цунами, порожденных удаленными относительно защищаемого побережья цунамигенными землетрясениями, вдоль побережья Охотского моря выполнялся по результатам моделирования наиболее опасных источников с магнитудой  $M_w=9.0$  – «чилийского» и «гвинейского» очагов и очага из группы Соломоновых островов.



В ходе вычислительных экспериментов воспроизводились сценарии взаимодействия с защищаемым побережьем Охотского моря (Хабаровская обл., Магаданская обл., западное побережье Камчатки, побережье Сахалина) гипотетических волн цунами, порождаемых наиболее опасными модельными землетрясениями с магнитудами 9.0 и 8.4.

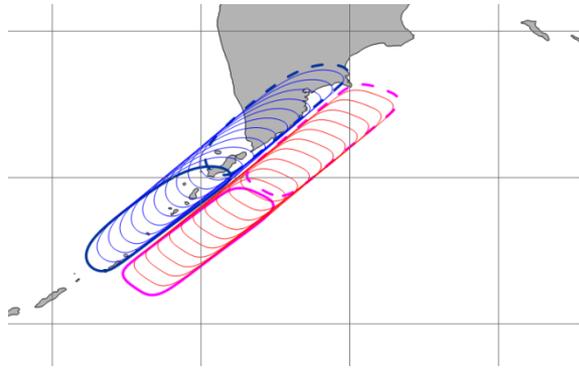
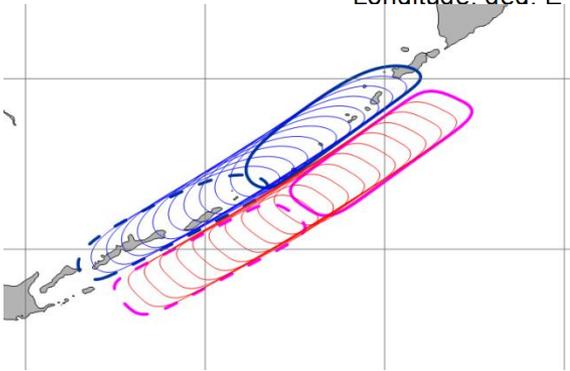
ID	Latitude (N)	Longitude (E)	L (km)	W (km)	DE (grad)	LA (grad)	TE (grad)	D0 (m)	H_top (km)
1a	42.82	143.89	430	150	15	90	58	11.6	15
2a	45.48	149.22	430	150	15	90	52	11.6	15
3a	48.47	153.73	430	150	15	90	41	11.6	15
4a	51.86	157.75	430	150	15	90	36	11.6	15

(a)

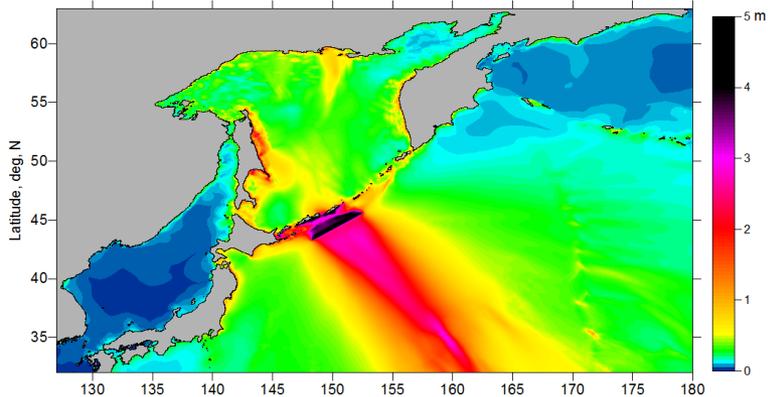


Проявление волн регистрировалось на виртуальных мареографах, соответствующих защищаемым пунктам Аян, Охотск, Магадан и по соседству с ними.

