

УДК 551.243; 551.435.62

Б. В. Баранов, К. А. Дозорова, Д. Д. Рукавишникова

Активная тектоника и образование оползневых тел на восточном склоне о. Сахалин

B. V. Baranov, K. A. Dozorova, D. D. Rukavishnikova

Active tectonics and origin of landslides on the Eastern Sakhalin slope

Аннотация. В статье представлены оригинальные данные, полученные при батиметрических и сейсмических исследованиях восточного склона о. Сахалин в рамках двух международных проектов. На базе этих данных была выявлена связь активной тектоники с образованием оползневых тел. Активная тектоника проявляется в виде системы разломов северо-восточного и субмеридионального простирания. Вертикальные смещения по разломам приводят к проседанию осадков, формируя в рельефе замкнутые депрессии. Разрушение крутых стенок замкнутых депрессий может приводить к образованию оползней. Один из таких оползней объемом около 4 км³ был закартирован при геофизических исследованиях. Оползни такого масштаба способны генерировать локальные цунами с высотой наката на берег до 10–12 м и могут представлять реальную угрозу для инфраструктуры, связанной с разработкой нефтяных и газовых месторождений.

Abstract. Original data obtained by bathymetric and seismic observations on the Eastern Sakhalin slope in frames of two international projects have been presented. Investigation based on these data has revealed that landslides origin may be controlled by active tectonics. Active tectonics is manifested on the slope as a system of NE and NS striking faults. Vertical displacements along the faults result in subsidence of sediments and form closed depressions in the slope relief. Failure of the depressions' steep walls may initiate sliding process. One of such landslides with volume of about 4 km³ has been mapped by the geophysical survey. Landslides of such size are capable to generate tsunami waves with height up to 10–12 m. They constitute a real threat for infrastructure of petroleum industry.

Ключевые слова: восточный склон о. Сахалин, активная тектоника, подводные оползни, цунами.

Key words: Eastern Sakhalin slope, active tectonics, submarine landslides, tsunamis.

Введение

В последнее время изучению причин возникновения оползней на морском дне, выяснению их основных характеристик, связи с другими геологическими процессами и прогнозированию возможных последствий уделяется самое пристальное внимание. Проведена огромная работа по исследованию оползневых процессов различными геолого-геофизическими методами на европейской континентальной окраине и в других регионах мира. Результаты этих работ показали, что основную роль в разрушении склона и образовании оползней играют такие факторы, как высокие скорости осадконакопления, приводящие к избыточному поровому давлению, наличие осадочных горизонтов с повышенной пористостью и проницаемостью, сейсмичность, активная тектоника, газонасыщенность осадков и вулканические процессы [1–4].

Многочисленные оползни были обнаружены в наиболее важных нефтегазоносных провинциях, таких как континентальная окраина Норвегии, Гвинейский залив, Мексиканский залив и Каспийское море [5]. В связи с этим повышенный интерес к данному природному явлению в первую очередь определяется запросами газо- и нефтедобывающей индустрии и обусловлен созданием условий для безопасной добычи углеводородных ресурсов на шельфе и континентальном склоне [6; 7]. Второй аспект связан с тем, что оползни могут вызывать значительные по высоте цунами, приводящие к человеческим жертвам и разрушением различного рода сооружений в прибрежных районах [8].

Настоящая работа посвящена рассмотрению связи активной тектоники с образованием оползневых тел на восточном склоне о. Сахалин. Для этого региона данный вопрос является слабо изученным, несмотря на то, что на восточном побережье и шельфе происходит активная разработка нефтяных и газовых месторождений, и проблема, связанная с безопасностью населения, буровых платформ и их береговой инфраструктуры, имеет большое значение.

Использованные данные

Фактическим материалом исследования послужили оригинальные данные, полученные в морских экспедициях в рамках российско-германского проекта КОМЭКС (Курило-Охотский Морской Эксперимент, 1998–2004 гг.) и корейско-российско-японского проекта ГТСС (ГазоГидраты Сахалинского Склона, 2007–2011 гг.).

В работе использовались материалы батиметрической съемки, которая проводилась эхолотами двух типов: однолучевым эхолотом ELAC LAZ-72 E-V с частотой 12 кГц [9; 10] и многолучевым эхолотом

СИМРАД ЕМ 120 с частотой 12 кГц (191 луч) [11]. Для изучения строения осадочной толщи были использованы данные, полученные параметрическим эхолотом SES-2000DS и системой одноканального и многоканального сейсмического профилирования. Съемка параметрическим эхолотом SES-2000DS проводилась в интервале глубин 200–3 000 м, проникновение в осадочный чехол составляло до 50 м с разрешением около 20 см. Первичная частота передатчика была 100 кГц, а вторичные частоты – 4, 5, 6, 8, 10 и 12 кГц [12]. При сейсмоакустических исследованиях в одноканальном варианте в качестве источника упругой энергии использовался электроискровой излучатель Соник 4М (4000 джоулей). Регистрация осуществлялась в полосе частот 200–1 500 Гц. Проникновение в осадочный чехол составляло до 500 мС двойного времени распространения сигнала [10]. При многоканальных сейсмических исследованиях использовались пневмоисточники: групповой, с преобладающей частотой 70–90 Гц и общим объемом 6.88 л, и мини-пушка с преобладающей частотой 80–170 Гц и объемом 1.04 л. Регистрация осуществлялась 8-канальной сейсмокозой производства компании GECO Prakla. Проникновение в осадочный чехол составляло до 2 сек двойного времени распространения сигнала [13].

