

УДК 551.4,551.435.62

## ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ОСТРОВА САХАЛИН

© 2015 г. Б. В. Баранов, К. А. Дозорова, Д. Д. Рукавишников

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

*e-mail: bbaranov@ocean.ru*

Поступила в редакцию 09.06.2015 г.

Анализ геолого-геофизических данных, полученных на восточном склоне о. Сахалин в рамках трех международных проектов, дал основание выделить несколько геологических процессов, которые могут представлять потенциальную опасность, а именно: сейсмичность, активная тектоника, высачивание газов, разрушение склона и образование оползней. Были изучены особенности распределения каждого из них в пределах восточного склона о. Сахалин и по их совокупности проведено районирование склона по уровню опасности.

DOI: 10.7868/S0030157415060027

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Выявление потенциальных геологических опасностей (георисков) на восточном склоне о. Сахалин и оценка их последствий имеет важное прикладное значение, поскольку позволяет снизить возможный ущерб от них для населения, экологии и экономики региона. Остров Сахалин вместе с прилегающим к нему шельфом является одним из важнейших нефтегазоносных районов России, где в настоящее время осуществляется интенсивная добыча нефти и газа. Наиболее важными с точки зрения экономики и экологической обстановки можно считать объекты инфраструктуры, расположенные на шельфе и побережье о. Сахалин и связанные с интенсивно развивающейся в настоящее время разработкой нефтяных и газовых месторождений.

В работе было выполнено обобщение и анализ геолого-геофизических данных с целью выделения георисков на восточном склоне о. Сахалин. Проведенное исследование было основано на опубликованных результатах и результатах, полученных в 14-ти экспедициях, проведенных в изучаемом регионе с 1995 по 2011 гг. в рамках трех международных проектов: Kurile-Okhotsk Marine EXperiment (КОМЕХ), Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (ЧАОС) и Sakhalin Slope Gas Hydrates (SSGH). Были обобщены данные батиметрической, гидроакустической и сейсмоакустической съемок, выполненных в этих экспедициях. Кроме того, использовались каталоги землетрясений, произошедших на о. Сахалин за период с 1905 по 2014 гг. [3, 7]. Анализ данных дал основание выделить на восточном склоне о. Сахалин несколько геологических процессов, которые могут представлять потенциальную опасность, а именно: сейсмичность, высачивание газа,

