

## **СЕЙСМИЧНОСТЬ КАК ФАКТОР РИСКА ОПОЛЗНЯ 3 ИЮНЯ 2007 Г. В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ**

**Ю.А. Кугаенко**

*Камчатский филиал геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,  
e-mail: ku@emsd.ru*

### **Введение**

Как известно, Камчатка является одним из наиболее сейсмически и геодинамически активных регионов мира, но кроме этого ее территория характеризуется широким спектром опасных природных явлений, многие из которых инициируют или значительно повышают вероятность возникновения других. В частности, землетрясения являются причиной цунами, сопровождают или предваряют вулканические извержения, активизируют процессы склоновой неустойчивости: обвалы, оползни, лавины.

Район Долины Гейзеров - один из самых потенциально опасных на Камчатке из-за интенсивного развития в его пределах обвально-оползневых процессов. Оползень и обрушение склона, произошедшие здесь 3 июня 2007 г. в 14 час. 20 мин. по местному времени (01 час 20 мин. UT), привлекли внимание к этой проблеме не только ученых, но и сотрудников Кроноцкого заповедника (КЗ), работников туристической сферы, территориальную администрацию. Всеобщая обеспокоенность связана не только с неожиданным изменением ландшафта Долины Гейзеров. Эта территория является частью объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Вулканы Камчатки» и уже много лет активно используется коммерческими туристическими структурами. Долину Гейзеров ежегодно посещают около трех – трех с половиной тысяч туристов. Существуют рекомендации, выработанные в рамках проекта ПРООН/ГЭФ (United Nations Development Program (UNDP) / Global Environment Facility (GEF)) «Сохранение и устойчивое использование биоразнообразия Камчатки», реализуемого под эгидой Министерства природных ресурсов России, о возможности развития экологического туризма и увеличения в Долине Гейзеров квоты до пяти, а в перспективе - до десяти тысяч человек в год [19].

В этой ситуации неожиданная природная катастрофа, чудом не уничтожившая туристический визит-центр в Долине Гейзеров и стационар Кроноцкого заповедника, заставляет повернуться лицом к проблемам ответственности за жизнь посетителей, что на первом этапе предполагает затраты на проведение экспертизы и оценки риска опасных природных процессов в зоне развития экологического туризма.

### **Риск как вероятность потерь**

Центральное место в современной стратегии борьбы с природными угрозами занимает разработка научных технологий оценки природных рисков.

*Природный риск* – количественный показатель – вероятностная оценка, характеризующая возможность материального ущерба и невозвратных потерь в результате развития отдельных видов (дифференцированный риск) или нескольких видов опасностей (интегральный риск). Процедура оценки рисков включает выполнение ряда последовательных операций, а именно: идентификацию опасности, прогнозирование опасности, оценку уязвимости, оценку риска. При расчете оценок риска в рамках той или иной математической модели необходимо ее наполнение реальными данными по конкретной территории.

Риск-анализ для объекта (региона, территории, инфраструктуры) начинается с идентификации природных опасностей. Для оценки риска привлекается информация по

разнообразным факторам, его определяющим.

*Факторами риска* являются условия, которые сами по себе не служат непосредственными источниками появления нежелательных результатов, но увеличивают вероятность их возникновения.

Применение понятия риска позволяет переводить опасность в разряд измеряемых величин.

### **Факторы оползнеобразования**

Исследование факторов оползнеобразования имеет не меньшую значимость, чем исследование самих оползней. При рассмотрении оползнеобразующих факторов необходимо учитывать весь комплекс процессов, способствующих развитию неустойчивости склона [14]: его *геологическое строение, рельеф, современные тектонические движения, сейсмическую и вулканическую активность района, климат и метеорологические данные, гидрогеологические и геокриологические условия, растительность и почвы, хозяйственную деятельность.*

Удельный вес комплекса геодинамических факторов при оценке риска возникновения оползней и обвалов значительно возрастает в районах высокой сейсмической и геодинамической активности, в частности, - на Камчатке.