Рельеф

Район исследований расположен в центральной части восточного склона, где наиболее примечательной чертой морфологии является прогиб, ориентированный в северо-восточном направлении. В рельефе прогиб начинает проявляться с изобаты 800 м и прослеживается до глубины более 1 500 м. На мелкомасштабной карте он выглядит как грабенообразная структура, юго-восточный борт которой круче северо-западного (рис. 1, а).

Первые детальные данные о рельефе района были получены при батиметрической съемке многолучевым эхолотом на НИС "Зонне" (рейс SO-178, август 2004 г.) [11]. В дальнейшем здесь была выполнена съемка однолучевым эхолотом на НИС "Академик М. А. Лаврентьев" (50-й рейс, июнь 2010 г. и 56-й рейс, август 2011 г.) [9; 10]. В результате этого в прогибе и на его склонах был выявлен ряд ранее неизвестных морфологических элементов.

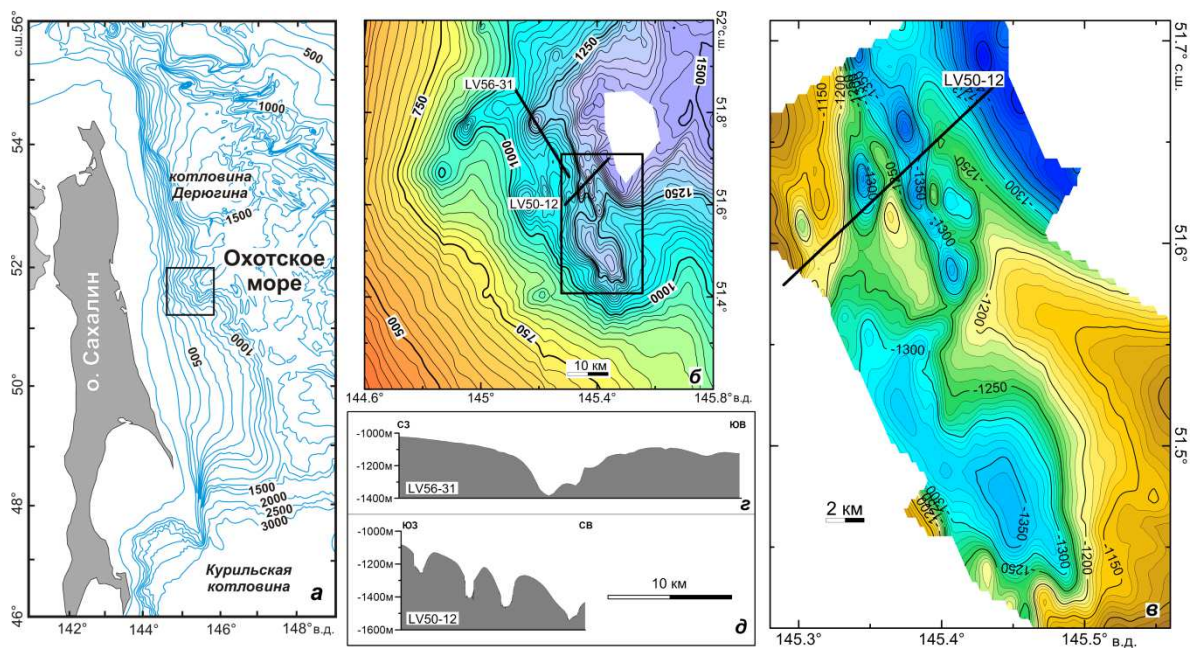


Рис. 1: а – батиметрическая карта восточного склона о. Сахалин по [14] и положение района исследований (прямоугольник). Изобаты проведены через 100 м, для склона Курильской котловины – через 500 м; б – батиметрическая карта района исследований, изобаты проведены через 25 м, белое поле – отсутствие данных; в – батиметрическая карта участка детальных исследований (прямоугольник на рис. 1, б), изобаты проведены через 10 м; г, д – батиметрические профили, пересекающие депрессии северо-восточного и субмеридионального простираний соответственно.

Положение профилей показано жирными линиями на рис. 1, б, в

Согласно полученным данным, прогиб в качестве единой структуры проявляется в рельефе только глубже изобаты 1 350–1 375 м. Выше по склону он распадается на изолированные вытянутые депрессии, которые выстраиваются в цепочки, ориентированные в северо-восточном или субмеридиональном направлениях (рис. 1, б). Наиболее примечательная цепочка депрессий северо-восточного простирания прослеживается в интервале глубин 900–1 300 м вдоль северо-западного борта прогиба. Глубина депрессий доходит до 250 м, а размеры по длинной оси составляют более 5 км. Они имеют асимметричный профиль, поскольку их юго-

восточные склоны являются менее крутыми по сравнению с северо-западными и состоят из двух-трех ступенек, разделенных уступами высотой в несколько десятков метров (рис. 1, *з*).

Более детальные представления о рельефе получены для депрессий, которые выстраиваются в цепочки субмеридионального простирания, поскольку именно на этих структурах была выполнена съемка многолучевым эхолотом и регулярная съемка обычным эхолотом (рис. 1, *в*). Первая из этих цепочек располагается вдоль юго-западного замыкания прогиба, где депрессии имеют максимальные глубины до 1450 м. Следующая расположена выше по склону на глубинах 1200–1300 м.