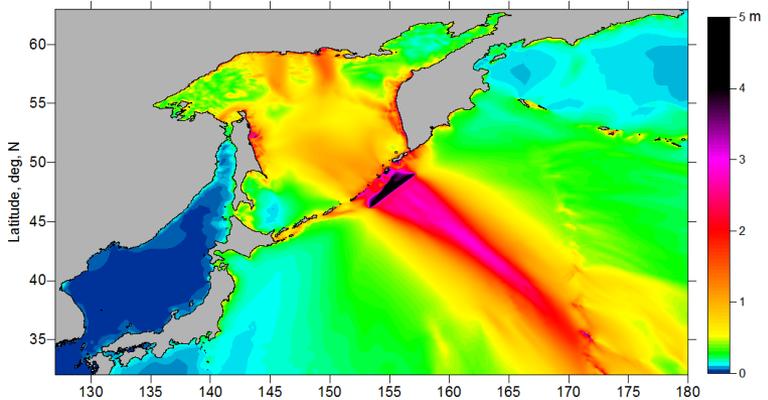
Характер распространения энергии волн от «ближних» цунами в акватории Охотского моря, очевидно, определяется процессом прохода волн через Курильские проливы, а значит, – расположением эпицентров цунамигенных землетрясений относительно этих проливов.



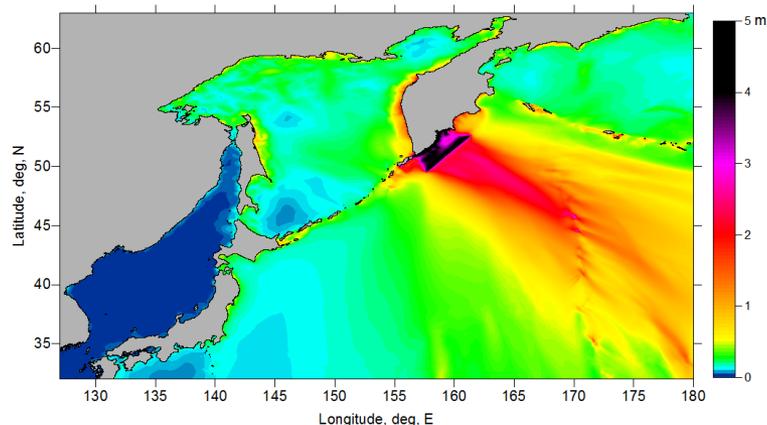
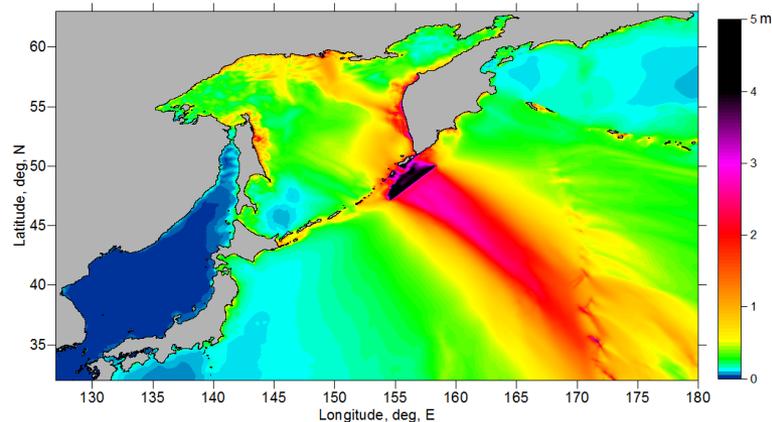
Судя по результатам расчетов, можно выделить три основных направления – к о-ву Сахалин (его южному, восточному и северному побережьям), к материковому побережью Охотского моря и к западному побережью п-ва Камчатка.



