

УДК 004.312.42: 504.4

**ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРИГГЕРНЫХ МЕХАНИЗМОВ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАТАСТРОФ В ГЕОСИСТЕМАХ ЗЕМЛИ**

Воробьев Александр Егорович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтепромысловая геология, горного и нефтегазового дела», Российский университет дружбы народов (РУДН, РФ),

Кожогулов Камчибек Чонмурунович, д.т.н., профессор, член-корр. НАН КР, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (НАН КР),

Шамшиев Орунбай Шамшиевич, к.т.н., профессор, Кызыл-Кийский институт природопользования и геотехнологии пр. Мира 66, Бишкек, Кыргызстан, 720044 (КИПИГ, КР),

Воробьев Кирилл Александрович, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия, (РУДН, РФ)

Аннотация: Представлены триггерные механизмы возникновения катастроф в различных геосистемах Земли. Дано определение триггерному механизму инициирования изменений в геосистемах. Детализировано пороговое значение пускового (инициирующего) сигнала триггера. Представлено графическое изображение работы триггерной системы и объяснено ее функционирование. Раскрыты различные способы переключения триггерной системы. Детализированы принципы триггерного воздействия на тропосферу, нижнюю часть земной атмосферы, инициирования циклонов и землетрясения, а также схода снежных лавин и ледников.

Ключевые слова: катастрофы, триггер, воздействие, принципы, механизм, геосистемы, изменения

**IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF TRIGGER MECHANISMS
DISASTERS IN THE EARTH'S GEOSYSTEMS**

Vorobiev Alexander Egorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Oilfield Geology, Mining and Oil and Gas Business, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN, RF),

Kozhogulov Kamchibek Chonmurunovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member NAS KR, Institute of Geomechanics and Subsoil Development NAS KR (NAS KR),

Shamshiev Orunbai Shamshievich, Cand. those. Sci., Professor, Kyzyl-Kiy Institute of Nature Management and Geotechnology 66 Mira Ave., Bishkek, Kyrgyzstan, 720044 (KIPIG, KR),

Vorobiev Kirill Alexandrovich, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, (RUDN, RF)

Summary: The trigger origins of accidents in geosystems are presented. Definition is given to the trigger mechanism of initiation of changes in geosystems. The threshold value of the starting (initiating) trigger signal is detailed. The graphic representation of work of a trigger system is submitted and its functioning is explained. Various ways of switching of a trigger system are opened. The principles of trigger impact on the troposphere, the lower part of the terrestrial atmosphere, initiation of cyclones and an earthquake and also a descent of avalanches are detailed.

Введение. В настоящее время в различных геосферах Земли постоянно увеличивается количество и уровень природных и техногенных катастроф, зачастую приводящих к гибели значительного числа людей [5,6,13].

Так, самыми разрушительными по абсолютному количеству человеческих жертв являются стихийные атмосферные явления – циклоны, тайфуны, бури, шквалы, торнадо, смерчи и др. Только за последние 200 лет, от подобных атмосферных событий по всему миру погибло почти 2 млн. человек.

Кроме того, зачастую имеют катастрофический характер вулканические извержения [18]: ежегодно жертвами извержений вулканов в среднем во всем мире становятся около 1000 человек. А по данным ЮНЕСКО, в целом за последние 500 лет от вулканических извержений и их последствий в мире погибло свыше 200 тыс. человек.

Гибель людей приносят и волны, получившие в Японии название «цунами» и регулярно разрушавшие побережья океанических островов, известные человечеству еще до нашей эры. Так, в 365 году н.э. в расположенном на побережье Средиземного моря г. Александрии (Египет) волны погубили 5000 человек [10]. При взрыве вулкана Кракатау (расположенного в Зондском проливе между островами Ява и Суматра) в 1883 г. гигантская волна цунами смыла в море свыше 36 тыс. человек; в 1896 г. в Японии волны цунами высотой 15 м привели к смерти нескольких тысяч человек; в 1933 г. у побережья Санрику в Японии, где высота волн цунами достигала 24 м, погибли 3000 жителей. Европейская цивилизация познакомилась с такими катастрофическими волнами в 1755 г., когда сильнейшее землетрясение в Атлантике, у берегов Португалии, вызвало цунами, практически мгновенно погубившее свыше 50 тыс. человек в процветающем г. Лисабоне, что составляло около 25 % всего населения этого города [11]. 26 декабря 2004 г. сильное землетрясение в Индийском океане вызвало мощнейшее цунами, унесшее жизни 240 тыс. человек в 11 странах мира. На Байкале также имеются проявления цунами, получившее здесь местное название «сейши». Возможно, под влиянием землетрясений, на оз. Иссык-куль (Кыргызстан), где имеются определенные предпосылки (размер, глубина, рельеф дна и береговой линии и т.д.), также могут появиться аналоги цунами.