Депрессии имеют округлые или слегка вытянутые в субмеридиональном направлении очертания. Углы наклона их стенок достигают 7–10°, а размеры колеблются от 600 м до 10 км по длинной оси при глубине от 20 м до 200 м. Оба борта депрессий субмеридионального простирания являются крутыми и профиль имеет *U*-образную форму (рис. 1, *д*). На севере депрессии открываются в прогиб, на юге они заканчиваются самой крупной депрессией, размеры которой превышают 10 км в поперечнике при глубине более 250 м.

Центральная часть прогиба исследована в меньшей степени, но, по всей видимости, ее дно также осложнено меньшими по размеру депрессиями, некоторые из которых были закартированы вблизи его северо-западной части в интервале глубин 1400–1475 м. Депрессии имеют округлые очертания и слегка вытянуты в субмеридиональном направлении. Размеры депрессий достигают 2 км в поперечнике при глубине до 50 м, и они кулисно смещены относительно друг друга. Таким образом, примечательным элементом морфологии склонов и дна прогиба является наличие замкнутых депрессий, которые выстраиваются в цепочки субмеридионального и северо-восточного простирания. Размеры депрессий колеблются от нескольких сот метров до 10 км, а глубина меняется от 20 до 250 м.

Разрывные нарушения и их кинематика

Разрывные нарушения, которые секут всю видимую часть осадочной толщи, широко распространены в пределах рассматриваемого района (рис. 2, 3, *а*). В большинстве случаев они выходят на поверхность дна, формируя в рельефе уступы или депрессии, что свидетельствует о современной активности. Анализ рельефа и сейсмических разрезов, выполненный в работе [15], дал возможность выделить следующие типы разрывных нарушений: сбросы, сдвиги и взбросы. Ниже приводится краткая характеристика их распространения и кинематики.

Сбросы располагаются на юго-западном замыкании прогиба, его северо-западном и юго-восточном бортах (рис. 3, *а*). На юго-западном замыкании прогиба, по имеющимся данным, можно выделить два сброса северо-восточного простирания. Первый из них приурочен к депрессиям, которые, как отмечалось выше, характеризуются асимметричным профилем. Сейсмические профили, пересекающие депрессии, показывают, что их северный борт соответствует единичному сбросовому уступу, тогда как южный борт состоит из нескольких сбросовых уступов. Подобного рода асимметрия является характерной для листрических сбросов [16], в данном случае листрическая плоскость разлома падает на юг, и в его висячем крыле образуются антитетические сбросы, как это показано на рис. 2, профиль SE-02. К западу от профиля направление падения плоскости сброса меняется на противоположное, и сам разлом смещается к югу, что дает основание предполагать наличие субмеридионального сдвига (рис. 3, *а*). Второй сброс располагается в южной части района, где в рельефе дна ему соответствует замкнутая депрессия (рис. 3, *а*). Плоскость разрыва падает на юг, амплитуда смещения по ней является меньшей по сравнению с первым разломом, и поэтому антитетические сбросы в висячем крыле не образуются (рис. 2, юго-восточная часть профиля SE-02).

Сбросы, наблюдаемые на северо-западном борту прогиба, имеют северо-восточное – северо-северо-восточное простирание и другой морфологический облик. В рельефе дна им соответствуют небольшие уступы, и их плоскости смещения являются более крутыми по сравнению со сбросами первого типа. Величина смещения поверхности дна и отдельных отражающих горизонтов по вертикали не превышает 20 м (рис. 2, профили LV56-03 и LV56-27). Сейсмические данные по строению юго-восточного борта прогиба отсутствуют, однако в рельефе дна здесь выделяется крутой уступ высотой около 70 м, который может соответствовать плоскости сброса (рис. 3, *а*).

Вторая система разломов в рельефе дна выражена цепочками депрессий субмеридионального простирания, которые прослеживаются вдоль юго-западного замыкания прогиба. На профиле LV56-03 (рис. 2) видно, что депрессии образуются за счет опускания осадочного чехла по двум падающим навстречу друг другу сбросам, которые соединяются на глубине ~ 400 м ниже поверхности дна. Такая кинематика разломов соответствует так называемым отрицательным цветковым структурам (*negative flower structure*), возникающим над зонами сдвига [17]. Эти структуры образуются, когда на сдвигах в результате небольших изменений в их простирании возникает компонента растяжения.

Кроме растяжения в прогибе и на его бортах, наблюдаются обстановки сжатия, при которых между субвертикальными разломами возникают складчатые деформации осадочного чехла (рис. 2, профили LV56-03 и LV56-27). Определить простирание соответствующих разломов не представляется возможным в силу слабой изученности рельефа на этих участках. Единственным исключением является один из разломов, пересекаемых профилем LV56-03 (рис. 2) и расположенный на участке, где проводилась батиметрическая съемка многолучевым

эхолотом. Этот разлом, судя по наклону плоскости сместителя и деформациям в его висячем крыле, можно интерпретировать как взброс, ориентированный в северо-западном направлении. Ориентировка сбросов и взбросов по отношению к субмеридиональным сдвигам дает основание сделать вывод, что смещения на последних должны быть правосторонними.