Для о-ва Сахалин наибольшую опасность представляют очаги, расположенные между базовым очагами 2а и 3а. При смещении к северу (к очагу 3а) повышаются амплитуды на севере острова

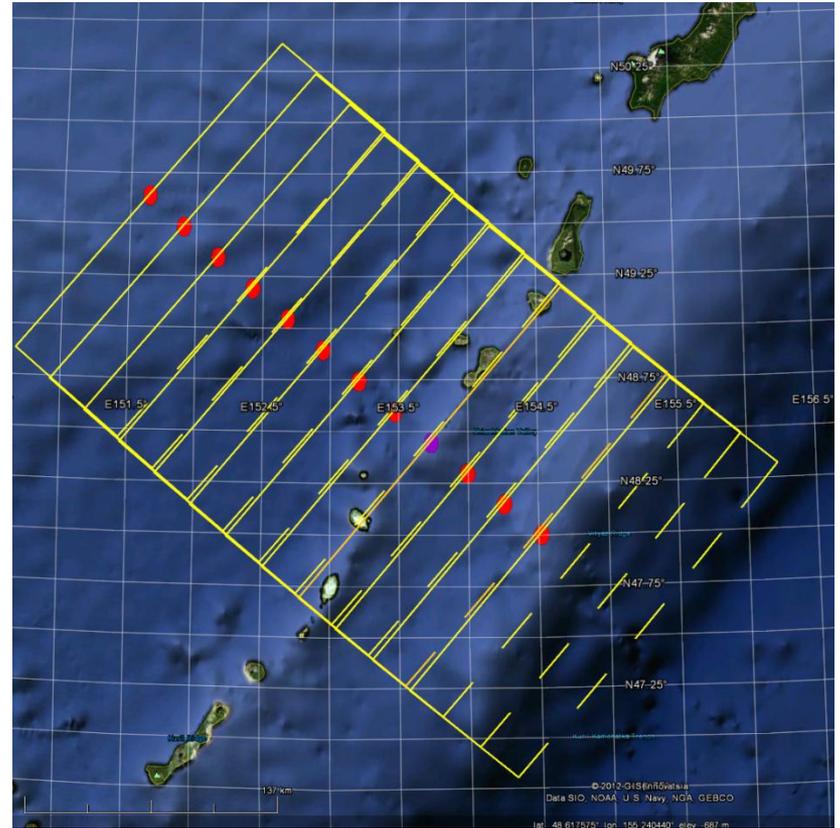
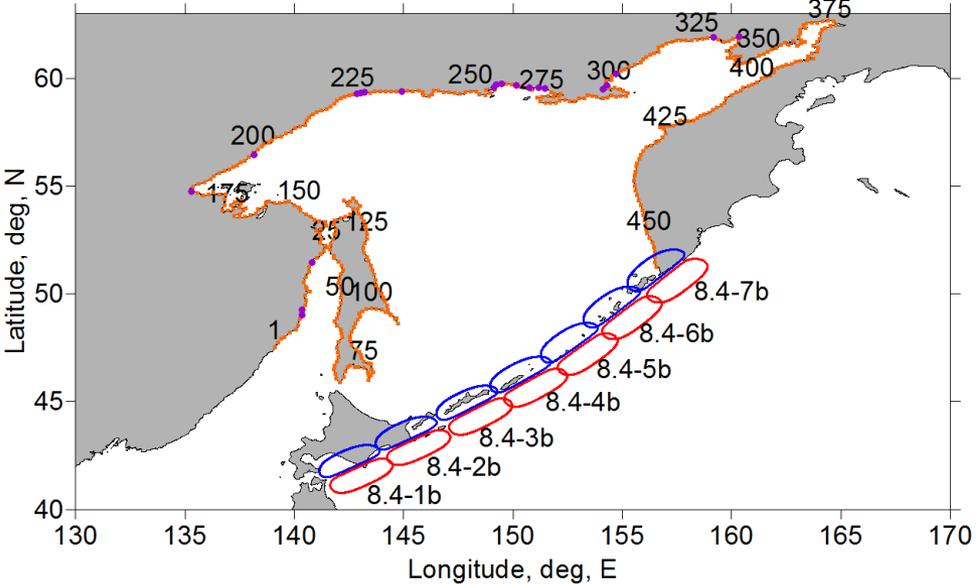


