

**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 551.311.8:627.141.1:624.131.544

**СЕЙСМОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СЕЛЕВОГО ПРОЦЕССА
В НИЗКОГОРЬЕ (НА ПРИМЕРЕ О. САХАЛИН)**

© 2007 г. Н. А. Казаков

*Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН,
лаборатория лавинных и селевых процессов*

Поступила в редакцию 12.09.2005 г.

Рассматриваются условия формирования сейсмогенных селевых потоков и механизм взаимодействия между селевыми и сейсмическими процессами.

ВВЕДЕНИЕ

При оценке вторичных эффектов землетрясений, расчете селевых рисков для населения, объектов и сооружений и разработке мероприятий по их защите в сейсмичных районах необходимо учитывать вероятность формирования сейсмогенных селей.

Особую значимость проблема определения степени воздействия сейсмических процессов на динамику селевых процессов приобретает на территориях низкогорья в густозаселенных районах с муссонным климатом, где селевые процессы имеют ряд специфических особенностей, способных значительно усугубить последствия землетрясения.

Так, вследствие большой глубины расчленения рельефа на Южном Сахалине (до 400–700 м при абсолютных отметках водоразделов 500–800 м) селевые русла имеют большие уклоны (более 25°) и малую длину (100–3000 м), что обуславливает высокие скорости селевых потоков и малое время добегания первой селевой волны до зоны аккумуляции селевых отложений. В результате селевые потоки в низкогорье Южного Сахалина отличаются большей внезапностью, чем в других горных регионах России и Средней Азии, где объемы селевых потоков и площади селевых бассейнов на порядок превосходят размеры селевых потоков и селевых бассейнов Сахалина. При этом объемы селевых потоков могут превышать 300000 м³.

Так, в 2003–2005 гг. на юго-восточном Сахалине на горах Макарова, Клокова и в хр. Жданко нами обнаружены отложения грязекаменных потоков возрастом от 20 до 250 лет, объемы которых достигали 350–400000 м³ (рисунок).

Кроме того, совершенно не исследованным остается вопрос о возможности формирования селевых потоков при слабых землетрясениях.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Описываемая в литературе вероятность образования сейсмогенных селей связывается с землетрясениями высокой балльности [1, 13, 16, 17, 21]. Представления о механизме образования сейсмогенных селей базируются, как правило, на представлениях о подобии механизма формирования сейсмогенных селей и сейсмогенных оползней [16, 21].

Такое сопоставление не вполне корректно, поскольку оползень далеко не всегда трансформируется в селевой поток, а для перехода в результате землетрясения в движение потенциального селевого массива накопления, сложенного крупнообломочным материалом и залегающего при уклонах менее 30°, требуется достаточно редкое совпадение целого ряда факторов.

Несмотря на то, что в настоящей работе не рассматриваются условия формирования сейсмогенных оползней, следует отметить, что и для активизации оползней при динамическом воздействии [2] требуется сочетание ряда условий (состав и степень увлаженности пород), и землетрясения не часто становятся причиной формирования оползней.

Мы полагаем, что при оценке влияния сейсмических процессов на селевые комплексы следует учитывать влияние сейсмичности на весь комплекс экзогенных процессов, формирующих природные селевые комплексы и регулирующих динамику селевых процессов.

В низкогорье селевые процессы имеют свои особенности, среди которых можно отметить следующие (на примере о. Сахалин):

- условия селеобразования в первую очередь определяются геологическими (состав пород, слагающих горные массивы, в которых формируются селевые бассейны), литологическими (состав пород, слагающих потенциальные селевые массивы) и геоморфологическими (морфометри-



Южный Сахалин, хребет Жданко. Селевые бассейны.

ческие характеристики селевых очагов и селевых бассейнов) факторами селеобразования (доминирующие факторы); гидрометеорологические факторы играют подчиненную роль (подчиненные факторы; сейсмические и другие факторы являются дополнительными факторами, способными привести к активизации селевого процесса лишь при определенных условиях, обусловленных сочетанием доминирующих и подчиненных факторов;

- поскольку в наиболее крупных селевых бассейнах преобладают потенциальные селевые массивы накопления, частота формирования катастрофических селевых потоков зависит от скорости накопления продуктов выветривания в селевых очагах (т.е. от состава пород в очагах твердого питания селей); прямая зависимость между выпадением обильных осадков и формированием селевых потоков большого объема на Сахалине не отмечается [6, 8, 9].

