**Некоторые особенности формирования подводных каньонов на континентальном склоне Восточной Камчатки**

Ю.О. Егоров

Рассмотрены особенности морфологии дна и строения осадочного разреза на шельфе и континентальном склоне Камчатского и Авачинского заливов (Восточная Камчатка) в связи с процессами подводного оползнеобразования, а также в контексте их возможной связи с генерацией волн цунами. В основу статьи положены оригинальные результаты геолого-геофизического изучения акваторий, полученные в 38, 39 и 41 рейсах НИС "Вулканолог" (1990-1991 гг.). Основное внимание уделено строению верховий каньонов, характеру миграции осадочного материала на шельфе и континентальном склоне, а также изучению ряда геологических особенностей разреза осадочной толщи в бортах подводных каньонов, которые, как предполагается, благоприятствуют возникновению и протеканию оползневых процессов.

**Введение**

Одна из наиболее характерных особенностей морфологии дна на континентальном склоне и шельфе северо-западной части Тихого океана - широкое развитие подводных каньонов, являющихся путями транспортировки терригенного материала [14,22,25 и др.]. Значительная часть транзитного осадочного материала, ежегодные объемы выноса которого измеряются тысячами км3 [26], накапливаясь на континентальном склоне, находится в состоянии неустойчивого динамического равновесия. Такая ситуация в совокупности с развитием интенсивных эрозионных явлений и высокой сейсмичностью региона приводит к повсеместному проявлению литодинамических процессов, главным образом в виде подводного оползнеобразования.

**Районы и методы исследований**

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1 |

В качестве объектов исследования современных обвально-оползневых процессов было выбрано северо-западное ответвление Камчатского каньона в северной части Камчатского залива и его обрамление, а также северная часть Авачинского залива (врезка на рис.1). Выбор районов проведения исследований определялся двумя основными причинами. Во-первых, несмотря на сравнительно хорошую изученность акваторий Камчатского и Авачинского заливов [8,10,13,22], в процессе морских геолого-геофизических работ с борта НИС "Вулканолог" в северо-западной части Камчатского и в северной части Авачинского заливов впервые были выявлены участки морского дна, характеризующиеся специфическими особенностями строения осадочного чехла [17,34]. При интерпретации полученных данных на здесь было установлено широкое распространение подводных обвально-оползневых процессов. Во-вторых, побережье Камчатского и Авачинского заливов и соседних с ними акваторий является одним из цунамиопасных районов северо-западного обрамления Тихого океана; в историческое время цунами отмечались здесь неоднократно [4,7,23,24]. В то же время, есть все основания полагать, что некоторые из этих событий не связаны с цунамигенными землетрясениями, и могут иметь иной генерирующий источник [16].

В процессе набортных дистанционных исследований проводились непрерывное эхолотирование, сейсмопрофилирование и гидромагнитная съемка по ортогональной линейной сетке с расстоянием между профилями около 1 морской мили со сгущением профилей до 0,3-0,5 мили на участках детализации. Эхолотирование велось двумя приборами: Kajodenki WD-110M с центральной частотой 12,5 кГц и JCR JVF-820C с частотами 28 и 200 кГц. При сейсмопрофилировании применялся одноканальный искровой разрядник с периодом излучения от 4 до 1 с и центральной сейсмической частотой 75 или 150 Гц. Регистрация полученного отраженного сигнала производилась в аналоговой форме.

Набортные геологические работы включали отбор донных образцов драгами, дночерпателями и грунтовыми трубками. В лабораторных условиях проводились разнообразные исследования поднятых образцов, включавшие микрофаунистический (диатомовый), минералогический, химический и изотопный анализы. Предварительные сообщения, включающие отдельные полученные результаты, были опубликованы ранее [17,27,34].

**Морфология дна северной части Камчатского залива.**

Северную часть Камчатского залива (рис.1) составляют сравнительно мелководные континентальные отмели, обращенные внутрь залива и прослеживающиеся с плавными перегибами до глубины 420 м. В пологих прогибах этого склона располагаются подводные каньоны, крупнейшим из которых является субмеридионально ориентированный Камчатский каньон. Долина каньона имеет несколько коленообразных изгибов, подчеркивающих его приуроченность к зоне пересечения разрывов субширотного и субмеридионального простирания. Дно каньона представляет собой сложное сочетание эрозионных и аккумулятивных форм, разделенных своеобразными "водоразделами". Основное русло каньона характеризуется V-образной формой с выраженной асимметрией склонов [10,21].