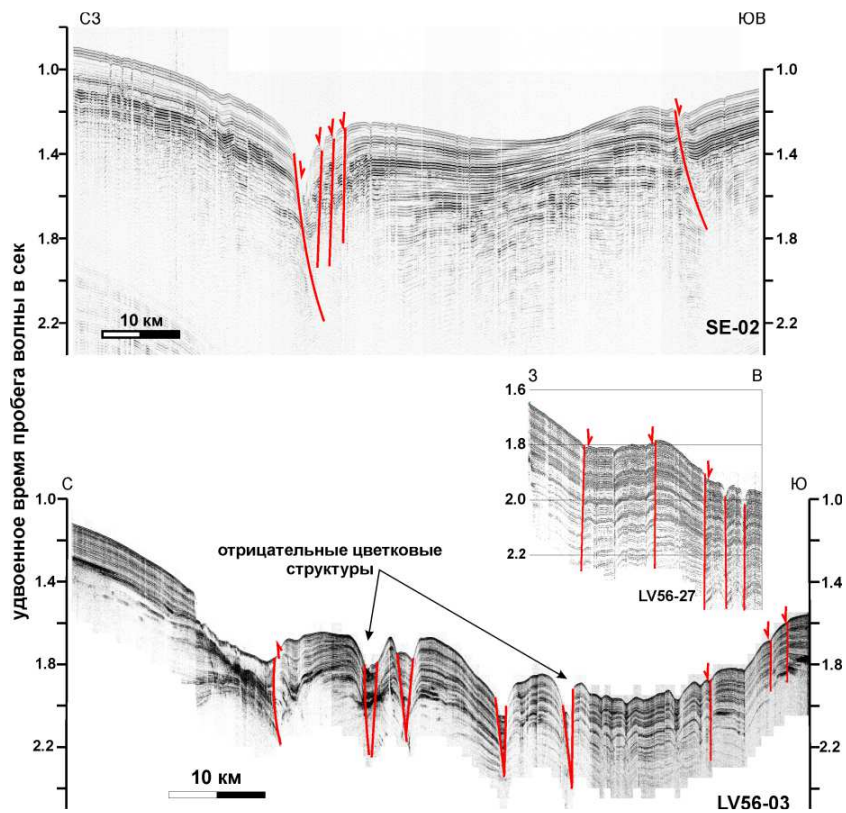


Рис. 2. Сейсмические профили, иллюстрирующие строение осадочного чехла исследуемого района и наличие в нем многочисленных современных разломов. Положение профилей см. на рис. 3, а. Профиль SE-02 получен с пневмоисточником (проект КОМЭКС), профили LV56-03 и LV56-27 – со спаркером (проект ГГСС)

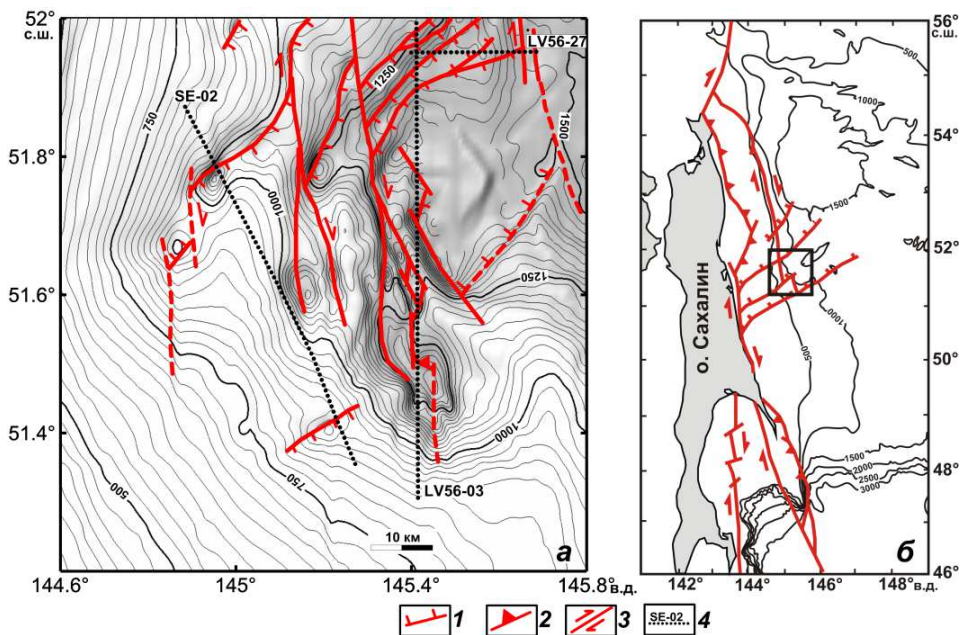


Рис. 3: а – активные разрывные нарушения района исследований; б – генеральные глубинные разломы восточного склона о. Сахалин по [18]. Прямоугольником обозначен район исследований. 1 – сбросы, 2 – взбросы, 3 – сдвиги, 4 – предполагаемые сейсмические профили и их номер

Субмеридиональные региональные разломы в фундаменте к востоку от побережья Сахалина выделялись многими авторами, однако интерпретация их кинематики являлась неоднозначной. Они рассматривались в качестве взбросо-сдвигов [19], грабенообразных структур [20] и сутур неясной природы [21]. В одной из последних работ, посвященных этому вопросу и являющейся обобщением результатов геофизических работ по поиску месторождений нефти и газа [18], показано, что субмеридиональные разломы являются правосторонними сдвигами, которые оперяются сбросами и взбросами (рис. 3, б).

Проведенное нами исследование показало, что наблюдается корреляция кинематики современных разломов с разрывными нарушениями фундамента для схемы из работы [18]. Это дает основание утверждать, что отдельные участки глубинных разломов являются достаточно активными, и смещения по ним продолжают до поверхности, несмотря на значительные мощности осадочного чехла.