ПУТИ РЕШЕНИЯ

В рассуждениях о возможном механизме активизации селевых процессов при флуктуациях сейсмического фона, мы исходим из того, что селевой комплекс может быть описан как триггерная геосистема [4–6, 8], в которой переход системы из неравновесной фазы в динамическую под воздей-

ствием внешних факторов обуславливается процессами, происходящими внутри самой системы.

С этой точки зрения, ведущую роль в селевом процессе играют физические процессы, происходящие в литологической компоненте комплекса (потенциальном селевом массиве), что позволяет выделить доминирующие группы факторов селеобразования: геологические, литологические и геоморфологические. Как метеорологические, так и сейсмические факторы селеобразования в большинстве случаев лишь включают триггерный механизм селевого процесса.

Решение. Механизм активизации селевых процессов (сдвигового и транспортно-сдвигового) при флуктуациях сейсмического фона может быть описан в рамках представлений о потенциальном селевом массиве как о диссипативной системе [10, 12], в которой происходит непрерывный процесс самоорганизации упорядоченных структур [4–6, 8, 23].

Обязательные условия включения триггерного механизма селеобразования: достижение потенциальным селевым массивом стадии самоорганизации пространственно-неоднородной структуры, а также степень его увлажнения.

Важным условием представляется возникновение упорядоченной структуры потенциального селевого массива, в которой выделяется система элементарных ячеек, представленных квазивер-

тикальными кластерами элементов минерального скелета (частиц крупно обломочного материала) и поровым пространством. Такую систему правомочно рассматривать как упорядоченную.

При этом потенциальный селевой массив правомерно рассматривать как систему, реагирующую на внешнее воздействие как единое целое [4–6].

Упорядоченностью системы обеспечивается ее устойчивость по отношению к внешнему воздействию и, соответственно, устойчивость потенциального селевого массива в селевом очаге.

Вместе с тем, такая система должна обладать своей частотой автоколебаний и при воздействии на резонансных частотах может разрушаться – даже при относительно слабом внешнем воздействии [3].

Второй важнейший фактор, определяющий устойчивость потенциального селевого массива к внешним воздействиям – увлажненность пород. Влияние увлажненности пород потенциального селевого массива на его устойчивость двойственно: повышение степени увлажненности рыхлообломочных пород, с одной стороны, приводит к уменьшению степени устойчивости массива на склоне, но с другой стороны, ведет к увеличению связности пород в массиве за счет увеличения сил сцепления между частицами вследствие возникновения водяной пленки на поверхности минеральных агрегатов [18].

Разрушение системы должно происходить при разрушении связей между ее элементами: обломками горных пород, формирующих потенциальный селевой массив.

При этом должно происходить высвобождение энергии связи между минеральными частицами потенциального селевого массива вследствие их разрушения и высвобождения связанной воды.

Мы полагаем, что разрушение связей между элементами системы возможно из-за возникновения резонансного усиления автоколебаний потенциального селевого массива при флуктуациях сейсмического фона территории [8].

Для определения условий, при которых возможно возникновение резонансных колебаний [15] в системе осцилляторов потенциальный селевой массив – подстилающая поверхность, необходимо определить вероятный спектр частот автоколебаний для потенциального селевого массива, испытывающего продольные и поперечные колебания с максимальными амплитудами.

По предварительным оценкам, в характерном для юго-восточного побережья о. Сахалина селевом бассейне, выполненном в толще алевролитов с уклонами днища 25° – 35° , спектры частот автоколебаний потенциального селевого массива могут принимать значения в диапазоне 0.05–2.0 Гц.

Приведенные значения характерны для потенциального селевого массива толщиной 50–100 см и площадью 2.5–3.5 тыс. м².

На одной из стадий этого процесса может происходить самоорганизация временной периодической структуры потенциального селевого массива, возникающей в результате нелинейных автоколебаний пласта.