Морфология дна в районе участка детализации работ в верховьях каньона (Западной долины по [10]) существенно отличается от соседних с ним притоков и ответвлений. Если практически все притоки северной части каньона имеют V-образную форму, а их русло часто меняет направление, то изученный участок представляет собой вытянутую корытообразную (U-образную) долину длиной 15 км и шириной 2-4 км. Борта долины осл

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2 |

ожнены сериями уступов и оползневых ступеней, а высота склонов колеблется от 200 до 350 м при крутизне до 30њ (рис.2). Относительно плоское дно каньона имеет наклон около 3o в юго-восточном направлении, что соответствует падению поверхностей напластования слоев осадочного чехла.

Сравнительно крутые склоны каньона, высокая сейсмичность региона, а также широкое развитие геологических процессов, способствующих нарушению сплошности осадочного разреза, являются предпосылками интенсивного оползнеобразования. О высокой степени проработки бортов и дна изученного участка каньона оползневыми процессами однозначно свидетельствуют морфологические признаки. В результате схода многочисленных оползней верховья каньона в плане имеют округлые очертания и напоминают оползневой цирк. Оползневые тела различного размера прослеживаются на сейсмограммах как на стенках (висячие оползни), так и на дне каньона, перегораживая его (рис.2). Наличие разномасштабных оползневых тел, перегораживающих дно подводных каньонов, является характерной особенностью шельфа и континентального склона Восточной Камчатки [10,15,22]. При этом объем оползневых тел может достигать нескольких кубических километров и десятков кубических километров. Так, например, южная часть Камчатского каньона отделена от основного русла крупным оползшим массивом осадков объемом более 5 км3, образовавшим своеобразную дамбу [10]. С активным характером обвально-оползневых процессов на стенках каньона в исследуемом районе, по-видимому, связан повышенный микросейсмический фон на частотах 0,15 - 0,40 Гц, фиксируемый наземными сейсмостанциями [13-15].

**Строение и состав осадочной толщи северной части Камчатского залива**

Северная часть шельфа Камчатского залива является зоной аккумуляции осадочного материала, выносимого р. Камчатка - самой крупной рекой полуострова. Твердый сток р.Камчатка, составляющий в настоящий момент около 2,4 тыс. т в год [10], в большой степени определяется переносом твердых продуктов эруптивной деятельности вулканов Ключевской группы. Кроме того, река переносит значительное количество органического материала, крупномасштабное захоронение которого происходит в рыхлых отложениях шельфа [З].

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3 |

Видимая в сейсмическом изображении мощность осадочного чехла на изученном участке сравнительно невелика - 100-150 м, и только на отдельных участках разрез читается до глубины 200-250 м. Осадочная толща хорошо стратифицирована. По данным геологического опробования и анализа сейсмограмм разрез осадков, слагающих борта каньона, представлены переслаиванием песчаного, гравийного и илистого материала, имеющего различные плотностные характеристики. Характерной особенностью этого разреза является наличие выдержанной по площади высокоамплитудной отражающей границы в нижней части разреза (рис.2), которая, по-видимому, соответствует переслаиванию уплотненных тонкослоистых осадков. Это предположение подтверждается материалами драгирования и отбора проб дночерпателем. С интервала глубин 185-250 м, где упомянутая граница выходит на поверхность морского дна, были подняты темно-серые, местами почти черные гумусированные глины полутвердой консистенции, которые переслаиваются с плотными серыми глинами и суглинками с большим количеством вкраплений органики различной величины. Фаунистические определения [17] позволяют отнести эти образования к позднему плейстоцену-голоцену.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 4 |