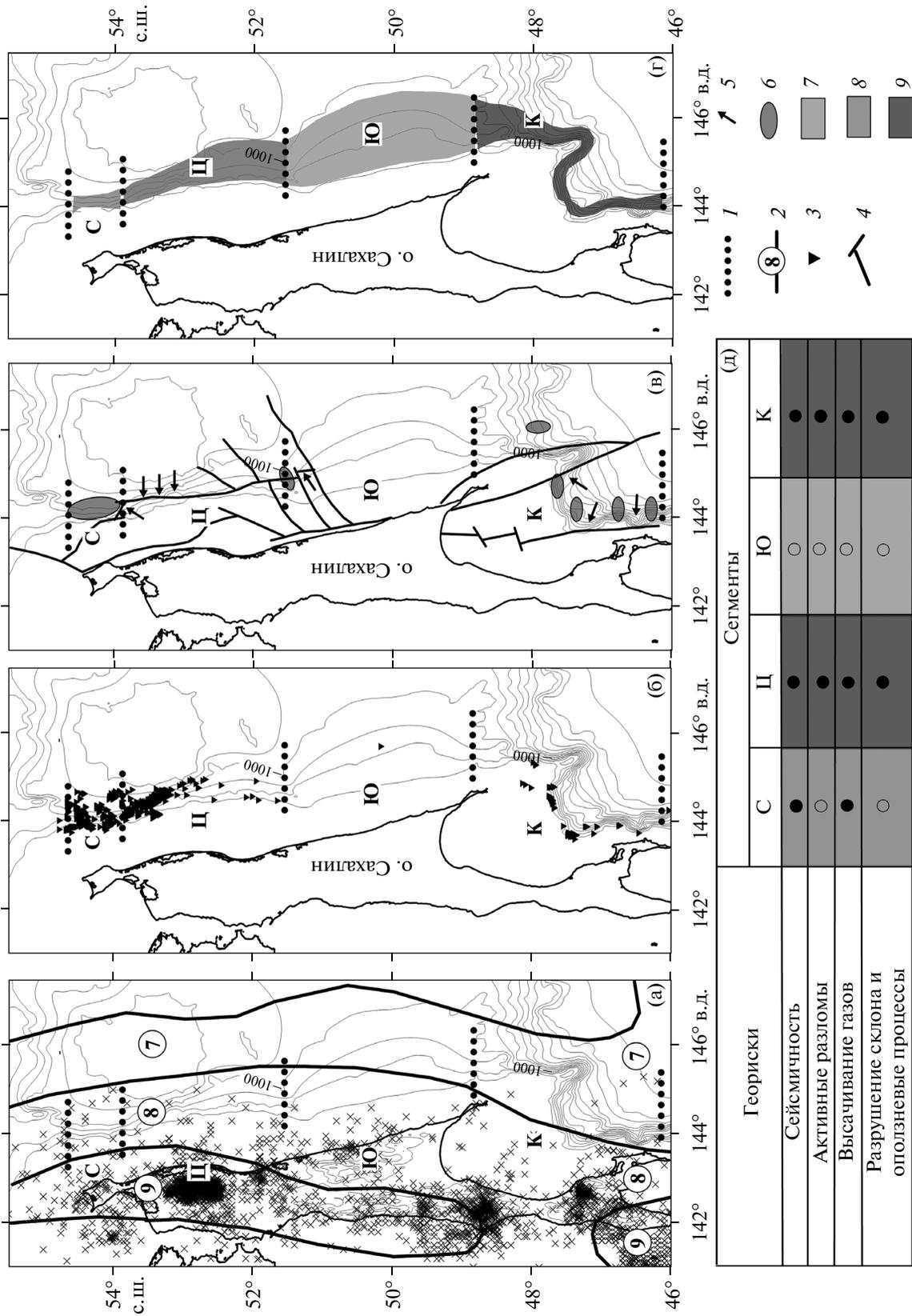
активные разломы, обрушение склона и образование оползней.

### 2. СЕЙСМИЧНОСТЬ

Восточный склон о. Сахалин можно разделить на несколько сегментов, которые имеют отчетливые границы и отличаются друг от друга по своей морфологии [1]. Особенности морфологии, позволяющие разделить склон на сегменты, определяются, главным образом, строением фундамента и мощностью осадочной толщи. Границами сегментов служат разломы или поднятия фундамента.

Остров Сахалин сейсмически активен. Глубина большинства очагов землетрясений не превышает здесь 30–50 км, а их максимальная магнитуда ( $M_w$ ), зарегистрированная за период инструментальных наблюдений с 1905 по 2014 гг., была равна 7.5 [3, 7]. На шельфе эпицентры землетрясений регистрируются вдоль всего восточного побережья острова. На склоне они происходят только в южной части курильского сегмента и к северу от границы между центральным и северным сегментами (рисунок а).

Землетрясения, происходящие в Сахалинской сейсмической зоне, являются, в основном, мелкофокусными и в связи с этим представляют значительную опасность. Поэтому на карте общего сейсмического районирования Северной Евразии ОСР-97 [5], весь восточный склон острова входит в 8-бальную зону (рисунок а). Известно, что опасности, возникающие при землетрясениях, связаны с колебаниями земной поверхности и образованием разрывных нарушений. В морских условиях сейсмический толчок может являться спусковым механизмом для обрушения склона с



