

геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России».

Владивосток 2008 с. 179-181

5. Михалев М.В. Определение ущерба наносимого краткосрочными лавинными процессами // Молодежная научно-практическая конференция. – Владивосток: 2003.

Природный лавинный комплекс как триггерная геосистема

Н.А. Казаков

Сахалинский филиал Дальневосточного Геологического Института
Дальневосточного отделения РАН, г. Южно-Сахалинск

Введение

Лавинный процесс традиционно рассматривается как явление, определяемое гравитационными и гидрометеорологическими факторами. Однако анализ материалов полевых наблюдений позволяет утверждать, что лавинный процесс необходимо рассматривать как феномен, в котором ведущую роль играют физические процессы, происходящие внутри снежной толщи.

Постановка проблемы

Лавинный процесс можно рассматривать как процесс самоорганизации упорядоченных структур, который описывается как последовательность автономных стадий самоорганизации системы, благодаря чему система может перейти в одно из многих допустимых равновесных состояний. К формированию упорядоченной структуры снежной толщи и переходу ее в триггерное состояние приводят протекающие внутри нее физические процессы (эндогенные факторы) [2].

Финальным состоянием эволюционирующей физической системы «Снежная толща» является прекращение эволюции системы при переходе в статическую фазу (формирование конуса выноса), достигаемое через прохождение системы через состояние динамического хаоса, отображаемое в снежной лавине.

Пространственно-неоднородная структура снежного слоя образована вертикальными элементами его текстуры - кластерами ледяных кристаллов, достигших стадии конструктивного метаморфизма и системой пор в слое (рис. 1).

1

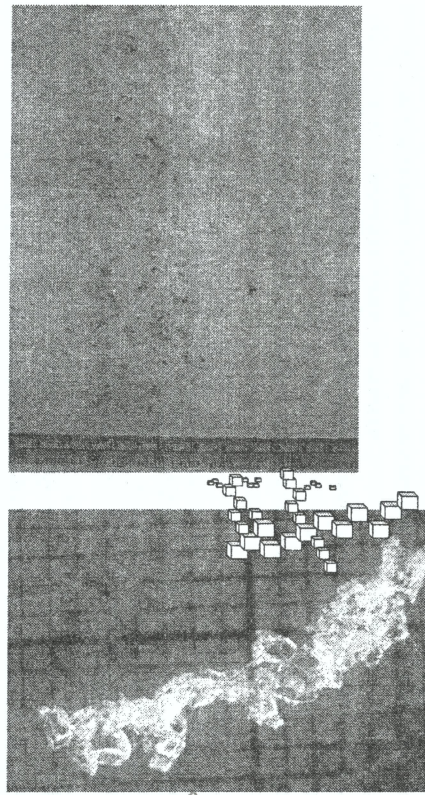


Рис.1. Пространственно-неоднородная упорядоченная структура снежного слоя, отображаемая в его текстуре (2); вертикальный элемент текстуры – кластер ледяных кристаллов (1).

При увеличении степеней неравномерности системы возникает последовательность бифуркаций, сопровождающаяся сменой диссипативных структур [3, 4]. Состояние системы в момент бифуркации является неустойчивым и слабое внешнее (экзогенное) воздействие может привести к выбору фазовой траектории, определяя вариант ее развития.

Для прогноза развития триггерной системы необходимо определить условия, при которых точки решения уравнений ответвляются от канонического решения при критическом значении управляющего параметра на основе положений теории бифуркаций.

Математически область существования структур иерархического ряда в лавинном комплексе и границы их устойчивости могут быть описаны методами теории катастроф [1]. Поскольку странные аттракторы содержат бесконечное множество неустойчивых циклов, появляются возможность либо стабилизировать эти циклы, либо создать новые, определив управляющие параметры системы и точки ее бифуркации.

Условия переключения триггера зависят от свойств системы и уровня флуктуаций внутри нее. Управление процессом смены структур может осуществляться в точках бифуркаций с помощью слабых внешних воздействий, влияющих на выбор пути развития системы.