Еще одно природное катастрофическое явление, приносящее многочисленные разрушения и гибель многих людей, – это землетрясения: в среднем на Земле только за 1 год происходит свыше 20 сильнейших и 100–200 потенциально разрушительных землетрясений [18]. В последнее время, ежегодно в мире от землетрясений погибает в среднем 10–15 тыс. человек. Материальный ущерб при этом в среднегодовом расчёте исчисляется величиной 400 млн. долл. США.

В результате опасных оползневых проявлений в мире в 1970-е годы погибло около 600, в 1990-е – почти 1000, а в последнее десятилетие – более 9000 человек в год [4]. Больше всего таких жертв приходится на территории, расположенные на островах и по периметру Тихого океана (в том числе - на западном побережье Северной и Южной Америки, т.е. на склонах горных стем Кордильер и Анд). Так, суммарно только за исторический промежуток времени от проявлений оползневых процессов на Земле погибло свыше 89 тыс. человек [21].

К катастрофическим событиям относятся и сход снежных лавин и ледников. Еще тысячу триста лет назад буддийский монах Сюань Цзан, пересекая горные хребты Тянь-Шаня и Памира, потерял под снежными лавинами многих своих спутников [15]. Поэтому в своей книге „Записки о странах Запада“, оконченной в 648 г., он назвал лавины „снежными драконами“ гор. Еще одним примером может послужить события Первой мировой войны, произошедшие на австро-итальянском фронте в Альпах, где из-за интенсивного артиллерийского обстрела, всего лишь за 2-а дня (12 и 13 декабря 1916 г.) сошедшие снежные лавины унесли около 6 тыс. человеческих жизней [22].

Понятие триггер и его механизм действия. Эти и другие опасные явления,

происходящие в различных геосистемах Земли (вплоть до ее отдельных геосфер), обычно возникают под влиянием внешних факторов, обладающих определенными характеристиками и параметрами.

По результатам многочисленных экспериментальных и теоретических исследований было установлено, что существует так называемые «триггерные» механизмы возбуждения и контролируемого развития случайных (природных) или заранее заданных (техногенных, искусственных) процессов в той или иной геосистеме и даже геосфере в целом [7]. Этот триггерный механизм (англ. trigger спусковой крючок, курок) представляет собой проявление определенного рода пускового эффекта, обеспечивающего чрезвычайно быстрый и довольно облегченный переход какой-либо ранее организованной геосистемы из ее одного, ранее вполне стабильного функционального состояния, в принципиально другое, а уже далее, как правило, осуществляемое под воздействием внутренних лавинообразно разворачивающихся процессов.

Такое преобразование обычно начинается под влиянием на изменяемую геосистему внешнего сигнала (воздействия), количественная величина которого несколько превышает некоторый минимальный уровень (порог срабатывания) [7], т.е. для достижения заданного эффекта при воздействии внешним физическим фактором необходимо проявление его оптимальных энергетических параметров, с соответствующей синхронизацией этого воздействия на преобразуемую геосистему.

Для триггерного эффекта довольно типична следующая особенность: значение пускового сигнала напрямую не зависит от силы и размеров внутреннего кризиса геосистемы, а определяется прежде всего только величиной и уровнем воздействия на геосистему, лишь бы оно превышало определенное значение величины «порога срабатывания». А вот минимум достаточной величины вызывающего фактора прямо зависит от степени напряженности отношений внутри самой геосистемы. Чем она будет ближе к возможному порогу срабатывания изменений, тем может быть ниже величина вызывающего фактора [7]. Поэтому в тех случаях, когда имеющаяся степень напряженности геосистемы невелика, существенное влияние на начало и дальнейший ход срабатывания могут оказать тип, особенности и характер провоцирующего триггерного сигнала.