Вверх по разрезу выше упомянутого горизонта залегает слоистая разнокомпетентная толща, представленная (по данным опробования дночерпателями) глинистыми илами с текучей консистенцией и максимальной влажностью, переслаивающихся, в свою очередь, с пачками более плотных суглинков. Осадки, обрамляющие каньон, нарушены сбросообразующими разломами и трещинами отрыва, часть из которых перекрыты слоем верхнечетвертичных отложений небольшой мощности (рис.3). К трещинам отрыва приурочены газовые выходы различной интенсивности, которые уверенно фиксируются на эхолотных записях (рис.4.). Различие в гранулометрическом и вещественном составе между отдельными компонентами осадочного разреза объясняется тем, что характер материала, выносимого р.Камчатка, значительно менялся на протяжении геологического времени главным образом в зависимости от климатических условий. В период верхнеплейстоценового похолодания в пределах современного шельфа Камчатского залива были сформированы торфяники различной мощности и протяженности [6], которые при повышении уровня моря были погребены под верхнеплейстоцен-голоценовыми дельтовыми отложениями р.Камчатка.

**Рельеф дна северной части Авачинского залива**

|  |
| --- |
|  |
|  |

В целом шельф северной части Авачинского залива (рис.5) имеет плоскую, слабонаклонную поверхность, которую можно разделить на три интервала. В интервале глубин 50-100 м уклон дна составляет около 0,3o в юго-восточном направлении. Поверхность дна в этом интервале глубин нарушена в верховьях Авачинского каньона (вблизи Халактырского пляжа), где влияние эрозионных процессов заметно начиная с глубин около 60-70 м, а также к югу от Шипунского полуострова. Здесь отмечены деформации поверхности шельфа, которые, вероятно, приурочены к зонам тектонических, в том числе и разрывных нарушений северо-западного и субмеридионального простираний. В интервале глубин 100-150 м уклон дна возрастает до (0,40-0,50), в восточной части района отчетливо различимы эрозионные и, возможно, тектонические долины, трассирующие разломы северо-западного и субмеридионального простираний. Начиная с глубин 150-200 м (а для верховий Авачинского каньона - со 100 м) уклон дна резко возрастает до первых, иногда до нескольких градусов. Этот перегиб в рельефе дна соответствует внешней бровке шельфа. Для западной части района положение внешней бровки шельфа контролируется процессами подводной эрозии, выраженными разветвленной сетью эрозионных долин в верховьях Авачинского каньона. Для восточных участков внешняя бровка шельфа сформирована процессами бокового наращивания в период низкого стояния уровня океана.

Краткая характеристика строения осадочного чехла на шельфе Авачинского залива

|  |
| --- |
|  |
|  |

Дно северной части Авачинского залива сложено неконсолидированными отложениями, мощность которых на большей части площади не установлена из-за интенсивных реверберационных помех или ограниченной глубинности метода.

Структура неконсолидированных отложений на шельфе северной части Авачинского залива свидетельствует о том, что их формирование было обусловлено интенсивным сносом обломочного материала с побережья, обрамляющего Авачинский залив, в том числе и с Шипунского полуострова. Важную роль в формировании осадочных комплексов Авачинского залива играет твердый сток рек и ручьев. Наибольший вклад вносит твердый сток р.Налычева и рек, впадающих в залив в районе Халактырского пляжа. Отсюда шло наращивание дельтовых отложений в виде сигмовидных осадочных тел по схеме бокового наращивания.

В структуре осадочной толщи отчетливо прослеживается зоны повышенной газонасыщенности, расположенные над акустическим фундаментом (рис.6 А, Б), к которым, в свою очередь, тяготеют участки с неустойчивыми блоками осадков и молодые эрозионные врезы (рис.7 В,Г). Повышенная газонасыщенность осадков установлена по наличию на сейсмической записи характерных аномалий, в основном амплитудных ("яркие пятна") (см. рис.6). Зоны повышенной газонасыщенности тяготеют к типичным газовым ловушкам трех типов: выклиниванию пластов, участкам с антиклинальным залеганием слоистой толщи и зонам сбросов или взбросов, которые "запечатывают" пласты-коллекторы.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7 |

Как видно на рис.7 В, эрозионные формы на дне Авачинского залива неоднократно подвергались заполнению осадочным материалом, затем возникали новые эрозионные врезы. На исследованном участке можно выделить три типа эрозионных форм: V-образные, U-образные и зоны пластовых оползаний. V-образные врезы, как правило, относятся к молодым притокам каньона, которые прорезают осадочные комплексы на сравнительно небольшую глубину. U-образные формы формируются в результате роста V-образных эрозионных врезов до глубины залегания акустического фундамента, и затем расширения долины вдоль поверхности литифицированных осадков либо кристаллического фундамента. Пластовые оползания развиваются по флюидонасыщенным пластам осадочной толщи в бортах каньона.