Геориски восточного склона о. Сахалин: (а) сейсмичность (косыми крестиками показаны эпицентры землетрясений с 1905 по 2014 гг.), (б) газовые высачивания, (в) разломы и оползни и (г, д) районирование восточного склона о. Сахалин по геологическим опасностям. Сечение изобат равно 250 м, карта GEBCO. I – границы сегментов: С – северного, Ц – центрального, Ю – южного, К – курильского, 2 – изолинии сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 по [5], 3 – точки с газовыми высачиваниями, 4 – генеральные глубинные разломы по [6], 5 – активные участки разломов, 6 – участки склона с наличием оползней, 7–9 – уровни опасности на рисунке г и в таблице д: 7 – низкий, 8 – средний, 9 – высокий. В таблице заштрихованные кружки обозначают наличие геориска, незаштрихованные – отсутствие.

образованием оползней и приводить к выбросам газа [8, 9].

### 3. ВЫСАЧИВАНИЕ ГАЗА

Высачивание газа (сипинг) относят к георискам на основании следующих механизмов воздействия на окружающую среду: 1. выделяющийся газ, являющийся в основном метаном, обладает парниковым эффектом и влияет на изменение климата, 2. взрывное выделение газа может приводить к нарушению стабильности среды на дне, в осадках и в водной толще и 3. высачивание газа является одним из спусковых механизмов, приводящих к обрушению склона и образованию оползней [8].

Для выделения участков, на которых происходит высачивание газа, использовались данные, полученные при гидроакустической съемке [4]. В рейсах было зарегистрировано более 1000 гидроакустических аномалий (газовых факелов), связанных с сипингом и установлено их неравномерное распределение (рисунок б).

Наибольшее число (более 90%) газовых высачиваний (сипов) было зарегистрировано в пределах северного сегмента и в северной половине центрального сегмента. В южной половине центрального сегмента обнаружено значительно меньше точек высачивания, что, вероятно, связано с недостаточной детальностью гидроакустической съемки. На южном сегменте к настоящему времени была зафиксирована только одна точка сипинга. Газовые высачивания наблюдаются и в курильском сегменте, однако их количество составляет здесь менее 10% от общего числа всех зарегистрированных сипов.

### 4. АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ

По геофизическим данным глубинные региональные разломы субмеридионального, северо-восточного и северо-западного простираний выделяются на восточном шельфе и склоне о. Сахалин [6]. На склоне нами были выделены четыре участка (рисунок в), где глубинные разломы секут осадочную толщу и выходят на поверхность дна. Первый из них располагается на границе между северным и центральным сегментами. Здесь было закартировано несколько уступов высотой до 100 м. Уступы простираются в северо-восточном и северо-западном направлении и соответствуют плоскостям разломов, представленных сбросо-сдвигами и сбросами.

В пределах второго участка, который приурочен к центральному сегменту и охватывает часть расположенного здесь глубинного разлома, было закартировано множество разрывных нарушений субмеридионального простирания. Разломы выходят на поверхность дна, но не приводят к верти-

кальным смещениям дна, что дает основание считать их сдвигами.

Третий участок приурочен к границе между центральным и южным сегментами и в рельефе дна соответствует прогибу, ориентированному в северо-восточном направлении. Прогиб имеет сложное строение и состоит из ряда замкнутых депрессий размерами от нескольких сот метров до нескольких километров и глубиной 50–250 м. Их образование связано с проседанием осадочного чехла вдоль системы разломов, ориентированных в субмеридиональном и северо-восточном направлении и являющихся правосторонними сдвигами и сбросами соответственно [1].

Четвертый участок охватывает курильский сегмент склона. Курильский сегмент склона расчленен многочисленными каньонами, которые, как известно, образуются по ослабленным зонам земной коры, связанным с разрывными нарушениями. Оси каньонов имеют северо-западные, субмеридиональные и северо-восточные простирания. Данные, сейсмических исследований показали наличие активных разрывных нарушений на бортах каньонов.