Триггерное состояние системы обуславливается пространственно-

неоднородной структурой снежного слоя, отображаемой в его текстуре и образованной вертикальными элементами текстуры (кластерами ледяных кристаллов, достигшими стадии конструктивного метаморфизма) и системой пор.

Под воздействием экзогенных факторов (гидрометеорологических, сейсмических, антропогенных и т.п.) снежная толща переходит из неравновесной фазы в динамическую (лавина) или статическую (стабилизация снежного пласта).

Решение

Математически область существования структур в снежной толще в рамках теории катастроф можно описать как странный аттрактор [1,3], содержащий множество неустойчивых циклов, которые можно либо стабилизировать, либо изменить.

С увеличением степени неравновесности системы возникает последовательность бифуркаций, сопровождающаяся сменой ее структуры и текстуры. Состояние системы в момент бифуркации является неустойчивым и слабое внешнее воздействие приводит к изменению фазовой траектории.

Увеличение числа кластеров, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм, приводит к падению значений прочностных характеристик слоя и переводит систему в состояние, все более неустойчивое по отношению к воздействию экзогенных факторов.

Апостериорную вероятность $P_{(m,y)}$ вертикальной ориентировки кластера ледяных кристаллов в слое опишем, используя модификацию теоремы Т. Бейеса [2]:

$$P_{(\mu/y)} = k P_{(y/\mu)} P_{(\mu)} \quad (1),$$

где m - измеряемая величина; k - константа, получаемая из условий нормировки; y - число измерений; $P_{(m)}$ - априорная, $P_{(y/m)}$ - заданная вероятность.

Опишем поровое пространство снежного слоя, являющееся вторым количественным параметром состояния структуры слоя:

$$P = 1 - [(V_T - V_K)/V], \quad (2),$$

где $V_T = 0.917(N_1 + \dots + N_n)$ - суммарный объем скелета, V - общий объем слоя, V_K - объем полостей в кристаллах скелетного и полускелетного классов форм, N - число кристаллов n класса форм в слое.

Текстuru снежного слоя на стадии триггера количественно можно описать как:

$$Y = f(P_{(m/y)}, \Pi) \quad (3),$$

В реальном снежном покрове идеальный цикл метаморфических преобразований структуры ледяных кристаллов и текстуры слоя отличается достаточной вариабельностью (вследствие стохастичности внешних факторов). Совокупность вероятных состояний снежного слоя (фазовая траектория системы) в достаточной степени детерминирована и может описываться как аттрактор.

По мере совершенствования пространственно-неоднородной структуры снежной толщи в ходе её метаморфизма, увеличивается степень неустойчивости снежного пласта к внешнему воздействию. В роли управляющего параметра системы может выступать текстура слоя.

Именно от типа текстуры снежного слоя (слоев) зависит степень устойчивости снежной толщи к внешнему воздействию.

Так, результаты проводившихся полевых исследований линий отрыва лавин на о. Сахалине показывают, что лавиноопасный слой, по которому происходит обрушение снежного пласта, чаще всего имеет волокнистую либо столбчатую текстуру: даже в том случае, когда слой выполнен кристаллами гранного класса форм и имеет толщину 1-2 см.

Пространственно-неоднородная структура снежного слоя образована вертикальными элементами его текстуры - кластерами ледяных кристаллов, достигших стадии конструктивного метаморфизма и системой пор в слое. Увеличение числа кластеров, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм, приводит к падению значений прочностных характеристик слоя и переводит систему в состояние, всё более неустойчивое по отношению к воздействию экзогенных факторов.

Одним из путей решения может стать расчет количественных параметров текстуры снежного слоя, при которых она переходит в триггерное состояние и определить точки бифуркации системы, в которых внешнее воздействие может перевести систему в динамическую фазу, используя модификацию известного логистического уравнения [3]:

$$X_{n+1} = C X_n (1 - X_n) \quad (4),$$

где X_n - удельное число кластеров ледяных кристаллов полускелетного и скелетного классов форм в начальный период времени t_n ; X_{n+1} - удельное число кластеров ледяных кристаллов полускелетного и скелетного классов форм в период времени t_{n+1} ; C - коэффициент скорости увеличения числа кластеров (является управляющим параметром).