### **Сейсмичность и оползнеобразование**

Сейсмические воздействия можно рассматривать как два независимых различных фактора, влияющих на процессы формирования и развития оползнеобразования:

1. *Каждое отдельно взятое землетрясение.* Время воздействия – от нескольких секунд до нескольких десятков минут. В течение этого времени сейсмические колебания способствуют механическому разрушению склона. Кроме прямого воздействия сейсмических ускорений на величину сил, вызывающих разрушение, колебания грунта могут способствовать понижению его прочности вдоль поверхности, где проявляется сопротивление скольжению. Динамическая прочность некоторых материалов на сдвиг значительно меньше, чем статическая. При наличии водонасыщенного слоя, отделяющего тело оползня от основного массива, при циклическом деформационном воздействии возможен локальный эффект разжижения грунта. Возможен триггерный эффект: землетрясение непосредственно инициирует схождения оползня на склонах, состояние которых близко к неустойчивости.

2. *Региональный сейсмический процесс.* Влияет на развитие склоновой неустойчивости в течение всего времени формирования оползня: от нескольких лет до нескольких десятилетий. Оказывает деструктивное действие на склон: активизирует появление и рост трещин, меняет конфигурацию трещинно-порового пространства, что способствует постепенному прониканию холодных и геотермальных вод в массив горных пород. В зонах современных активных разломов при достаточно сильных землетрясениях возможны интенсивные деформации земной коры. Таким образом, сейсмические воздействия выступают начальным элементом «эффекта домино», обуславливая дальнейшую цепочку деструктивных событий.

Основой изучения региональной сейсмичности являются данные долговременных непрерывных *инструментальных* наблюдений. При этом используются высокоточные современные технические средства: чувствительные сейсмометры, цифровые регистраторы, современные средства оперативной передачи информации на основе спутниковой и модемной связи, автоматическое или автоматизированное определение параметров землетрясений. Практикуется обмен данными между Мировыми информационными центрами. Для исследователей доступны каталоги землетрясений,

волновые формы сейсмических событий, архивы записей на бумажных и цифровых носителях и пр. Предполагается непрерывность регистрации и оперативность обработки.

Эти особенности сейсмологической информации определяют ее достоверность, детальность и значимость в процессе оценки природного риска территории. Среди факторов риска развития оползня наряду с сейсмичностью к инструментально и непрерывно регистрируемым относятся только метеорологические данные и результаты GPS-наблюдений за современными движениями земной коры. *В Долине Гейзеров все эти виды базовых наблюдений до настоящего времени отсутствуют.*

Начало мировой инструментальной сейсмологии относится к концу XIX века. На Камчатке детальные сейсмологические наблюдения организованы в 1961-1962 гг. Камчатский региональный каталог в настоящее время является наиболее полным на территории России.

Имеющиеся инструментальные данные о сейсмичности Камчатки являются информационной базой для проведения идентификации опасности сейсмического фактора в развитии процесса разрушения склона в Долине Гейзеров.

### **Данные о макросейсмической интенсивности сильнейших землетрясений**

Долговременная оценка сейсмической опасности территории производится на основании данных общего сейсмического районирования (ОСР) [17]. В соответствии с вероятностной картой ОСР-97-А, Долина Гейзеров относится к зоне, где интенсивность колебаний в результате сильных землетрясений может достичь 9 баллов по шкале MSK-64. Это означает, что колебания с указанной интенсивностью могут произойти с вероятностью 10% в течение 50 лет (средний период повторения – 500 лет).

Предполагая, что развитие склоновой неустойчивости длилось достаточно долго, в течение нескольких десятков лет, необходимо детально рассмотреть сейсмические события, оказавшие наибольшее деструктивное влияние на среду формировавшегося отрыва за время инструментальных наблюдений (табл.1).

**Таблица 1.** Макросейсмическая интенсивность в районе Долины Гейзеров и кальдеры Узон при сильнейших землетрясениях Камчатки за период инструментальных сейсмологических наблюдений.  $M_w$  взяты по [9]

Параметры землетрясения	Балльность	Оценка расстояния до очага, км	Источник
<b>23.02.1923</b> <b><math>M_w=8.5</math> (8.7?)</b>	<b>8</b>	<b>180</b>	Карта изосейст. Составитель: Л.Б.Шумилина
<b>28.12.1927</b> <b><math>M_w=7.5</math></b>	<b>7-8</b>	<b>100</b>	Расчетная оценка по зависимости [8]
<b>04.11.1952</b> <b><math>M_w=9.0</math></b>	<b>6</b>	<b>200</b>	Карта изосейст. Составитель: Л.Б.Шумилина
<b>04.05.1959</b> <b><math>M_w=8.0</math></b>	<b>8</b>	<b>110</b>	Карта изосейст. Составитель: Л.Б.Шумилина
<b>24.11.1971</b> <b><math>M_w=7.5</math></b>	<b>6</b>	<b>190</b>	Карта изосейст [7]
<b>05.12.1997</b> <b><math>M_w=7.8</math></b>	<b>6</b>	<b>130</b>	Карта изосейст [6]