Данные гидромагнитной съемки свидетельствуют о том, что в пределах участка исследований наблюдается положительная аномальная зона С-З направления. Аномалия не контрастна и, возможно, имеет продолжение на суше. Наибольшие значения, до 2,5 мЭ, зафиксированы в местах выхода на поверхность морского дна акустического фундамента вблизи мыса Шипунский. К югу от мыса значения магнитного поля плавно уменьшаются и при глубинах моря 500-800 м имеют значения 0,5-0,7 мЭ. В местах, где мощность осадков увеличивается, значения магнитного поля плавно уменьшаются, однако остаются положительными. Региональные тектонические нарушения (разломы) С-З и субширотного направлений в магнитном поле выражены четко, оперяющие разломы в магнитном поле практически не фиксируются.

Факторы, влияющие на гравитационную устойчивость склоновых осадков в исследуемых районах

В процессе проведенных работ внимание привлекли те особенности структуры осадочного чехла района исследований, которые можно интерпретировать как факторы, способствующие формированию и перемещению подводных оползней. Исследование включало оценку гравитационной устойчивости подводных склонов, основанную на данных о составе, строении и физико-механических свойствах склоновых осадков, а также анализ геологических явлений, приводящих к нарушению сплошности осадочного чехла и формированию оползневых тел конечного объема. Особое внимание привлекли некоторые геологические факторы, благоприятствующие созданию условий для динамического перемещения крупных объемов неконсолидированных осадков вдоль склонов каньонов. В исследуемых районах к таким специфическим факторам относятся газонасыщенность осадков и разгрузка грунтовых вод на шельфе. На наш взгляд, именно эти явления во многом определяют повышенную (по сравнению с прилегающими акваториями) интенсивность обвально-оползневых процессов в Авачинском и Камчатском заливах.

Газонасыщенность осадков. Отличительной особенностью геологического строения дна Камчатского залива является широкое развитие подводных газовых просачивании различной интенсивности [17,34]. Наиболее распространены они в северной части залива, где участки газонасыщенных осадков оконтуривают верховья детально исследованного притока и далее тянутся в южном направлении (по простиранию шельфа), а также маркируют упомянутый выше горизонт уплотненных осадков, который был вскрыт эрозией на глубине 160-180 м. Признаки просачивании в виде вертикальных гидроакустиеских аномалий фиксировались по ходу судна самописцем эхолота (см. рис.4) [17,]. На газонасыщенность вмещающих осадков указывает падение скоростей прохождения сейсмических волн, наличие акустически немых толщ и ярких пятен на записях одноканального сейсмического профилирования.

Изотопный анализ углерода и кислорода карбонатных корок из фрагментов конических построек, к которым приурочены просачивания, дал величины 13C = -24,7...-62,0%o (PDB) и 18O = 33,0-34,4%o (SMOW), что, согласно существующим представлениям, указывает на происхождение в результате бактериального окисления биогенного метана [11,28]. Газы, которые представлены преимущественно изотопно-легким ("биогенным") метаном, вероятно, поступающим из верхней части осадочного чехла [20], обязаны своим появлением захороненной органике. Погребенный органический материал генерирует огромное количество метана, который, накапливаясь между плотными глинистыми слоями, стал причиной повышенной газонасыщенности пластов. В то же время, следует отметить, что в пробах свободного газа, отобранного в зоне просачивании, помимо "биогенного" метана (13C, около 70%о PDB), отмечаются также и тяжелые углеводороды (С2Н6 и выше), которые, вероятно, имеют ювенильную природу, поступая с больших глубин по разломам. Близкий компонентный состав имеют газы из скважин, пробуренных на побережье сравнительно недалеко от района исследований [З], что свидетельствует о значительных масштабах генерации углеводородов в регионе.