Ранее предполагалось [22], что замкнутые депрессии являются покмарками – структурами, возникающими в результате эпизодического выброса газа (главным образом метана) из осадков в соответствии с моделью, предложенной в работе [23]. Анализ новых данных, полученных в рамках международного проекта ГГСС [9; 10], свидетельствует, что образование депрессий не было связано с выделением газа из осадочной толщи, а обусловлено проседанием осадочного чехла вдоль системы активных разломов.

Подводный оползень

Подводный оползень, расположенный в пределах исследуемого прогиба, был обнаружен в самой крупной из замкнутых депрессий. Эта депрессия имеет примечательную морфологию своих бортов. Северный борт является однородным, угол его наклона равен $\sim 7^\circ$. Южный борт депрессии имеет сложное строение и состоит из одного или нескольких уступов высотой от 10 до 100 м с углами наклона $25\text{--}30^\circ$ (рис. 4).

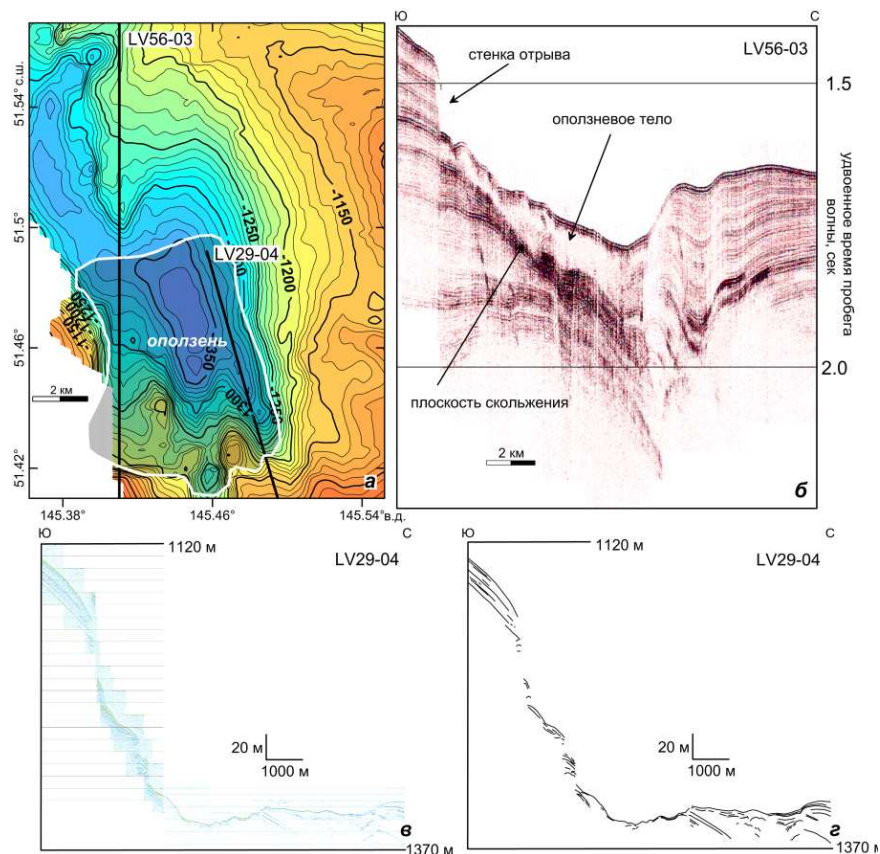


Рис. 4: а – батиметрическая карта самой крупной замкнутой депрессии, заполненной оползневым телом, сечение изобат 10 м; б – часть сейсмического профиля LV56-03, на котором видна стенка отрыва оползня и его клиновидное тело с отсутствием отражающих рефлекторов; в – разрез сейсмопрофилографа SES-2000DS LV29-04 и его интерпретация г, где стенка отрыва оползня состоит из трех уступов высотой от 10 до 50 м. Положение профилей см. рис. 4, а

В пределах исследуемого района наблюдаются два типа осадочного разреза. Первый распространен повсеместно и характеризуется многочисленными отражающими горизонтами, свидетельствующими о слоистой структуре осадочной толщи (рис. 2). Второй тип сейсмического разреза наблюдается только в самой южной из депрессий, пересекаемой сейсмическим профилем LV56-03. Здесь выделяется осадочное тело, кровля которого местами имеет холмистую поверхность, а подошва, соответствующая высокоамплитудному отражающему

горизонту, срезает нижележащие рефлекторы. Само тело является акустически прозрачным и в разрезе имеет форму клина, мощность которого увеличивается с юга на север (рис. 4, б). На высокоразрешающем разрезе сейсмопрофилографа SES-2000DS видны наклонные границы и дифрагированные отражения (рис. 4, в, з), что обусловлено хаотической структурой данного осадочного тела.

Перечисленные выше особенности строения осадочного чехла вместе с морфологией южной стенки депрессии дают основание считать это осадочное образование оползнем. На разрезе сейсмопрофилографа SES-2000DS, дающего разрешение порядка 20 см [12], горизонтально залегающие осадки, которые перекрывали бы кровлю оползня, отсутствуют. Принимая во внимание, что скорости осадконакопления для голоцена в этом районе составляют 33 см в 1000 лет [9], возраст оползня будет моложе 600 лет. Стенка отрыва оползня очень крутая (25–30°), на отдельных участках состоит из нескольких уступов, имеет извилистые очертания и протяженность порядка 22 км (рис. 4). Площадь, занятая оползнем, составляет 42 км², его объем ориентировочно равен 4 км³.