Таким образом, за последнее столетие Долина Гейзеров 3 раза испытывала сотрясения с интенсивностью 7-8 баллов и 3 раза - 6 баллов по шкале макросейсмической интенсивности MSK-64. Устойчивость склонов на момент сильных землетрясений оказалась достаточной, обрушений не произошло. Последнее наиболее

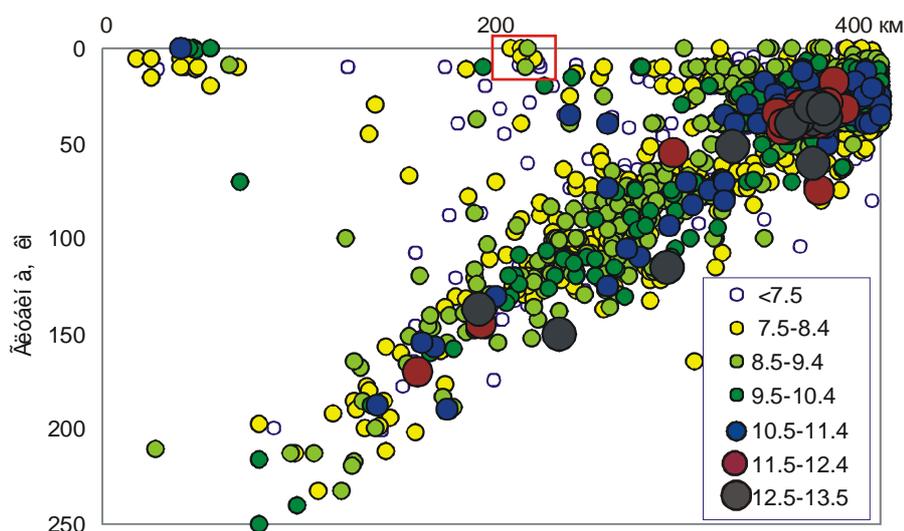
сильное сейсмическое воздействие связано с Кроноцким землетрясением 05.12.1997,  $M_w=7.8$ , за десять лет до катастрофы.

### Что мы знаем о локальной сейсмичности Узон-Гейзерной депрессии

Основное количество землетрясений Камчатки сосредоточено в сейсмофокальной зоне, наклонно уходящей под полуостров. Под Долиной Гейзеров сейсмофокальная зона находится на глубине 120-140 км. Западная граница мелкофокусных субдукционных землетрясений проходит по восточным полуостровам. Непосредственно под сушей Камчатки поверхностных землетрясений происходит значительно меньше, чем в сейсмофокальной зоне. Они связаны как с вулканизмом, так и с тектоническими процессами. И региональные, и локальные землетрясения потенциально являются факторами развития и активизации склоновой неустойчивости.

В целом по региональному каталогу для полосы суши Восточное побережье – Срединный хребет уровень надежной регистрации землетрясений  $K=8.5-9$  [5]. Класс соответствует энергетической классификации С.А. Федотова для Курило-Камчатских землетрясений [18]. При существующей конфигурации сети этот параметр для исследуемого района  $K=7.5$ . Ближайшие сейсмические станции: «Мыс Козлова», расстояние 100 км; «Карымский» в районе одноименного вулкана, расстояние 70 км; «Тумрок», расстояние 90 км. Таким образом, имеющаяся сейсмологическая информация о районе Долины Гейзеров неполна из-за ее значительной удаленности от пунктов регистрации сейсмических сигналов.