Эта структура может быть представлена системой стоячих поперечных волн, узлы и пучности которых могут занимать в селевом очаге определенное положение, и системой продольных волн, распространяющихся в потенциальном селевом массиве как волна сжатия и приводящих к неравномерному распределению плотности вдоль массива. При этом дилатансия на участках перегибов тальвега селевого очага может приводить к разрушению связности потенциального селевого массива и способствовать его вовлечению в селевой процесс.

Частотный спектр автоколебаний потенциального селевого массива может лежать в интервале от 0.02 Гц до первых Гц и зависит как от размеров пласта в пределах селевого очага, так и от стадии самоорганизации пространственно-неоднородной структуры потенциального селевого массива (т.е. от ее типа) [4–6].

Резонансное усиление амплитуды автоколебаний потенциального селевого массива способно привести к его разрушению в зонах концентрации изгибных напряжений и, как следствие, к возникновению оползня-потока, трансформирующегося затем в селевой поток.

При землетрясении формируются два основных типа сейсмических волн – продольные и поперечные [20, 22]. Механизмы их воздействия на потенциальный селевой массив должны существенно отличаться.

1. Возбуждение в литосфере системы поперечных волн с частотами, близкими к частотам автоколебаний пласта и совпадающими по фазе, способно привести к возникновению резонанса в системе и разрушению пласта в пучностях его стоячей волны [3].

Прежде всего нас интересуют поверхностные волны (волны Лява, Рэлея), характеризующиеся медленным затуханием при удалении от источника и большими амплитудами [11, 22, 23].

Частотный спектр, формирующий наиболее интенсивную часть акселерограмм колебаний грунта, лежит в интересующем нас интервале: 0.28–7.8 Гц [11, 14, 20, 22] – в частности, на о. Сахалин [19].

Следует учесть также тот факт, что наименьшие коэффициенты затухания с расстоянием уровней спектральной плотности ускорений ко-

лебаний грунта лежат в инфрачастотной части спектра (менее 1 Гц) [11, 14, 19, 20, 22].

Помимо частоты колебаний интерес представляют такие характеристики сейсмических волн, как ускорение и максимальные амплитуды смещений. Эти характеристики должны в значительной степени определять реакцию потенциального селевого массива на внешнее воздействие: от релаксации напряжений в массиве и повышения его устойчивости до его разрушения.

В некоторых районах о. Сахалин возможно резонансное усиление колебаний сейсмических волн на частотах 2–3 Гц при больших расстояниях от источника [19]. Именно на этих частотах (1.0–2.0 Гц) должен испытывать автоколебания потенциальный селевой массив в период достижения им наименьшей устойчивости.

Необходимо отметить также, что в достаточно широком спектре частот сейсмических колебаний потенциальный селевой массив – резонатор способен отфильтровывать частоты, резонансные частотам собственных автоколебаний [3].

Таким образом, непреломные условия включения триггерного механизма селеобразования при сейсмических колебаниях являются следующие [3, 8]:

- формирование в селевом очаге потенциального селевого массива, обладающего внутренней связностью; в условиях Южного Сахалина возраст такого потенциального селевого массива должен быть не менее 1 года;
- достижение потенциальным селевым массивом определенной толщины (критической толщины); на Южном Сахалине значение критической толщины потенциального селевого массива составляет не менее 70 см.

2. Воздействие на потенциальный селевой массив продольных сейсмических волн можно представить в следующем виде: представляя потенциальный селевой массив как волновод, следует допустить возможность возникновения в нем продольной волны, приводящей к разрушению вертикальных элементов его текстуры. При этом потенциальный селевой массив играет роль плоского резонатора, способного привести к увеличению амплитуды колебаний до значений, приводящих к разрушению его текстуры.

С учетом эффекта усиления энергии сейсмического толчка за счет волноводных эффектов в потенциальном селевом массиве, можно допустить вероятность разрушения потенциального селевого массива обводнения и накопления вследствие дилатансии либо тиксотропных свойств мелкозема и при слабых сейсмических толчках.

Таким образом, резонансное усиление амплитуды автоколебаний потенциального селевого массива при возбуждении в литосфере попереч-

ных волн (волны Рэлея) с частотами, близкими к частотам автоколебаний потенциального селевого массива и совпадающими по фазе, способно привести к его разрушению в зонах концентрации изгибных напряжений – в пучностях стоячей волны.