Подобный оползень, несомненно, должен был вызвать волну цунами. Для оценки характерных высот волн цунами, генерируемых подводным оползнем на континентальном шельфе о. Сахалин, был использован метод, основанный на упрощенной аналитической теории одиночных волн [24]. Этот метод, в частности, использовался для оценки высот волн цунами в заливе Китимат (Британская Колумбия) [25] и при исследовании оползневого цунами в порту Скагуэй (юго-восточная Аляска) [26]. При этом результаты расчетов дали вполне разумное соответствие с реально наблюдаемыми высотами волн цунами в этих двух акваториях. Для восточного склона о. Сахалин в результате численного моделирования было установлено, что высота цунами, непосредственно накатывающая на берег при оползне объемом 4 км³, может достигать 10–12 м, а опасный накат волны цунами – проявляться на участке побережья длиной до первых десятков километров.

Остров Сахалин сейсмически активен. Поскольку все землетрясения, происходящие в Сахалинской сейсмической зоне, являются мелкофокусными, то несмотря на меньший уровень сейсмической активности по сравнению, например с Курило-Камчатской сейсмической зоной, они представляют значительную опасность. Так, на карте общего сейсмического районирования Северной Евразии, ОСР-97 [27] практически весь восточный склон острова входит в 8-балльную зону. В морских условиях сейсмический толчок является одним из основных спусковых механизмов для разрушения склона с образованием оползней [1].

Особенности строения района исследований, т. е. наличие крутых осадочных уступов, наряду с ожидаемой величиной сейсмической интенсивности, равной 8 баллам, предполагают вероятность дальнейшего разрушения склонов депрессий и образования оползней различных объемов. При этом возможно возникновение цунами, которое будет представлять угрозу для центральной части восточного побережья о. Сахалин. В настоящее время здесь разрабатываются нефтяные и газовые месторождения, происходит интенсивное развитие соответствующей инфраструктуры. В случае возникновения оползневого цунами экологии и экономике Дальневосточного региона может быть нанесен серьезный ущерб. В связи с этим дальнейшее изучение центральной части восточного склона и картирование участков, где возможно образование новых оползней имеет важное значение.

Заключение

Анализ оригинальных данных, полученных при батиметрических и сейсмических исследованиях центральной части восточного склона о. Сахалин в рамках двух международных проектов, позволил выявить связь оползневых процессов с активной тектоникой. Активная тектоника проявляется в виде системы субмеридиональных сдвигов и опережающих их сбросов и взбросов северо-восточного и северо-западного простирания соответственно. Распределение активных разломов в центральной части склона показывает, что их структурный рисунок и кинематика в целом соответствуют структурному рисунку и кинематике разломов, которые были выделены для фундамента.

Вертикальные смещения по разломами приводят к проседанию осадков, формируя в рельефе замкнутые депрессии. Размеры депрессий достигают 10 км при глубине до 250 м, их борта являются достаточно крутыми (до 7–10°). Разрушение крутых стенок депрессий может приводить к образованию оползней, один из которых площадью 42 км² и объемом около 4 км³ был закартирован в одной из депрессий. Судя по скорости осадконакопления, оползень образовался менее чем 600 лет назад. Расчеты показали, что оползни такого расположения и объема способны генерировать локальные цунами на участке побережья до нескольких километров с высотой наката на берег до 10–12 м. Поскольку участок восточного склона, где были обнаружены замкнутые депрессии, находится в 8-балльной сейсмической зоне, следует предполагать вероятность дальнейшего разрушения склонов депрессий и образования оползней различных объемов. При этом не исключается вероятность возникновения цунами, которое может представлять угрозу для центральной части восточного побережья о. Сахалин, где в настоящее время происходит интенсивное развитие инфраструктуры, связанной с разработкой нефтяных и газовых месторождений. В связи с этим дальнейшее изучение данного участка склона имеет важное значение не только с научной точки зрения, но и для разработки предложений, которые позволят минимизировать возможный экономический ущерб.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0149-2014-0028 (работа с источниками и получение экспериментальных данных) и при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант РФФИ № 14-50-00095, анализ и обработка данных).