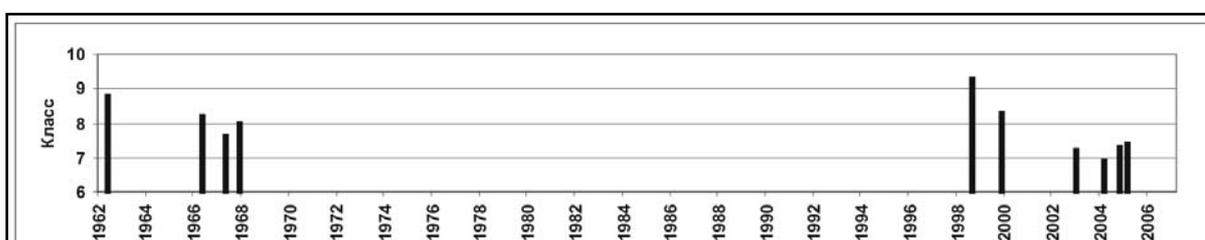
На рис.1 представлена проекция гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость, проходящую через Узон-Гейзерную депрессию вкrest сейсмофокальной зоны. Гипоцентры выбраны из камчатского регионального каталога в узкой полосе мощностью 20 км. На разрезе выделяется группа поверхностных событий, сосредоточенных непосредственно под Узон-Гейзерной депрессией. Землетрясений немного, однако явная группируемость в ограниченном объеме пространства позволяет рассматривать их как проявление локальной сейсмической активности, инструментально зафиксированной камчатской региональной сетью.



**Рис. 1.** Проекция гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость, проходящую через Узон-Гейзерную депрессию вкrest сейсмофокальной зоны (ширина полосы выборки – 20 км). Прямоугольником выделены гипоцентры, группирующиеся непосредственно под Узон-Гейзерной депрессией.

**Таблица 2.** Параметры мелкофокусных землетрясений, зафиксированных под районом Узон-Гейзерной депрессии (выделенных на рис.1 прямоугольником)

Дата ггггммдд	час.	мин.	сек.	Широта	Долгота	Глубина	Класс
19620630	19	49	33.6	54.49	160.19	<b>0</b>	<b>8.8</b>
19660514	22	1	59	54.52	160.15	<b>0</b>	<b>8.2</b>
19670521	11	1	18.7	54.43	160.22	<b>5</b>	<b>7.6</b>
19671204	8	33	18.5	54.48	160.1	<b>0</b>	<b>8</b>
19980911	16	2	21.9	54.36	160.17	<b>10</b>	<b>9.3</b>
19991221	10	5	8.7	54.37	160.15	<b>4</b>	<b>8.3</b>
20030108	12	17	21.1	54.36	160.25	<b>10</b>	<b>7.2</b>
20040302	1	46	39.7	54.38	160.22	<b>9</b>	<b>6.9</b>
20041114	3	17	44.8	54.53	160.24	<b>8</b>	<b>7.3</b>
20050330	7	57	37.1	54.42	160.14	<b>9</b>	<b>7.4</b>



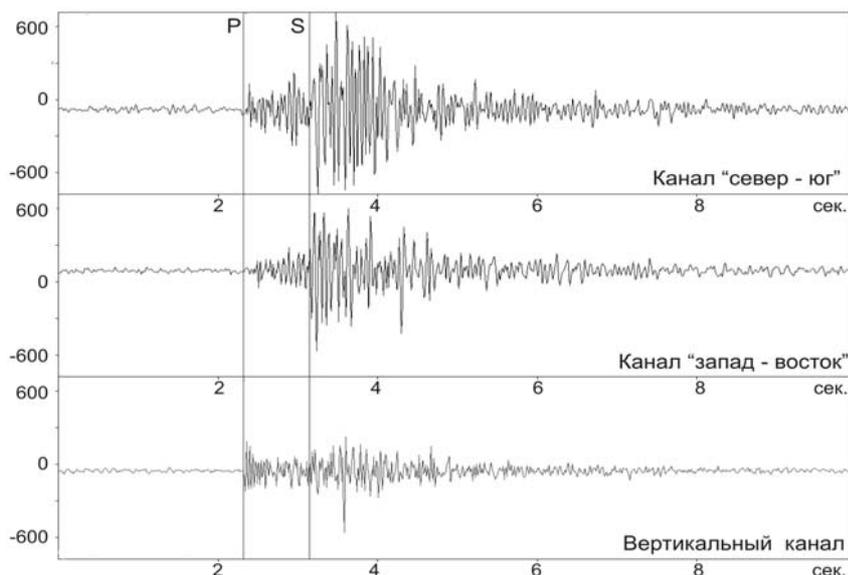
**Рис. 2.** Распределение во времени мелкофокусных землетрясений, зафиксированных под районом Узон-Гейзерной депрессии (выделенных на рис.1 прямоугольником).