Рост числа кластеров описывается первым членом правой части уравнения - CX_n . Наблюдаемое в реальном снежном покрове уменьшение числа кластеров кристаллов полускелетного и скелетного классов форм (за счет вторичного роста кристаллов гранного класса форм, регрессивного метаморфизма и т.п.) определяется нелинейным членом - $(CX_n)^2$. Численность кластеров колеблется между двумя значениями.

При $C < 1$ снежный слой переходит в стабильное состояние. При $1 < C < 3$ численность кластеров приближается к постоянному значению $X_0 = 1 - 1/C$ (область стационарных решений).

Диапазон $3 < C < 3.57$ - область бифуркаций. Далее поведение системы становится хаотическим. При этом динамические переменные X_n принимают значения, зависящие от начальных условий.

Обсуждение результатов

Полевые наблюдения, проводившиеся нами в 1979 - 2009 г.г. в Хибинах, на Сахалине, в Забайкалье и на Западном Кавказе, показывают, что в слоях, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм (триггерное состояние слоя), $P_{(m,y)} = 0,7...0,9$, $P = 0,67...0,76$.

В слоях кристаллов гранного класса форм (устойчивое состояние), $P_{(m,y)} < 0,65$, при $P < 0,65$.

С увеличением значения Y в ходе метаморфизма снежного слоя увеличивается степень его неустойчивости к внешнему воздействию, что позволяет рассматривать текстуру снежного слоя в качестве управляющего параметра лавинного процесса.

При формировании в снежной толще слоев, сложенных ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм, сход лавин вызывается слабым внешним воздействием. Так, на о. Сахалине, в Хибинах и в Забайкалье нами отмечались случаи формирования лавин объемом до 10000 м³, внешней причиной которых служили слабые снегопады (5,0 - 10,0 мм осадков за сутки) либо выход человека на лавиноопасный склон.

Напротив, при отсутствии в таких слоях снежный пласт толщиной 70 - 180 см не вовлекался в лавинный процесс даже при выпадении 25,0 - 30,0 мм осадков за сутки.

Коэффициенты перекристаллизации снежной толщи в зонах отрыва лавин в разных ландшафтах о. Сахалин в период декабрь - апрель имеют значения 0,5 - 0,8. Таким образом, снежная толща, может пребывать в неустойчивом состоянии десятки суток. В этот период внешнее воздействие на снежную толщу приводит либо к формированию

лавины, либо к стабилизации снежного пласта вследствие его просадки (микропросадок) и сброса напряжений. Однако реальное время нахождения снежного пласта в триггерном состоянии постоянно изменяется в течение суток под влиянием как экзотенных, так и эндогенных факторов. Полевые наблюдения (Хибины - 1985 - 1988 г.г.; Сахалин - 1978 - 1985 г.г., 1989 - 2009 г.г.), показывают, что в слоях, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм (триггерное состояние слоя), значение $P_{(m,y)}$ составляет 0,7...0,9, $P = 0,67...0,76$. В слоях, выполненных кристаллами гранного класса форм (монокристаллическая текстура), $P_{(m,y)}$ не превышает 0,65, при P менее 0,65.

Заключение

Поскольку состояние системы в момент бифуркации является неустойчивым и слабое внешнее воздействие может привести к выбору фазовой траектории, изменение скорости и направления метаморфизма снежного слоя с помощью электромагнитных, термодинамических и др. физических полей, позволяет формировать текстуру снежного слоя с заданными параметрами и, создавая в лавиносборах локальные зоны устойчивости или неустойчивости снежной толщи, управлять динамикой лавинного процесса для защиты от лавин объектов и сооружений.

Литература

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. М., Наука, 1990. 127 с.
2. Казаков Н.А. Диссипативные структуры в лавинном комплексе: методологические основы прогнозирования катастрофических лавин. // II научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Доклады и выступления. М., УРСС, 2003. С. 200 - 210.
3. Berge P., Pomeau Y., Vidal C. L'Ordre Dans Le Chaos. Paris, 1988.
4. Haken H. Information and Self-Organisation A Macroscopic Approach to Complex Systems, Springer Ser. Sinergetics, Berlin, Heidelberg, 1983.