Библиографический список

1. Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA project / M. Canals, G. Lastras, R. Urgeles [et al.] // *Marine Geology*. 2004. V. 213. P. 9–72.
2. Submarine mass movements and their consequences / J. Locat, J. Mienert (Eds.). Kluwer Acad. Publ., Dordrecht : The Netherlands, 2003. 540 p.
3. European margin sediment dynamics, side-scan sonar and seismic images / J. Mienert, P. P. E. Weaver (Eds.). Springer-Verlag : Berlin, 2002. 309 p.
4. Submarine mass movements and their consequences / Y. Yamada, K. Kawamura, K. Ikehara [et al.] (Eds.) // *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Springer Science. 2012. V. 31. 761 p.
5. Barley B. Deepwater problems around the world // *Lead. Edge*. 1999. V. 18. P. 488–494.
6. Campbell K. J. Deepwater geohazards: how significant are they? // *Lead. Edge*. 1999. V. 18, N 4. P. 514–519.
7. Ormen Lange – an integrated study for the safe development of a deep-water gas field within the Storegga Slide Complex, NE Atlantic continental margin / A. Solheim, P. Bryn, K. Berg, J. Mienert (Eds.) // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. V. 22, N 1–2. P. 1–318.
8. The Sissano Papua–New Guinea tsunami of July 1998 – offshore evidence on the source mechanism / D. R. Tappin, P. Watts, G. M. McMurtry, Y. Lafoy, T. Matsumoto // *Marine Geology*. 2001. V. 175. P. 1–23.
9. Operation report of Sakhalin slope gas hydrate project 2010, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 50 / Y. K. Jin, H. Shoji, A. Obzhurov, B. Baranov (Eds.). Korea Polar Research Institute, Incheon, 2011. 129 p.
10. Operation report of Sakhalin slope gas hydrate project 2011, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 56 / H. Shoji, Y.K. Jin, A. Obzhurov, B. Baranov (Eds.). New Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, 2012. 140 p.
11. Cruise Report SO178-KOMEX. Mass exchange processes and balances in the Okhotsk Sea / W.C. Dullo, N. Biebow, K. Geogeleit (Eds.). GEOMAR, Kiel, 2004. 125 p.
12. Cruise Report R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 29, Leg I and Leg II. GEOMAR Report 110 / N., Biebow R. Kulinich, B. Baranov (Eds.). Kiel, 2003. 176 p.
13. Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the north-western Sea of Okhotsk / H. K. Wong, T. Lüdmann, B. V. Baranov [et al.] // *Marine Geology*. 2003. V. 201, N 4. P. 287–305.
14. Сваричевский А. С. Рельеф дна Охотского моря // *Проблемы морфотектоники Западно-Тихоокеанской переходной зоны. ТОИ ДВО, Владивосток*, 2001. С. 82–97.
15. Природа замкнутых депрессий на восточном склоне о. Сахалин / Б. В. Баранов, Д. Д. Рукавишников, В. Г. Прокудин, Я. К. Джин, К. А. Дозорова // *Вестник КРАУНЦ, Науки о Земле*. 2013. Вып. 21, № 1. С. 86–97.
16. Twiss R. J., Moores E. M. *Structural geology*. New York : W. H. Freeman & Company, 1992. 736 p.
17. Harding T. P. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion // *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 1985. V. 69, N 4. P. 582–600.
18. Харахинов В. В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М. : Научный мир, 2010. 275 с.
19. Рождественский В. С. Сдвиги Северо-Восточного Сахалина // *Геотектоника*. 1975. № 2. С. 85–96.
20. Gribidenko H. S. The rift system of the Okhotsk Sea. Proceedings of the First International Conference on Asia Marine Geology, Shanghai, China, Beijing, Ocean Press, 1990. P. 73–81.
21. Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk, Russia: Far-field effects of the India-Eurasia collision / D. M. Worrall, V. Kruglyak, F. Kunst [et al.] // *Tectonics*. 1996. V. 15, N 4. P. 813–826.
22. Gas hydrate system of the Sakhalin slope: Geophysical approach. Scientific report of the Sakhalin slope gas hydrate project 2007 / B. V. Baranov, Y. K. Jin, H. Shoji [et al.]. Incheon, KOPRI, 2008. 116 p.
23. Hovland M., Judd A. G. *Seabed pockmarks and seepages*. London : Graham and Trotman, 1988. 293 p.
24. Оползни на восточном склоне острова Сахалин как источники возможных цунами / Б. В. Баранов, Л. И. Лобковский, Е. А. Куликов [и др.] // *Доклады академии наук*, 2013. Т. 449, № 3. С. 334–337.
25. Numerical modeling of tsunamis generated by hypothetical landslides in the Strait of Georgia, British Columbia / A. B. Rabinovich, R. E. Thomson, B. D. Bornhold [et al.] // *Pure Appl. Geophys*. 2003. V. 160 (7). P. 1273–1313.
26. The landslide tsunami of November 3, 1994, Skagway Harbour, Alaska / E. A. Kulikov, A. B. Rabinovich, R. E. Thomson, B. D. Bornhold // *J. Geophys. Res.*, 1996. V. 101 (C3). P. 6609–6615.
27. Общее сейсмическое районирование Северной Евразии / отв. ред. В. И. Уломов. ОСП-97. Карты А, В и С. масштаб 1:8000000. М. : ИФЗ РАН, 2000. 3 л.