Активные разломы на восточном склоне о. Сахалин однозначно можно отнести к опасным геологическим факторам. Они создают ослабленные зоны в осадочном чехле и служат подводящими каналами для высачивания газа, тем самым увеличивая нестабильность склона. Кроме того, часть этих разломов смещает дно, образуя уступы высотой в десятки метров. Такие уступы в сочетании с наличием газа в осадочной толще создают благоприятные условия для обрушения склона с образованием оползней.

### 5. ОБРУШЕНИЕ СКЛОНА И ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Анализ полученных геолого-геофизических данных дает основание утверждать, что обрушение восточного склона о. Сахалин, сопровождавшееся образованием оползней, происходило в северном сегменте, на границе между центральным и южным сегментами и в курильском сегменте (рисунок в).

Предполагается, что в пределах северного сегмента склон обрушился на протяжении 70 км и объем перемещенных осадков составил около 660 км<sup>2</sup> [12]. На границе между центральным и южным сегментами образование оползня произошло за счет обрушения стенки одной из замкнутых депрессий. Площадь, занятая оползнем, составляет 42 км<sup>2</sup>, его объем ориентировочно равен 4 км<sup>3</sup>. Оползень является очень молодым и образовался менее 500 лет назад [2].

Ранее отмечалось, что оползни широко распространены на западном склоне Курильской

котловины [10]. Полученные нами данные подтверждают вывод о наличии многочисленных оползневых тел в пределах курильского сегмента, которые характеризуются большим разнообразием по сравнению с оползнями, выделенными на границе между южным и центральным сегментами и в северном сегменте.

## 6. РАЙОНИРОВАНИЕ СКЛОНА ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ

Особенности распределения каждого из георисков в пределах восточного склона позволили провести районирование склона по уровню опасности. При этом учитывалось, что выделенные в работе опасные геологические процессы находятся в тесной взаимосвязи. Каждый из них либо создает благоприятные условия для развития других процессов, либо может служить для них спусковым механизмом. Проявляясь одновременно, они образуют взаимосвязанную систему георисков. Чем больше процессов вовлечено в систему в рассматриваемом сегменте склона, тем большую опасность представляет каждый из процессов и тем выше степень геологической опасности для данного сегмента.

Степень геологической опасности для сегментов восточного склона о. Сахалин в зависимости от наличия георисков качественно была оценена как низкая, средняя и высокая (рисунки г и д). В пределах южного сегмента ни один из георисков обнаружен не был, поэтому уровень опасности является низким. Для северного сегмента был установлен средний уровень опасности, так как были выделены только два геориска из четырех возможных. Северный сегмент характеризуется высокой сейсмичностью и активным сипингом. Эти процессы, вероятно, являлись спусковыми механизмами для обрушения склона, которое по разным оценкам произошло в верхнем плейстоцене [12] или 20 тыс. лет назад [11], причем оползневые процессы, по всей видимости, затронули практически весь сегмент. В связи с этим образование новых оползней является здесь маловероятным. Для этого сегмента потенциальная геологическая опасность, в первую очередь, связана с его относительно высокой сейсмичностью и интенсивным высачиванием газа. Кроме того, опасность представляет наличие активных разломов на границе с центральным сегментом.

В пределах центрального и курильского сегментов проявляются все типы георисков, что позволяет предполагать здесь высокий уровень опасности. В первую очередь он определяется процессом обрушения склона и образованием оползней, которые могут приводить к генерации волн цунами. Наличие сейсмичности, активных разломов и высачивания газа является дополнительными факторами, приводящими к генерации оползней.

Среди выделенных георисков обрушение склона и образование оползней, по всей видимости, представляют наибольшую опасность. Это обусловлено, во-первых, тем, что при движении подводного оползня вниз по склону происходит разрушение различного рода подводных сооружений, в частности разрывы кабелей и трубопроводов. Вторая причина, обуславливающая особую опасность оползней, связана с тем, что оползень может генерировать волну цунами. Расчеты, выполненные для одного из оползней, расположенного на границе между центральным и южным сегментами и имеющего возраст менее 500 лет, показали, что высота волны цунами, которая могла образоваться при накате ее на берег, составляет порядка 10 м [2].