Этот весьма тонкий триггерный механизм обычно обусловлен тем, что целенаправленное внесение даже относительно небольшого значения энергии (независимо от ее типа), но в нужное время, в нужном месте, в нужной форме и с нужными характеристиками, может привести к весьма существенным изменениям сложившихся у геосистемы первоначальных свойств и параметров. На фазовой плоскости такой триггерной геосистеме соответствует 2-е или более устойчивых ситуаций, разделенных между собой явно выраженными сепаратрисами (рис. 1). При этом все особые точки и области (например, устойчивые и седло) находятся на пересечении главных изоклин – горизонтальных и вертикальных касательных [14]. Кроме того, общим свойством подобных триггерных механизмов является частое наличие в них положительной обратной связи, как правило, уводящей геосистему от ее первоначального состояния.

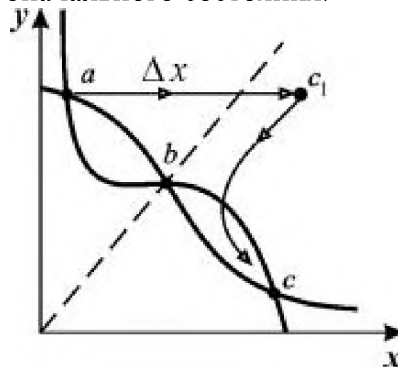


Рис. 1. Схема работы триггерной системы [14]:

a , c – устойчивые стационарные состояния; b – седло.

Жирными линиями представлены главные изоклины.

Пунктирной линией обозначена сепаратриса,

отделяющая области влияния 2-х устойчивых состояний a и c .

Стрелка показывает процесс силового переключения триггера

При этом, в первом случае математические уравнения геосистемы, как правило, остаются полностью неизменными [14], а траектории сходятся к так называемой «устойчивой точке» (одной или другой, в зависимости от изначального положения относительно сепаратрисы). Во втором случае в уравнении присутствуют определенные пороговые значения количественных параметров, при которых в геосистеме происходят некие бифуркации, с переходом через ее особое состояние, когда неустойчивая область и одна из устойчивых точек сливаются между собой, что-бы затем полностью исчезнуть, а геосистема при этом переходит в область с более равновесным (устойчивым) состоянием.

При чем, если начальное положение геосистемы приходится левее сепаратрисы, что является областью притяжения особой точки a и потому со временем геосистема стремится к этому устойчивому стационарному состоянию [14]. А для всех точек, лежащих правее сепаратрисы, геосистема будет двигаться к особой устойчивой точке c .

Существуют различные возможные искусственные способы переключения подобной геосистемы из режима a в режим c [14]:

1. **Силовое переключение.** В соответствии с ним изначальную ситуацию в геосистеме можно целенаправленно изменить, например, добавив определенное количество энергии x_1 , так что она «перепрыгнет» через сепаратрису в некоторую устойчивую точку c_1 .

2. **Параметрическое переключение,** когда непосредственному воздействию подвергаются уже не переменные величины, а непосредственно параметры самой геосистемы. Это может быть достигнуто разными способами (например, изменением скорости поступления энергии, температуры, давления, рН и др.).

В настоящее время существует несколько разновидностей триггеров, которые различаются между собой по виду входных и выходных сигналов, а также по способу управления состоянием преобразуемой геосистемы. При этом непосредственный тип триггера определяется выявленным алгоритмом его воздействия на геосистему и основными принципами работы.

Однако, многие физические принципы осуществления таких искусственных и контролируемых воздействий для разных геосистем, до конца еще не выяснены (хотя более или менее они понятны для атмосферы, ионосферы, магнитосферы и околоземного космического пространства).

В частности, триггерный механизм имеет особо важное значение для процессов, происходящих в атмосфере Земли [19]. Так, в последние годы был разработан радиооптический 3-х ступенчатый триггерный механизм солнечно-магнитосферного управления погодно-климатической ситуацией на планете (рис. 2).