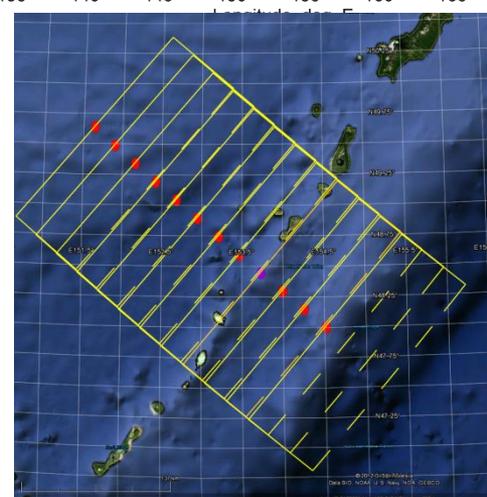
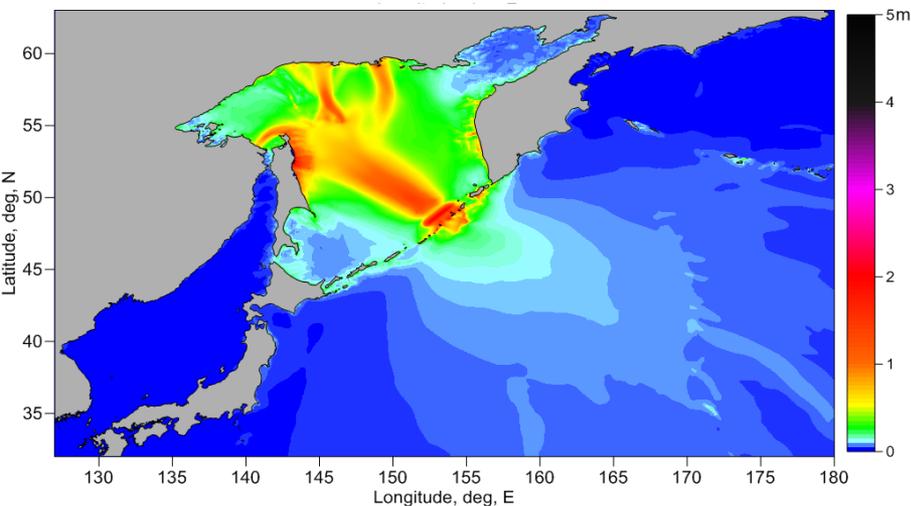
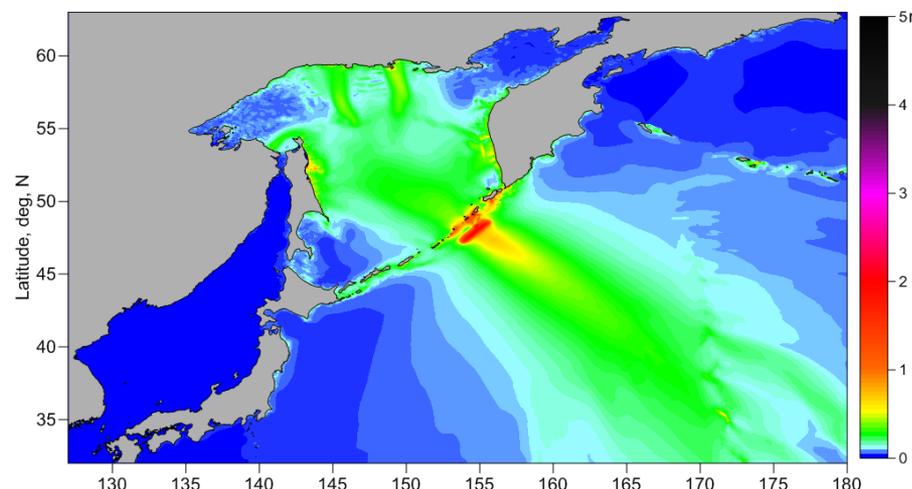
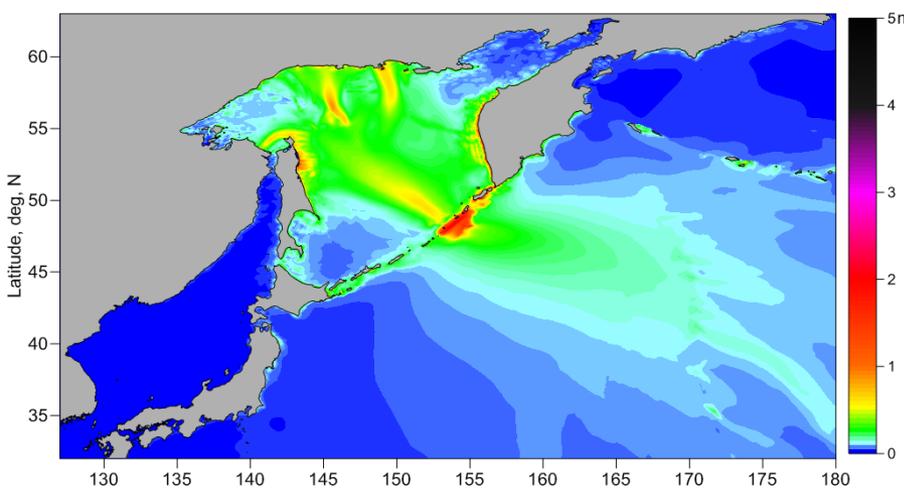
На континентальном побережье Охотского моря явно выделяются две «цунамиопасные» зоны, первая из которых включает пункты Охотск и Иня, а вторая – Магадан и окрестности пунктов Балаганное, Тауйск.