Наличие активных разломов, выраженных ступами или депрессиями высотой и глубиной до 100–250 м, соответственно, высачивание газа и наличие неглубоких землетрясений указывает на возможность дальнейшего обрушения склона с образованием оползней, в т.ч. способных вызывать волны цунами, в пределах центрального и курильского сегментов. Изучение этих районов имеет большое практическое значение, связанное с минимизацией ущерба от потенциальных геологических опасностей.

## 7. ВЫВОДЫ

1. Основными опасными геологическими процессами на восточном склоне о. Сахалин являются: сейсмичность, активные разломы, высачивание газа, обрушение склона и образование оползней. Эти геологические процессы тесно связаны между собой и формируют систему георисков восточного склона о. Сахалин.

2. Все типы георисков встречаются в пределах двух сегментов восточного склона о. Сахалин (центрального и курильского), где степень потенциальной геологической опасности является наибольшей.

3. Потенциальная геологическая опасность в первую очередь связана с возможным обрушением склона и образованием оползней, которые могут приводить к генерации волн цунами. Волны цунами, вызванные оползнями в центральном и курильском сегментах, могут представлять угрозу для восточного побережья о. Сахалин и расположенной здесь инфраструктуры, связанной с разработкой нефтяных и газовых месторождений.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-50-00095, анализ и обработка данных) и в рамках государственного задания № 0149-2014-0028 (работа с литературой).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Б.В., Руквишникова Д.Д., Прокудин В.Г. и др. Природа замкнутых депрессий на восточном склоне о. Сахалин // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. с. 86–97.
2. Баранов Б.В., Лобковский Л.И., Куликов Е.А. и др. Оползни на восточном склоне о. Сахалин как источники возможных цунами // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 3. С. 334–337.
3. Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. и др. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 104 с.
4. Саломатин А.С., Юсупов В.И. Акустические исследования газовых “факелов” Охотского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 1–9.
5. Уломов В.И. (отв. ред.) Общее сейсмическое районирование Северной Евразии. ОСР-97. Карты А, В и С. м-б 1 : 8000000. М.: ИФЗ РАН, 2000. 3 л.
6. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 275 с.
7. ANSS ComCat, Composite Earthquake Catalog, Northern California Earthquake Data Center. 2014. <http://www.quake.geo.berkeley.edu/cnss/>.
8. Canals M., Lastras G., Urgeles R. et al. Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA project // Marine Geology. 2004. V. 213. P. 9–72.
9. Field M.E., Jennings A.E. Seafloor gas seeps triggered by a northern California earthquake // Marine Geology. 1987. V. 77. P. 39–51.
10. Gnibidenko H.S., Hilde T.W.C., Gretskey E.V., Andreev A.A. Kurile (South Okhotsk) back-arc basin // Back-Arc Basins: Tectonics and Magmatism / Ed. Taylor B. New York: Plenum, 1995. P. 421–449.
11. Kim Y.-G., Lee S.-M., Jin Y.K. et al. Near-seafloor gas hydrate occurrence in shallow water at the northeastern continental slope of Sakhalin Island, Sea of Okhotsk: implications for slope failure by gas hydrate dissociation due to ocean warming // Marine and Petroleum Geology. 2013. V. 45. P. 198–202.
12. Wong H.K., Lüdmann T., Baranov B.V. et al. Bottom current-controlled sedimentation and mass wasting in the north-western Sea of Okhotsk // Marine Geology. 2003. V. 201. P. 287–305. doi:10.1016/S0025-3227(03)00221-4.

## Geological Hazards on the Eastern Sakhalin Slope

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

Analysis of geological and geophysical data obtained on the Eastern Sakhalin slope in frames of three international projects afforded ground to distinguish several potentially hazardous geological processes in this region: seismic activity, active tectonics, gas seepage, slope failure and landslides origin. Spatial distribution of each process was examined and geological hazard zoning within the Eastern Sakhalin slope was fulfilled.