Возбуждение продольных сейсмических волн (волны Лява) может привести к разрушению вертикальных элементов текстуры (кластеров) в потенциальном селевом массиве – волноводе и формированию селевого потока.

В случае недостаточного увлажнения потенциального селевого массива последний может стабилизироваться вследствие дилатансии, скорость которой в этом случае невелика, что приводит к релаксации напряжений в слое и не вызывает разрушения потенциального селевого массива в зонах концентрации напряжений на его границах. При этом система переходит в более устойчивое состояние. Вероятность формирования селея уменьшается.

Вопрос о минимальном значении магнитуды и максимальном расстоянии от очага землетрясения до селевого бассейна достаточно сложен. Необходимо учитывать эффект усиления амплитуды сейсмических колебаний среды за счет сейсмической жесткости пород и волноводных эффектов в толще, а также от критического угла подхода волны [19].

Предлагаемый механизм формирования сейсмогенных селей может приводить к формированию как грязевых, так и грязекаменных селей.

Механизм формирования сейсмогенных водоснежных потоков не должен принципиально отличаться от предложенного в настоящей работе [3, 7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проблема оценки минимальной энергии землетрясения, при которой возможна активизация селевых процессов требует серьезной разработки.

Сейчас можно говорить лишь о том, что землетрясения силой в 4–5 баллов могут привести к формированию водоснежных потоков (на о-ве Сахалин – в период с третьей декады марта до конца апреля) и к сходу вязких грязевых потоков в случае предшествующего увлажнения грунтов потенциального селевого массива до значений, близких к пределу их водоудерживающей способности. Наиболее опасные периоды на Сахалине – май–середина июня, август–середина октября.

В эти же периоды (при сходных состояниях потенциальных селевых массивов) возможна активизация мелких склоновых селевых потоков объемом 0.1–0.3 тыс. м³.

Рассматривая вопрос о возможности образования сейсмогенных селей, мы сталкиваемся с необходимостью ответить на вопрос о нижнем пределе значений сейсмических колебаний, способных вызвать формирование селей.

В свете вышеизложенного можно утверждать, что в случае появления в толще потенциального селевого массива переувлажненного слоя (слоев) сила сейсмических толчков в районе селевого бассейна может не превышать 1–2 баллов – при условии совпадения фаз сейсмической волны и автоколебаний потенциального селевого массива. При выполнении этого условия возможно разрушение пласта при раскачке его даже микросейсмками. Частоты некоторых микросейсм (0.15–0.25 Гц при ускорениях до 0.25 см/с² [19, 20, 22]) совпадают с вероятным диапазоном частот автоколебаний потенциальных селевых массивов некоторых типов.

Исходя из вышеизложенных представлений о механизме образования сейсмогенных селей, в районах низкогогорья можно выделить следующие взаимосвязи (главным образом, косвенного характера) между селевыми и сейсмическими процессами.

1. Активизация оползневых, осыпных и обвальных процессов в очагах твердого питания селей при землетрясениях приводит к увеличению скорости накопления рыхлообломочного материала в тех селевых очагах, в которых тип потенциальных селевых массивов (ПСМ) – ПСМ накопления. На Южном Сахалине землетрясения способны увеличить частоту селеобразования в тех селевых очагах, где реализуется эрозивно-сдвиговый селевой процесс. В результате объем селевых потоков возрастает за счет дополнительной подпитки потенциального селевого массива рыхлообломочным материалом. В этом случае селеобразование может начаться при выпадении дождей в последующий период. Землетрясения силой 5 баллов и более, происшедшие в период май–август, могут приводить к увеличению объемов селевых потоков в случае выпадения сильных осадков в период июль–сентябрь.

2. В случае переувлажнения материала потенциального селевого массива в период, предшествующий землетрясению, при сейсмических толчках вероятно селеобразование в тех селевых очагах, где доминирует сдвиговый селевой процесс (потенциальный селевой массив обводнения, уклон днища очага – более 30°). В том случае, если в период землетрясения в селевом бассейне сформировался паводковый поток вследствие выпадения осадков или бурного снеготаяния, объем и дальность выброса селя будут близки к предельным. При отсутствии паводкового потока в селевом русле объемы селей могут быть невелики (сотни м³), а по своим физико-механическим

характеристикам такие сели близки к оползням – потокам. Такие процессы могут происходить на всей территории о. Сахалина. Землетрясение силой более 5 баллов, происшедшее в период активного селеобразования, приведет к значительному увеличению параметров селевых потоков.