Параметры этих землетрясений приведены в табл.2. Привлекает внимание неравномерность распределения событий во времени (рис.2), что указывает на нестационарность процесса. После 30-летнего периода «молчания» (1968-1998 гг.) происходит землетрясение  $K=9.3$ , оно ощущалось в Долине Гейзеров как «очень высокочастотное» (по сообщению очевидцев). Этим толчком начинается ряд событий, возможно, связанных с местной геодинамической активизацией. В силу ограниченных технических возможностей региональной сети регистрируются только наиболее сильные землетрясения, но даже на уровне ее чувствительности продемонстрировано, что в исследуемом районе происходят локальные землетрясения, некоторые из которых – ощутимые.

Наличие локальных землетрясений в районе Долины Гейзеров было инструментально подтверждено в ходе проведенных здесь в конце 2007 г. кратковременных наблюдений временной сейсмической станцией [11, 12]. Пример записи локального землетрясения приведен на рис. 3.

Сообщения об ощутимых землетрясениях, поступающих со стационаров Кроноцкого государственного биосферного заповедника (кордоны на Кроноцком озере, Семячинском лимане, в Кроноках), не всегда совпадают с данными камчатского каталога. Это также свидетельствует о наличии в исследуемом районе источников сейсмической активности, которая достаточно интенсивно ощущается в местных условиях, но по своим энергетическим параметрам не регистрируется региональной сетью.

Обобщив данные, приведенные в текущем разделе, можно сделать вывод, что, хотя наши представления о сейсмичности Узон-Гейзерной депрессии неполны, имеется убедительная информация о том, что этому району присуща локальная мелкофокусная сейсмическая активность низких энергетических классов.



**Рис. 3.** Пример записи близкого землетрясения ( $K \approx 5$ ,  $T_{s-p} = 0.8$  с), зарегистрированного в Долине Гейзеров временной сейсмической станцией в конце 2007 г.

### **Активность вулкана Кихпиныч**

Вулканический комплекс Кихпиныч возвышается над восточным бортом Узон-Гейзерной депрессии. Долина Гейзеров примыкает к его юго-западному склону, ее тепловое питание связано с восходящим водным потоком из области магматического очага вулканического массива [13].

Вулкан Кихпиныч включает несколько разнородных и разновозрастных сооружений. Его основание – вулкан Старый Кихпиныч - сформировался до этапа кальдерообразования в Восточном вулканическом поясе (средний–верхний плейстоцен). Наиболее молодой конус Савича образовался около 1400 лет назад и считается активным до настоящего времени; его последнее, самое сильное, эксплозивно-эффузивное извержение произошло около 600 лет назад. С заключительным извержением Кихпиныча связано образование эффузивного купола Краб примерно 400 лет назад [3, 4, 16].

В настоящее время активный вулкан Кихпиныч характеризуется слабой фумарольной деятельностью и очень свежими лавовыми потоками. Извержения, происходившие в историческое время, не известны. Прогноз будущей деятельности вулкана неоднозначен.

Вулкан Кихпиныч, к сожалению, нельзя отнести к числу хорошо изученных. О сейсмичности этого вулкана в настоящее время ничего не известно, наблюдения здесь не проводились. Возможно, часть землетрясений, обсуждавшихся в предыдущем разделе, связана с действующим вулканом Кихпиныч.

Неожиданным результатом является активность современных движений земной коры в районе вулкана Кихпиныч [20]. По данным спутниковой интерферометрии (InSAR) показано, что в 2001-2003 гг. здесь зарегистрировано поднятие на 15 см. Проведенное авторами [20] моделирование связывает источник движения с коровым магматическим очагом [2]. Отмечена неравномерность процесса поднятия во времени: в 1999-2000 гг. и в 2004 г. по данным InSAR геодинамическая активность не выявлена. Существенной сейсмичностью (на уровне регистрации региональной сетью) процесс поднятия не сопровождался. Возможно, имели место более слабые сейсмические события.

Поднятие восточного склона кальдеры необходимо отнести к одному из определяющих факторов, ускоривших процесс развития оползня в последнее десятилетие.