При рассмотрении сценариев наиболее опасных для побережья Охотского моря гипотетических цунами, порожденных землетрясениями с магнитудой 8.4, рассматривались «базовые» и «дополнительные» очаги. В число базовых были включены очаги 1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6b, 7b.

ID	Latitude (N)	Longitude (E)	L (km)	W (km)	DE (grad)	LA (grad)	TE (grad)	D0 (m)	H_top (km)
1b	42.08	142.63	215	75	15	90	58	5.5	25
2b	43.38	145.23	215	75	15	90	57	5.5	25
3b	44.8	148.01	215	75	15	90	54	5.5	25
4b	46.11	150.48	215	75	15	90	51	5.5	25
5b	47.61	152.75	215	75	15	90	43	5.5	25
6b	49.28	154.72	215	75	15	90	40	5.5	25
7b	50.98	156.75	215	75	15	90	38	5.5	25





Свечения демонстрируют идентичность основных направлений распространения энергии сценариям с магнитудами 9.0 – в сторону восточного побережья Сахалина, западного побережья Камчатки и два луча в сторону материкового побережья Охотского моря. Наибольшие амплитуды волн наблюдаются от источников, лежащих в акватории Охотского моря (56b\_-8 – 56b\_-3) самый опасный из которых – 56b\_-5.

При перемещении очагов в сторону Тихого океана их цунамиопасность резко снижается, и по своим размахам волны перестают превышать 1 м. Опасность, однако, сохраняется для окрестностей Магадана.

## Заключение

- Охотское море **не имеет собственных цунамигенных зон**, способных породить **сильные** сейсмогенные цунами непосредственно внутри акватории моря. Однако **оно открыто к воздействию региональных цунами**, порождаемых сильными ( $M > 8$ ) подводными землетрясениями Курило-Камчатской зоны, а также **проникновению сильнейших трансокеанских цунами**, порождаемых мега-землетрясениями ( $M 9$ ) в других цунамигенных зонах Тихого океана, в первую очередь, в Южно-американской.
- **Самые высокие** (по всему охотоморскому побережью) волны цунами были зарегистрированы в Магадане в 1952 году (2 м) и в 1960 году (2.2 м). Одной из причин увеличенных колебаний уровня здесь могло быть резонансное усиление путем взаимодействия проходящей волны с модами собственных колебаний бухты Нагаева.
- Наличие **ледяного покрова** может усиливать эффект воздействия цунами на берег (увеличение дальности заливания, вынос тяжелого льда на берег). Дополнительные опасности возникают при взломе берегового припая в периоды нахождения там людей (подледный лов рыбы). Этот эффект может иметь место при очень незначительной высоте самого цунами (первые десятки сантиметров).