3. Необходимо отметить зависимость между устойчивостью потенциального селевого массива к сейсмическим воздействиям и его толщиной. Так, при толщине последнего более 100 см вероятность потери им устойчивости при внешнем воздействии (в том числе, землетрясении) резко возрастает.

4. Уклоны днища селевого очага во многом определяют степень устойчивости потенциального селевого массива: в силу очевидных зависимостей условий равновесия толщи рыхлообломочного материала от углов естественного откоса. При прочих равных условиях землетрясение силой более 6 баллов способно привести к обрушению рыхлообломочной толщи на склонах крутизной более 35°, но не способно привести к такому же результату в том случае, если уклоны не превышают 20°.

5. Структурно-реологический тип сейсмогенных селей – только связные сели.

6. В период весеннего снеготаяния землетрясение может инициировать формирование водоснежных потоков. Непременным условием для реализации таких событий является резкая оттепель (повышение температуры воздуха до +9° и выше).

7. Землетрясения силой в 4–5 баллов могут привести к формированию водоснежных потоков в период с третьей декады марта до конца апреля и к сходу вязких грязевых и грязекаменных селей в случае предшествующего увлажнения грунтов потенциальных селевых массивов до значений, близких к пределу их водоудерживающей способности. Наиболее опасные периоды на юге Сахалина: май–середина июня и август–середина октября. В эти же периоды (при сходных состояниях потенциальных селевых массивов) возможна активизация склоновых селевых потоков объемом 0.1–0.3 тыс. м³ и оползней-потоков.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ имеющихся материалов о случаях селеобразования на о. Сахалине за период с 1951 по 1996 гг. не позволяет с уверенностью сопоставить какой-либо период селеобразования с землетрясениями, происшедшими в тот же период.

Абсолютно достоверных случаев совпадения формирования селевых потоков с землетрясениями не отмечено. Причина заключается в том, что формирование селя является следствием сочетания целого ряда факторов, среди которых доми-

нирующую роль играют геологические, литологические и геоморфологические факторы, а сейсмические процессы играют подчиненную роль.

С большей долей вероятности можно связать с землетрясением лишь один случай массового схода селей – 10.09.78 г. в Макаровском районе (побережье залива Терпения).

В течение предыдущего месяца шли постоянные дожди, что привело к переувлажнению грунтов в потенциальных селевых массивах. Сумма осадков, выпавших 9.09.78 г., сравнительно невелика – 22.5 мм. 10.09.78 г. в 4 ч 40 мин по Гринвичу отмечено землетрясение с магнитудой 4.40 (координаты: широта 46.400, долгота 141.100).

Отмечен также случай массового формирования водоснежных потоков в Макаровском районе 11.04.1982 г. Землетрясение магнитудой 3.6 произошло на расстоянии от 80 до 110 км от района формирования водоснежных потоков. Рассчитанное значение силы землетрясения в районе их формирования составило 1–2 балла (без учета эффектов увеличения спектральной плотности ускорений за счет сейсмической жесткости подстилающих пород и самого снежного покрова). Температура воздуха резко повысилась до +7–+11 при выпадении жидких осадков (характерные условия формирования водоснежных потоков). Учитывая редкую повторяемость случаев массового формирования на Сахалине водоснежных потоков (раз в 7–10 лет), вероятность совпадения данных событий достаточно высока.

При сопоставлении дат землетрясений с датами схода селевых потоков в большинстве случаев приходится довольствоваться вероятностными оценками. Как указывалось выше, это связано с тем, что формирование селей чаще всего вызвано сочетанием целого ряда геофизических и метеорологических факторов, что в большинстве случаев не позволяет однозначно трактовать причину, вызвавшую сход селевого потока.

ВЫВОДЫ

В рамках вышеприведенных представлений связь селеобразования с сейсмичностью территории может носить следующий характер.