### Сообщения об ощутимых землетрясениях на территории Кроноцкого заповедника в последние дни перед оползнем

Данные об ощутимых землетрясениях из района оползня скудны. Но представляется полезным привести здесь сведения, которые имеются в данный момент (табл. 3). Только одно сообщение относится непосредственно к Долине гейзеров. Два других поступили из ближайших к ней мест, где находились сотрудники Кроноцкого заповедника (КЗ).

Трудно связать эти слабые сейсмические воздействия с триггерным эффектом. Но не исключено, что все сейсмические события, о которых сообщается в приведенных документах, оказали влияние на заключительный этап подготовки геологической катастрофы 03 июня 2007 г., когда среда уже находилась в состоянии, близком к неустойчивости.

**Таблица 3.** Данные об ощутимых землетрясениях в последние дни перед оползнем, полученные из Долины Гейзеров и ближайших пунктов

Пункт	Дата	Расстояние до Долины Гейзеров	Текст сообщения, Источник	Землетрясение
Кордон КЗ «Исток» на Кроноцком озере	30.05.2007	30 км	«Утром, в шестом часу, было землетрясение. Сначала дом толкнуло, чуть позже легко затрясло, и у меня под столом зазвенели колокольчики...». Из полевого дневника госинспектора Н.Г. Чичорина	В региональном каталоге отсутствует.
Кордон КЗ на Семячинском лимане	31.05.2007	35 км	«Утром, в 9-25, немного потрясло, 2-3 балла». Из полевого дневника госинспектора В. Аксенова	30.05.2007. Mw = 6.4 Южная Камчатка
Кордон КЗ «Долина Гейзеров»	01.06.2007		«За два дня до схода лавины людьми ощущались два предположительно сейсмических толчка» [15]	В региональном каталоге отсутствует.

### Обсуждение результатов

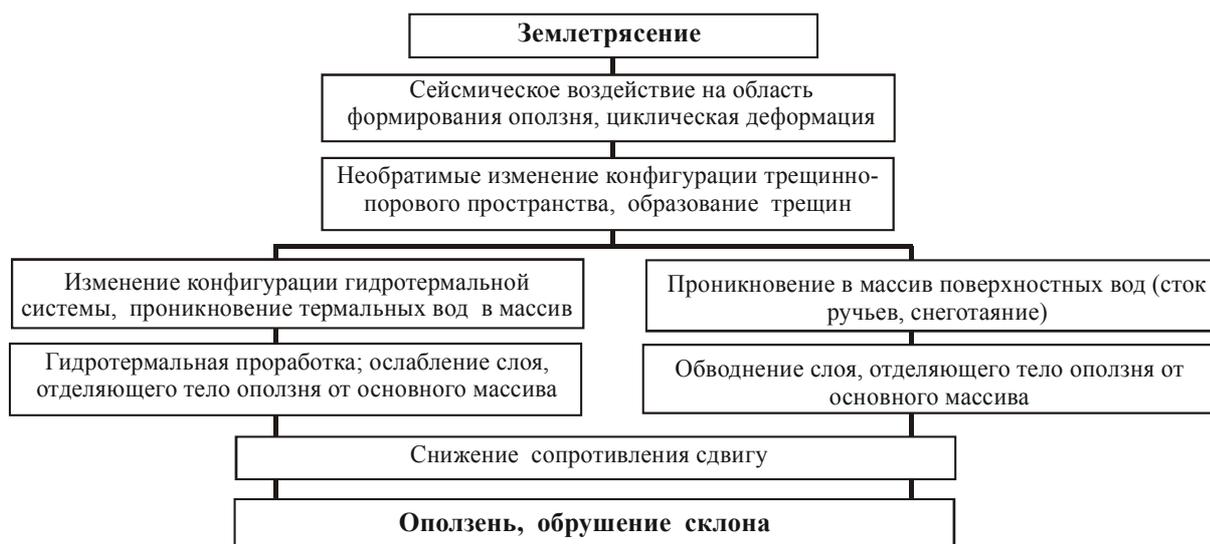
Подготовка оползня начинается с формирования границы, отделяющей некоторый объем горной массы от массива. Формирование этой границы связано с локализацией сдвиговой деформации. Вдоль этой границы повышается пористость и проницаемость. В случае насыщения этой зоны водой сопротивление сдвигу резко снижается, что и вызовет оползень. Хотя каждое отдельное событие может быть вызвано землетрясением или изменением водного режима, их нельзя считать причиной возникновения оползней. Причиной оползня является деформационный процесс, развивающийся в массиве вблизи склона под действием силы тяжести [1, 14].