Разгрузка грунтовых вод на шельфе. Это явление (иногда его называют "родниковым подмывом" [33]) связано с вымыванием осадочного материала на склонах подводных каньонов под действием напорных грунтовых вод [25,33]. Обычно этот процесс развивается вблизи побережий, в пределах которых большие объемы воды фильтруются через приповерхностные слои осадочного разреза и по горизонтам, обладающим свойствами коллекторов, мигрируют на большие расстояния. При этом интенсивность вымывания тонкой фракции материала из слоев зависит от объемов воды, поступающей с поверхности. В исследуемом районе дезинтеграции слоев осадочного разреза под действием напорных вод связана с особенностями гидрогеологической обстановки, когда слои осадочной толщи залегают с наклоном в сторону моря, а на побережье создаются условия для формирования напорных горизонтов пресных вод. Обширные выровненные поверхности нижнего течения реки Камчатка являются прекрасным бассейном аккумуляции метеорных вод, которые фильтруются через рыхлые вулканогенно-осадочные толщи. Глинистые водоупорные слои, расположенные в нижней и средней частях осадочной толщи, залегают с наклоном в сторону моря. В мористой части осадочная толща рассечена эрозионными врезами Камчатского каньона. В тех местах, где процессы глубинной эрозии вскрыли коллекторные и водоупорные горизонты, с различной интенсивностью проявились разрушения горизонтов осадочного разреза под влиянием разгружающихся грунтовых вод, в результате чего в бортах каньонов сформировались многочисленные кары и ступени (небольшие по размеру), а в верховьях, на дне вблизи крутых стенок, образуются замкнутые депрессии. Совокупный эффект разгрузки грунтовых вод и каньонообразующих эрозионных процессов приводит к разрушению коллекторных горизонтов осадочной толщи. В Камчатском каньоне вышеупомянутые особенности наиболее широко отражены в строении склонов и дна западных притоков и ответвлений. В Авачинском заливе рассмотренные процессы не столь контрастны, однако, характерные аномальные зоны и типичное строение осадочной толщи указывают на сходство эрозионных режимов.

**Механизм роста каньонов и формирования подводных оползней**

Представляется очевидным, что в пределах авандельты р.Камчатка на шельфе Камчатского залива и в северной части Авачинского залива значительные объемы осадочного материала верхней части разреза находятся в состоянии неустойчивого динамического равновесия, которое постоянно нарушается в результате региональной сейсмической активности и геологических явлений, способствующих дестабилизации осадочных тел. Не останавливаясь в данной работе на вопросах классификации и номенклатуры подводных оползней, подробно рассмотренных в ряде работ [14,18,30], отметим, что в исследуемом районе в подавляющем большинстве случае встречается оползание слабо- и неконсолидированных осадков с поверхностью скольжения, субпараллельной склону (трансляционные оползни или slump). По-видимому, можно говорить о том, что в ряде случаев разжижение и насыщение флюидами неконсолидированных оползающих осадков привели также к формированию турбидитных потоков и подводных лавин.

Геологическую ситуацию, благоприятную для развития оползневых явлений на склоне Камчатского каньона можно проиллюстрировать на примере фрагментов сейсмограмм (см. рис.3). В строении склонов, обрамляющих каньон, обращают на себя внимание две характерные особенности. Первая - в сейсмическом изображении уверенно читаются тектонические нарушения, которые совершенно не выражены в рельефе морского дна. Вторая - наличие нескольких восстающих выклинивающихся пластов, перекрытых слоем осадков переменной мощности. К участкам выклинивания пластов и к зонам тектонических нарушений приурочены цепочки газовых просачиваний различной интенсивности, которые уверенно фиксируются на записях эхолота в виде гидроакустических аномалий. Анализ сейсмограмм свидетельствует о том, что цепочки газовых выходов маркируют зоны формирований стенок отрыва оползневых тел. Именно на указанных участках морского дна через неконсолидированные песчано-глинистые осадки проникает метан, формируя на поверхности небольшие постройки конической формы [34].

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 8 |

Кинематику процесса формирования и перемещения оползней в каньонах Камчатского залива моделирует блок-схема на рис.8. В строении осадочной толщи исследуемого района отчетливо проявлен генерализованный трехслойный разрез разнокомпетентных осадков (рис.8а). Верхний слой - это пачка переслаивания неконсолидированных осадков, которая формируется в режиме лавинного осадконакопления и динамически наименее стабильна [21]. Средний слой представлен горизонтами, сложенными плотными глинами (высокоамплитудная граница на сейсмограммах). Нижний слой слагает песчано-глинистая толща с высокой газонасыщенностью, которая на отдельных участках на склонах каньонов подвергается воздействию разгружающихся грунтовых вод и, следовательно, подвержена разрушению.