References

1. Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA project / M. Canals, G. Lastras, R. Urgeles [et al.] // *Marine Geology*. 2004. V. 213. P. 9–72.
2. Submarine mass movements and their consequences / J. Locat, J. Mienert (Eds.). Kluwer Acad. Publ., Dordrecht : The Netherlands, 2003. 540 p.
3. European margin sediment dynamics, side-scan sonar and seismic images / J. Mienert, P. P. E. Weaver (Eds.). Springer-Verlag : Berlin, 2002. 309 p.
4. Submarine mass movements and their consequences / Y. Yamada, K. Kawamura, K. Ikehara [et al.] (Eds.) // *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Springer Science. 2012. V. 31. 761 p.
5. Barley B. Deepwater problems around the world // *Lead. Edge*. 1999. V. 18. P. 488–494.
6. Campbell K. J. Deepwater geohazards: how significant are they? // *Lead. Edge*. 1999. V. 18, N 4. P. 514–519.
7. Ormen Lange – an integrated study for the safe development of a deep-water gas field within the Storegga Slide Complex, NE Atlantic continental margin / A. Solheim, P. Bryn, K. Berg, J. Mienert (Eds.) // *Marine and Petroleum Geology*. 2005. V. 22, N 1–2. P. 1–318.
8. The Sissano Papua–New Guinea tsunami of July 1998 – offshore evidence on the source mechanism / D. R. Tappin, P. Watts, G. M. McMurtry, Y. Lafoy, T. Matsumoto // *Marine Geology*. 2001. V. 175. P. 1–23.
9. Operation report of Sakhalin slope gas hydrate project 2010, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 50 / Y. K. Jin, H. Shoji, A. Obzhirov, B. Baranov (Eds.). Korea Polar Research Institute, Incheon, 2011. 129 p.
10. Operation report of Sakhalin slope gas hydrate project 2011, R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 56 / H. Shoji, Y.K. Jin, A. Obzhirov, B. Baranov (Eds.). New Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, 2012. 140 p.
11. Cruise Report SO178-KOMEX. Mass exchange processes and balances in the Okhotsk Sea / W.C. Dullo, N. Biebow, K. Georgeleit (Eds.). GEOMAR, Kiel, 2004. 125 p.
12. Cruise Report R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 29, Leg I and Leg II. GEOMAR Report 110 / N. Biebow, R. Kulinich, B. Baranov (Eds.). Kiel, 2003. 176 p.
13. Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the north-western Sea of Okhotsk / H. K. Wong, T. Lüdmann, B. V. Baranov [et al.] // *Marine Geology*. 2003. V. 201, N 4. P. 287–305.
14. Svarichevskiy A. S. Rel'ef dna Ohotskogo morya [Bottom relief of the Okhotsk Sea] // *Problemy morfotektoniki Zapadno-Tihookeanskoy perehodnoy zony*. TOI DVO, Vladivostok, 2001. P. 82–97.
15. Priroda zamknytyh depressiy na vostochnom sklone o. Sahalin [Origin of closed depressions on the Eastern Sakhalin slope] / B. V. Baranov, D. D. Rukavishnikova, V. G. Prokudin, Ya. K. Dzhin, K. A. Dozorova // *Vestnik KRAUNTS, Nauki o Zemle*. 2013. Vyp. 21, N 1. P. 86–97.
16. Twiss R. J., Moores E. M. *Structural geology*. New York : W. H. Freeman & Company, 1992. 736 p.
17. Harding T. P. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion // *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 1985. V. 69, N 4. P. 582–600.
18. Harahinov V. V. *Neftgazovaya geologiya Sahalinskogo regiona* [Oil and gas geology of the Sakhalin region]. M. : Nauchnyy mir, 2010. 275 p.
19. Rozhdestvenskiy V. S. Sdvigi Severo-Vostochnogo Sahalina [Strike-slips of the Western Sakhalin] // *Geotektonika*. 1975. N 2. P. 85–96.
20. Gnibidenko H. S. The rift system of the Okhotsk Sea. Proceedings of the First International Conference on Asia Marine Geology, Shanghai, China, Beijing, Ocean Press, 1990. P. 73–81.
21. Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk, Russia: Far-field effects of the India-Eurasia collision / D. M. Worrall, V. Kruglyak, F. Kunst [et al.] // *Tectonics*. 1996. V. 15, N 4. P. 813–826.
22. Gas hydrate system of the Sakhalin slope: Geophysical approach. Scientific report of the Sakhalin slope gas hydrate project 2007 / B. V. Baranov, Y. K. Jin, H. Shoji [et al.]. Incheon, KOPRI, 2008. 116 p.
23. Hovland M., Judd A. G. *Seabed pockmarks and seepages*. London : Graham and Trotman, 1988. 293 p.
24. Opolzni na vostochnom sklone ostrova Sahalin kak istochniki vozmozhnykh tsunami [Landslides on the Eastern Sakhalin slope as possible tsunami sources] / B. V. Baranov, L. I. Lobkovskiy, E. A. Kulikov [i dr.] // *Doklady akademii nauk*, 2013. V. 449, N 3. P. 334–337.
25. Numerical modeling of tsunamis generated by hypothetical landslides in the Strait of Georgia, British Columbia / A. B. Rabinovich, R. E. Thomson, B. D. Bornhold [et al.] // *Pure Appl. Geophys*. 2003. V. 160 (7). P. 1273–1313.
26. The landslide tsunami of November 3, 1994, Skagway Harbour, Alaska / E. A. Kulikov, A. B. Rabinovich, R. E. Thomson, B. D. Bornhold // *J. Geophys. Res.*, 1996. V. 101 (C3). P. 6609–6615.
27. Obschee seysmicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii [General seismic zoning of Northern Eurasia] / otv. red. V. I. Ulomov. OSR-97. Karty A, B i C. masshtab 1:8000000. M. : IFZ RAN, 2000. 3 l.

Сведения об авторах

Баранов Борис Викторович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова, канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией; e-mail: bbaranov@rambler.ru

Варанов В. В. – Shirshov Institute of Oceanology, Cand. of Geol. & Min. Sci., Head of Laboratory; e-mail: bbaranov@rambler.ru

Дозорова Каринэ Ашотовна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова, ст. науч. сотрудник; e-mail: karina.dozorova@yandex.ru

Dozorova K. A. – Shirshov Institute of Oceanology, Senior Researcher; e-mail: karina.dozorova@yandex.ru

Рукавишникова Дарья Дмитриевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова, науч. сотрудник; e-mail: drukavishnikova@gmail.com

Rukavishnikova D. D. – Shirshov Institute of Oceanology, Researcher; e-mail: drukavishnikova@gmail.com