В [15] сформулирована основная причина катастрофы: *эрозионные и нивальные процессы подрезки склона в сочетании с его ослаблением гидротермальной проработкой*. (В обрушение были вовлечены разогретые породы, слагавшие ранее горный массив. Наиболее вероятным авторам [15] представляется ослабление полускальных пемзовых грунтов (снижение коэффициента сцепления и угла внутреннего трения) за счёт их пропаривания при скрытой разгрузке терм).

При расчете риска оползня как природной катастрофы каждое сейсмическое воздействие повышает вероятность ее возникновения, воздействуя на скрытые механизмы обводненности в основании тела оползня. Известна высокая чувствительность гидротермальных систем к сейсмическим воздействиям удаленных

землетрясений, например, [21]. Непосредственно для Кихпиничского долгоживущего вулканического центра попытки связать морфологические изменения в структуре термопроявлений с сейсмичностью проведены в [10]: предполагается, что характеристики поверхностных термопроявлений могут меняться даже при недостаточно сильных сейсмических воздействиях. Следовательно, внутренняя конфигурация Гейзерной гидротермальной системы тоже обладает чувствительностью к влиянию сейсмичности.

Связь сейсмичности с основной причиной обрушения в Долине Гейзеров может рассматриваться в контексте многоступенчатого «эффекта домино» через цепочку последовательных изменений в массиве горных пород на склоне (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема влияния сейсмичности на длительное ослабление склонов в контексте «эффекта домино» в процессе подготовки оползня 03.06.2007 в Долине Гейзеров.

Еще в конце 1997 г. устойчивость склона, обрушившегося 03.06.2007, была достаточна, чтобы выдержать сотрясения с интенсивностью 6 баллов, вызванные Кроноцким землетрясением.

Зафиксированные в последние годы локальные мелкофокусные землетрясения (рис.1, 2, 3) и поднятие восточного борта Узон-Гейзерной депрессии [20] свидетельствуют об эндогенной активности района. Возможно, эта активность усилилась в последнее десятилетие, что и привело к ускорившемуся развитию склоновой неустойчивости в Долине Гейзеров. К сожалению, в нашем распоряжении имеется мало данных для подтверждения этой гипотезы.

Обычно обобщение причин и факторов, вызвавших оползень, имеет чисто научный интерес, т.к. относятся к событию, уже случившемуся. В случае с Долиной Гейзеров ситуация иная. Высокая степень опасности, связанная с возможными дальнейшими обрушениями склонов, сохраняется [15], а все описанные в статье события являются повышающими риск факторами для потенциальных крупных оползневых тел в Долине Гейзеров, наличие и развитие которых предполагается.

## Выводы

1. Одним из основных факторов риска продолжающегося развития процессов склоновой неустойчивости в Долине Гейзеров является сейсмичность. Имеющиеся инструментальные данные о сейсмичности Камчатки являются информационной основой для проведения идентификации опасности сейсмического фактора при изучении опасных склоновых процессов.

2. В районе Узон-Гейзерной депрессии наблюдается локальная поверхностная сейсмическая активность, которая за время детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке (1962 г. – настоящее время) проявила себя только на достаточно низком энергетическом уровне: максимальный класс зарегистрированных здесь событий  $K=9.3$ . Нельзя исключить вероятность возникновения и более сильных локальных сейсмических событий как проявления сложной тектоники и геодинамической обстановки района. При оценке риска оползнеобразования в Долине Гейзеров требуется учитывать не только долговременные вероятностные характеристики сейсмического процесса (карта общего сейсмического районирования), но и текущие локальные землетрясения.

3. В окрестности Долины Гейзеров необходима организация локальной сейсмической сети как дополнения региональной системы сейсмологических наблюдений, ориентированной на локальный сейсмический мониторинг, рассматривая микросейсмичность как информативный фактор при разрушении массива горных пород в процессе формирования оползня (обрушения склона).

4. В условиях, когда сети локального наблюдения по техническим причинам отсутствуют, возрастает роль информации о локальном проявлении сейсмической активности – *сообщений об относительно слабых ощутимых сейсмических событиях*. Поэтому необходимо обеспечить не эпизодическое, а систематическое поступление сообщений об ощутимых сейсмических сотрясениях из всех удаленных населенных пунктов из районов, где плотность существующих наблюдательных сетей все еще недостаточна: из Долины Гейзеров, кальдеры Узон, Кроноцкого заповедника в целом.