Голоценовые экзогенные процессы (в том числе гравитационно-оползневые) в исследуемом районе протекают на фоне общей деструкции осадочной толщи тектоническими процессами, проявившимися в развитии субмеридионально ориентированных структур растяжения. При тектонических подвижках в толщах неконсолидированных осадков верхнего слоя образуются трещины отрыва, по которым в дальнейшем развиваются листрические сбросы (рис.8б,8в), ограничивающие блоки осадочного материала различной формы и объема. Блоки постепенно проседают и, в зависимости от гравитационной устойчивости склонов, могут приходить в движение даже при небольшом внешнем воздействии (рис.8г). Такими факторами внешнего воздействия, служащими спусковым механизмом ("триггером") для инициации перемещения оползневых тел, могут стать: землетрясения и вызванная ими тиксотропия, глубинная эрозия в каньонах, перегрузка склонов при высокой скорости осадконакопления, прогрессирующий крип и т.д. [14,18,30]. Особо следует сказать о геологических "триггерах", столь ярко проявленных в районе исследования: переслаивании в разрезе компетентных и некомпетентных пород, их наклон по падению склона, флюидонасыщенность осадков, разгрузка грунтовых вод на склоне ("родниковый подмыв").

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 9 |

Поверхностью скольжения оползающих блоков является подошва слоя плотных глин, под которым залегает своеобразная "смазка" - слоя ожиженных газонасыщенных осадков. На скорость вдольсклонового перемещения оползневых тел будут оказывать влияние различные факторы, среди которых главный - угол наклона второго "бронирующего" слоя. Кроме того, большую роль будет играть местоположение оползающих масс относительно бортов и дна каньона. В частности, Ломтевым [13-15] описаны "висячие" оползневые блоки объемом в десятки куб. км и протяженностью по фронту 10-20 км, поверхность скольжения которых при угле наклона >10o-30o выходит на склонах каньона на высоте 100-150 м над дном. Фрагмент аналогичного оползневого тела (правда, меньшего объема) отчетливо виден на сейсмограмме, на рис.2.

Кроме того, механизм формирование эрозионных врезов в зонах разгрузки грунтовых вод иллюстрирует рис.9.

**Дискуссия**

Специальный интерес представляет возможная связь оползневых процессов на склонах подводных каньонов (и, в частности, в Камчатском заливе) с формированием волн цунами. В научной литературе имеется большое количество упоминаний о цунами, генерирующим источником которых предполагаются подводные гравитационно-оползневые процессы (например, [1,2,9,12,16,29,32 и др.]). По некоторым оценкам волны "гравитационного" генезиса составляют до 10-15% от общего количества цунами [5]. Принципиальная возможность возникновения цунами вследствие подводных оползневых процессов и вызванных ими мутьевых и турбидитных потоков рассмотрена на примере нескольих математических моделей [1,2,5] и показана в модельном эксперименте [19,35]. В то же время, несмотря на интерес, проявляемый к цунами, проблема генерации волн "нетрадиционными" источниками относится к малоизученным, и ее рассмотрение на примере детально исследованных участков морского дна способно внести ясность в решение спорных вопросов.

Не останавливаясь здесь на рассмотрении известных моделей возбуждения и распространения волн, отметим, что эти вопросы являются ключевыми для разделения гигантских волн на "удаленные или собственно цунами-волны", спровоцированные крупными землетрясениями и имеющие региональное распространение, и "бухтовые заплески или локальные цунами", среди причин возникновения которых - рассматриваемые в данной статье обвально-гравитационные процессы в подводных каньонах на малых глубинах. Несмотря на локальный и, как правило, узконаправленный характер распространения волн второго типа, их последствия могут иметь катастрофические масштабы [12,31].