- Результаты **численного моделирования** показывают, что опасные (с высотой более 0.5 м) колебания уровня от Курило-Камчатских землетрясений в западной части охотоморского побережья могут начинаться уже при магнитуде  $M_w=8.0$ . При магнитуде  $M_w=8.4$  размах колебаний уровня в районе Магадана может достигать 2 м, а при магнитуде  $M_w=9.0$  – превышать 8 м. Такие цунами, несомненно, окажут разрушительное воздействие на все прибрежные населенные пункты колымского побережья.
- Изучение **вариаций колебания уровня Охотского моря в зависимости от положения очага вдоль Курильской гряды** показывает, что какие-то **выраженные максимумы (или минимумы)** по положению очага **вдоль** гряды **отсутствуют**. Для достаточно протяженных (при  $M > 8$ ) очагов даже крупные острова (Парамушир, Симушир, Итуруп) не являются значительным барьером. Через проливы волновая энергия протекает в Охотское море и далее распределяется по всему его бассейну, при этом вариации колебаний уровня в конкретных точках определяются почти исключительно локальными условиями (батиметрией прилегающих участков шельфа, резонансными свойствами бухт и заливов).
- При **вариациях** положения модельных очагов **вкрест** простираения островной дуги общей тенденцией является **рост амплитуд волн на колымском побережье при приближении очага к островной дуге, который происходит даже несмотря на уменьшение средних глубин воды в очаговой области**. При выходе очаговой области в задуговую часть островной дуги, амплитуды колебаний достигают максимума (**размах 1.2 м для Аяна, 1.9 м для Охотска, 2.0 м для Магадана**).
- При **приближении очага к Камчатскому полуострову** происходит захват волной энергии (западным) камчатским шельфом и ее **вторичное излучение** в сторону Магадана, при этом амплитуды колебаний уровня в районе Магадана достигают максимума для очага, закрытого на треть полуостровом Камчатка.

- Отдельную проблему для охотоморского побережья представляют **вулканогенные** цунами, порождаемые оползнями и обвалами, возникающими на вулканических постройках подводных и островных вулканов. Такие обвалы могут как возникать вследствие сейсмического воздействия, связанного с общим сеймотектоническим процессом данной зоны, так и порождаться непосредственно вулканическим извержением, причем необязательно происходящим на данном вулкане.
- В силу морфологических особенностей значительной части охотского побережья **особую опасность для него представляют обвальные цунами**, возникающие при подводных и береговых оползнях и обвалах. Такие обвалы совсем необязательно связаны с сейсмической деятельностью, они могут возникать при потере стабильности склонов, возникающей по целому ряду причин (инженерные воздействия, изменения погоды, влагонасыщенности грунтов и т.д.), возникающие при этом волны цунами могут быть локально-разрушительными, хотя, как правило, не способны распространяться на большие расстояния от источника
- **Редкость** (малая повторяемость) цунамигенных явлений в Охотском море (сравнительно с соседней Курило-Камчатской зоной) **порождает недооценку реальной опасности** цунами в этом регионе.
- Для получения оценок **реальной** угрозы цунами в Охотском море необходимо выполнение **целенаправленных исследований по поиску и систематизации исторических сведений о проявлениях цунами, полевых экспедиционных работ по поиску следов палеоцунами на охотоморском побережье, идентификации и оценке сейсмогенного потенциала активных разломов в прибрежной зоне, а также численное моделирование** распространения цунами в бассейне Охотского моря, порождаемого **сейсмогенными, вулканогенными и обвальными источниками**.

富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

江戶 葛飾 富田 一筆