Автор благодарен администрации Кроноцкого государственного биосферного заповедника за информационную поддержку и предоставление сведений об ощутимых землетрясениях, взятых из полевых дневников сотрудников заповедника за 2007 г. Эта работа была выполнена Н. Голуб, которой выражаем особую признательность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В. Актуальные проблемы геомеханики земной коры // Вестник ОГГГГН РАН. 2001 № 1(16) 2001 URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2001/adushkin.htm#begin](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2001/adushkin.htm#begin)
2. Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79
3. Брайцева О.А., Флоренский И.В., Вольнец О.Н. Вулкан Кихпинич // Действующие вулканы Камчатки. Том 2. М.: Наука, 1991. С. 74-93.
4. Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В., Литасова С.Н. История активности вулкана Кихпинич в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. №6. С. 3-19.
5. Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др. Мелкофокусные землетрясения п-ова Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 28-38.
6. Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А. Гордеев Е.И. Сильное Кроноцкое землетрясение 5.12.1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997: предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. С. 32-54.
7. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Макросейсмический эффект землетрясения 24 (25) ноября 1971 г. на территории Камчатской области // Сильные землетрясения Камчатки 1971 г. Владивосток: ДВ НЦ АН СССР, 1975. С. 81-84.
8. Гусев А. А., Шумилина Л. С. Моделирование связи балл-магнитуда-расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 29-40.
9. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.

10. Карданова О.Ф., Дубровская И.К. Морфологические изменения на термальных полях Кихпиничского долгоживущего вулканического центра // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 59-69.
11. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И. Сейсмические наблюдения в Долине Гейзеров // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №2. Вып. 10. С. 171-172.
12. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И. Сейсмические сигналы Узон-Гейзерной депрессии // Статья в настоящем сборнике.
13. Леонов В.Л., Гриб Е.К., Карнов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. Том 2. М.: Наука, 1991. С. 94-143.
14. Оползни. Исследование и укрепление / Под ред. Р.Шустера, Р.Кризека. М.: Мир, 1981. 368 с.
15. Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А. и др. Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33-44.
16. Пономарева В.В., Брайцева О.А. Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро – Узон – Долина Гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. №1. С.27-44.
17. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран // Физика Земли. 1998. № 10. С. 92-96.
18. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
19. Чиждова В.П. Допустимые рекреационные нагрузки в охраняемых природных территориях Камчатки // География и туризм. Пермь: Пермский университет, 2006. С. 239-253.
20. Lundgren P., Lu Zh. Inflation model of Uzon caldera, Kamchatka, constrained by satellite radar interferometry observations // Geophysical Research Letters. 2006. V. 33. L06301, doi:10.1029/2005GL025181
21. Manga M., Brodsky E.E. Seismic triggering of eruptions in the far field: volcanoes and geysers, Ann. Rev. Earth Plan. Sci., 2006. V.34. P. 263-291.

## **SEISMICITY AS THE RISK FACTOR OF JUNE 3, 2007 KAMCHATKA LANDSLIDE IN THE VALLEY OF THE GEYSERS**

**Yu.A. Kugaenko**

*Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006,  
e-mail:ku@emsd.ru*

Weight of geodynamic factors in estimation of landslides and landfalls risk significantly increases in regions with high seismic and geodynamic activity, on Kamchatka particularly. The seismic risk factors for landslide which occurred on June 3, 2007 in the Valley of the Geysers are presented in this paper. In calculation of landslide risk (as natural catastrophe) each seismic impact increases its probability because it influences on hidden mechanisms of watering in base of landslide body. It is also known that hydrothermal systems are very sensitive to seismic impact. It may be supposed that inner configuration of the Valley of the Geysers hydrothermal field is also sensitive to seismic effect. Let us generalize long-term influence of seismic process on development of the Valley of the Geysers landslide in respect of main collapse reason - massif weakening due to hydrothermal activity. Seismicity may be regarded in context of multi-step «domino effect» acting by scheme: earthquake → seismic influence on landslide body, cyclic deformation → modification of fracture-pore space configuration → modification of hydrothermal field configuration → hydrothermal massif steaming → weakening of cohesion in some landslide base layer → slope collapse, landslide.