При допущении того факта, что подводные оползневые процессы являются генерирующим источником локальных волн цунами, возникает ряд принципиальных вопросов, связанных с характером оползания осадочного материала и, в первую очередь, со скоростью перемещения оползневых тел на стенках и бортах подводных каньонов и причинами, снижающими трение в подошве оползня. Попытка определения граничных значений скорости вдоль склонового перемещения оползней фиксированного объема, необходимых для возбуждения поверхностных волн, является чрезвычайно сложной задачей с большим количеством участвующих факторов. Тем не менее, упрощенные расчеты для систем с ограниченным количеством переменных [1,2] показывают принципиальную возможность генерации цунами при движении оползневых и обвальных масс со скоростями, реализуемыми в реальной среде. Что касается геологических причин, благоприятствующих протеканию цунамигенерирующих литодинамических процессов в исследуемом районе, они подробно изложены выше. Суммируя, можно предполагать, что в осадочном чехле Камчатского залива главной причиной, приводящей к снижению трения в подошве склоновых оползней, является высокая газонасыщенность подстилающих осадков.

Возникшие в результате обвала даже сравнительно небольшие по амплитуде волны цунами при движении по мелководью шельфа могут достигать значительной высоты [32]. Кроме того, нельзя исключить фокусирующего эффекта для волны цунами в верховьях каньонов, которые расположены на мелководье в шельфовой зоне.

Учитывая тот факт, что прилегающие к изученной части залива участки побережья (на которых, в частности, расположен пос.Усть-Камчатск) представляют собой низменность, осложненную небольшими холмами, можно предполагать значительный заплеск возникших волн цунами. Возможный волногенерирующий эффект подводных сейсмооползневых процессов в Камчатском заливе и количественные оценки их цунамиопасности для прибрежных районов рассматриваются автором в другой работе.

**Выводы**

1. Для северной части Камчатского залива характерна высокая скорость осадконакопления и своеобразный тип осадков, которые обусловлены климатическими и вулканическими факторами и выносом материала самой крупной рекой полуострова Камчатка.

2. В этом районе широкое развитие получила подводная эрозия с формированием подводных каньонов, предпосылками которой явились: высокая скорость осадконакопления, современные тектонические движения и особенности состава и строения осадочной толщи.

3. Установлено, что значительные объемы осадков динамически неустойчивы и могут приходить в движение даже при незначительных сейсмических событиях. Дополнительными факторами, благоприятствующими развитию подводного оползнеобразования в исследуемом районе, стали высокая газонасыщенность осадков и разгрузка напорных грунтовых вод ("родниковый подмыв").

4. Нельзя исключить возможность того, что подводные оползни в бортах каньонов на малых глубинах при большом объеме оползневых тел и высоких скоростях их перемещения могут быть причиной генерации локальных волн цунами.

**Список литературы**

1. Гардер О.И., Долина И.С., Пелиновский Е.Н. и др. Генерация волн цунами гравитационными литодинамическими процессами // Исследования цунами. 1993. N 5. С.50-60.

2. Гардер О.И., Поплавский Л.Л. Могут ли оползни быть причиной цунами? // Исследование цунами. 1993. N 5. С.38-49.

3. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Камчатки. М.: ГНТИ НГТЛ, 1961. 343 с.

4. Го Ч.Н., Иванов В.В., Кайстренко В.М. и др. Проявления цунами в районе Усть-Камчатска и прогноз цунамиопасности // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Т.1. Владивосток, 1990. С.142-178.

5. Егоров Ю.А. Гидродинамическая модель генерации волн цунами извержением подводного вулкана // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Владивосток, 1990. Т.1. С.82-93.

6. Егорова И.А. Палеогеография района Карагинского залива в позднем плейстоцене - голоцене // Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1990. Вып.10. С.135-140.

7. Заякин Ю.А. Возникновение и распространение цунами в Западной части Берингова моря // Метеорология и гидрология. 1988. N 2. С.66-80.

8. Ильин В.А. Рельеф дна Камчатского залива // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. Т.50. М.: Наука, 1961. С.21-28.

9. Колясников Ю.А. О природе цунамигенных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. N 1. С.85-87.

10. Корнев О.С., Сваричевская Л.В., Хачапуридзе Я.Ф. Строение Камчатского подводного каньона и его сравнение с подобными системами других районов // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. Владивосток, 1981. С.53-63.