1. Поскольку для начала селевого процесса необходимо сочетание целого ряда условий (состояние потенциальных селевых массивов и т.д.), вероятность формирования селевых потоков при землетрясениях силой менее 7 баллов не превышает 10%.

2. При оценке опасности возникновения сейсмогенных селей необходимо учитывать, что большую опасность, с точки зрения причины их инициирования, представляют слабые и частые землетрясения силой 3–4 балла, приводящие к увеличению скорости формирования потенци-

альных селевых массивов накопления и способные перевести потенциальный селевой массив из неравновесной фазы в динамическую. Вероятность совпадения сильных землетрясений с периодом выпадения сильных осадков при неравновесном состоянии потенциальных селевых массивов (период максимальной интенсивности селевых процессов) невелика.

3. Наиболее вероятно формирование сейсмогенных селей в селевых очагах, в которых развиваются селевые процессы сдвигового и транспортно-сдвигового типа.

4. Устойчивость потенциального селевого массива к сейсмическим воздействиям зависит от его мощности. В первом приближении значение его критической толщины в низкогорье Южного Сахалина составляет 70–90 см.

5. Прогноз сейсмогенных селей тесно связан с краткосрочным прогнозом землетрясений. Поскольку задача такого прогноза не имеет удовлетворительного решения, задача прогноза сейсмогенных селей может быть сведена к определению периодов вероятной активизации селевых процессов и может быть решена путем регулярных наблюдений за динамикой характеристик потенциальных селевых массивов.

Автор выражает искреннюю благодарность доктору технических наук Г.П. Постоеву за ценные замечания к настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов Ю.Б.* Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 155 с.
2. Искусственная активизация оползней. М.: Недра, 1989. 134 с.
3. *Казakov Н.А.* О возможном механизме формирования сейсмогенных лавин // Матер. гляциологических исследований. 2000. Вып. 88. С. 102–106.
4. *Казakov Н.А.* Самоорганизация упорядоченных структур и возникновение солитонов при экзогенных природных процессах // Уч. Зап. Сахалинского Гос. Ун-та. 2000. Вып. 1. С. 116–125.
5. *Казakov Н.А.* Волновая динамика селей // Геоэкология. 2001. № 2. С. 158–164.
6. *Казakov Н.А.* Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Южно-Сахалинск: Изд. СахГУ, 2000. 36 с.
7. *Казakov Н.А.* Водоснежные потоки на о. Сахалин // Матер. гляциологических исследований. 2002. Вып. 92. С. 181–183.
8. *Казakov Н.А.* Динамика селевых процессов и сейсмичность территории (на примере о. Сахалин) // Матер. междунар. научн. симп. "Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеан-

- ской плиты”. Южно-Сахалинск: Изд. ИМГиГ ДВО РАН, 2002. С. 173–174.
9. Казаков Н.А., Минервин И.Г. Селевые процессы на о. Сахалин // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. 2000. Вып. 4. С. 35–38.
 10. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 229 с.
 11. Николаевский В.Н. Теория нелинейных волн и характеристики сейсмических сигналов // Нелинейные волновые процессы. М.: Мир, 1987. Вып. 42. С. 273–295.
 12. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
 13. Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР. М.: ВИНТИ, 1989. 148 с.
 14. Райс Дж. Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
 15. Рябинкин Л.А. Теория упругих волн. М.: Недра, 1987. 182 с.
 16. Селеопасные районы Советского Союза / Ред. С.М. Флейшман, В.Ф. Перов. М.: Изд-во МГУ, 1976. 308 с.
 17. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 312 с.
 18. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высш. шк., 1983. 288 с.
 19. Чернов Ю.К. Количественные оценки возможных сейсмических воздействий на северо-востоке о. Сахалин. (Репринт). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1991. 54 с.
 20. Шейдеггер А. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.
 21. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
 22. Эйби Дж. Землетрясения. М.: Недра, 1982. 264 с.
 23. Kazakov N., Minervin I. Mechanism of formation the debris - flow waves in coherent debrisflows generation by rain // Proc. of the Second Int. Conf. “Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment”, Taipei, Taiwan. Rotterdam: Balkema, 2000. С. 397–402.