11. Леин А.Ю., Тальченко В.Ф., Подкровский Б.Г. и др. Морские карбонатные конкреции как результат микробиологического окисления газогидротермального метана в Охотском море // Геохимия. 1989. N 10. С.1396-1406.

12. Леонидова Н.Л. О возможности возбуждения волн цунами мутьевыми потоками // Волны цунами. Южно-Сахалинск: Тр. СахКНИИ АН СССР. 1972. Вып.29. С.262-270.

13. Ломтев В. Л. О некоторых формах рельефа Тихоокеанской континентальной окраины Камчатки // Рельеф и структура осадочного чехла акваториальной части Дальнего Востока. Владивосток, 1981.С.64-69.

14. Ломтев В.Л. Оползни на подводных континентальных окраинах в эпоху Пасаденской орогении // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Т.2. Владивосток, 1990. С.348-363.

15. Ломтев ВЛ., Корнев О.С., Сваричевская Л.В. Геолого-геоморфологическая предпосылка оползней в сейсмоактивных районах континентальных окраин Тихоокеанского подвижного пояса (в связи с возможной опасностью образования волн цунами) // Отчет Б 932521. М.: ВНИТЦ, 1980. 153 с.

16. Мелекесцев И.В. О возможной причине Озерновского цунами 23.XI.1969 г. на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995. N 3. С.105-108.

17. Надежный AM., Селиверстов Н.И., Горохов П.В. и др. Просачивания в Камчатском заливе // Докл. РАН. 1993. Т.328. N 1. С.78-80.

18. Оползни. Исследование и укрепление. М.: Мир, 1981. 368с.

19. Поборная Л.В. Лабораторные исследования скоростного и плотностного суспензионного потока // Вестник МГУ. География. 1967. N 2. С.23-28.

20. Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение газов. Л.: Недра, 1990. 282 с.

21. Селиверстов Н.И. Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.

22. Селиверстов Н.И., Надежный А.М., Бондаренко В.И. Особенности строения дна заливов Восточной Камчатки по результатам геофизических исследований // Вулканология и сейсмология. 1980. N 1.С.38-50.

23. Соловьев С.Л. Основные данные о цунами на Тихоокеанском побережье СССР, 1737-1976 гг. // Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978. С.61-136.

24. Соловьев С. Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 309с.

25. Шепард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 343 с.

26. Carlson P.R., Karl НА. Development of large submarine canyons in the Bering Sea, indicated by morphologic, seismic, and sedimentologic characteristics // Geol. Surv. Am. Bull. 1988. V.100. P.1594-1615.

27. Egorov Yu.0., Osipenko A.B. The dynamics of the canyon-forming processes on the continental slope of the Eastern Kamchatka in connection with generation of tsunami waves // Evolution and Dynamics of the Asian Seas. Proc. 3rd Int. Conf. on Asian Marine Geology. Cheju. Korea. 1996. P.247.

28. Hovland M., Judd A.G. Seabed pockmarks and seepages. London; Dordrecht; Boston: 1988. 293 p.

29. Mader Ch.L. A landslide model for the 1975 Hawaii Tsunami // Sci. Tsunami Hazards. 1984. V.2. N 2. Р.71-78.

30. Marine slides and other mass movements. N. Y.: Plenum Press, 1982. 301 p.

31. Moore G.W., Moore J.G. Large-scale bedforms in boulder gravel produced by giant waves in Hawaii // Geol. Soc. Am. Spec. Paper. 1988. V.229. Р.101-109.

32. Murty T.S. Submarine slide-generated water waves in Kitimat Inlet, British Columbia // J. Geophys. Res. 1979. V.84. N 12. Р.7777-7779.

33. Paull Ch.K., Spiess F.N., Curray J.R., Twichell D.C. Origin of Florida Canyon and the role of spring sapping on the formation of submarine box canyons // Geol. Surv. Am. Bull. 1990. V.102. P.502-515.

34. Seliverstov N.I., Torokhov P.V., Egorov Yu.0. et al. // Active seeps and carbonated from the Kamchatsky Gulf (East Kamchatka) // Bull. Geol. Soc. Denmark. 1994. V.41. P.50-54.

35. Wigel R.L. Laboratory studies of gravity waves generated by the movement of a submarine body // EOS Trans. Am. Geophys. Union. 1955. V.36. N 5. Р.356.