Особенности воздействия триггеров на геосистемы. Первой геосистемой, подвергаемой триггерному механизму преобразований, оказываемого со стороны Солнца (табл. 1), является магнитосфера Земли, в которую попадают плазма солнечного ветра и переносимая им энергия.

В зависимости от темпа поступления энергии, были установлены 3 различных сценария реакции магнитосферы, как отклик на возникновение такой ситуации [12]:

1. Когда величина скорости поступления солнечной энергии меньше или равна значению скорости стационарной диссипации энергии внутри непосредственно магнитосферы, то она принципиально не изменяет своей первоначальной формы и значения, и в ней не наблюдается каких-либо существенных и принципиальных изменений, т.е. она остается практически невозмущенной.

2. В случае, когда величина скорости поступления солнечной энергии превышает значение скорости стационарной диссипации, то некоторая часть этой энергии уходит из магнитосферы по «квазистационарному» каналу, что приводит к восстановлению ее первоначального состояния (такая ситуация представляет собой определенный вариант срабатывания отрицательной обратной связи).

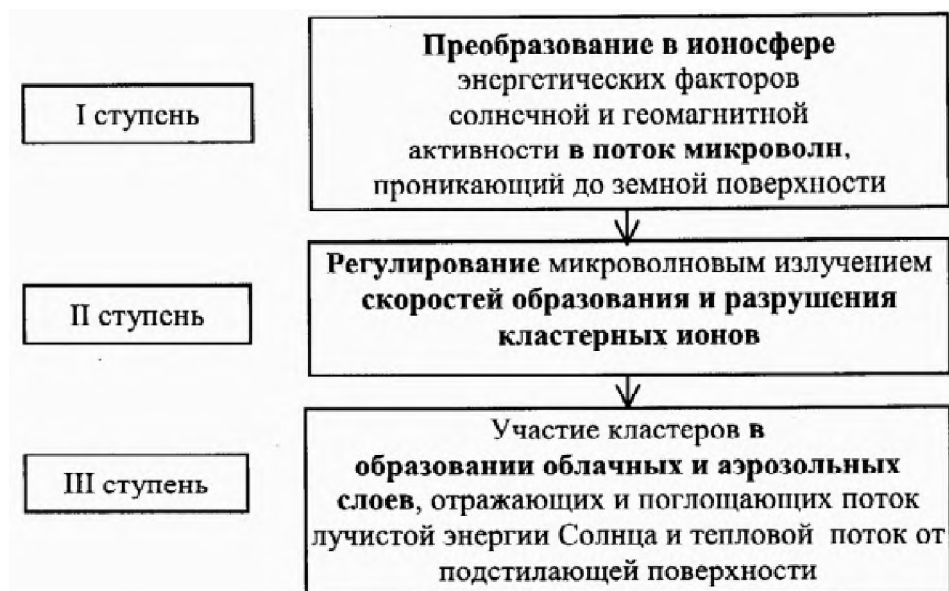


Рис. 2. Схема радиооптического 3-х ступенчатого триггерного механизма воздействия факторов солнечно-геомагнитной активности на тропосферные характеристики [1]

Роль подобного канала обычно выполняют магнитные суббури, происходящие с периодичностью около 3 ч. [12]: представляющие собой процессы высвобождения магнитной энергии, накопленной в магнитосфере, путем замыкания «хвостового» тока вдоль магнитных линий через ионосферу.

Наиболее ярким проявлением суббурь является полярное сияние, возникающее в результате бомбардировки нейтральных атомов земной атмосферы потоками солнечной плазмы «хвоста» магнитосферы, ускоренной вдоль магнитных силовых линий [12].

3. Когда величина скорости поступления солнечной энергии существенно превышает значение скорости стационарной и квазистационарной диссипации, то происходит глобальная перестройка всей токовой системы магнитосферы и ионосферы, сопровождаемая сильными возмущениями магнитного поля на Земле, что получило название «магнитная буря». Поэтому, в отличие от магнитных суббурь, при которых возмущения магнитного поля наблюдаются лишь в полярных областях, во время магнитных бурь магнитное поле Земли существенно изменяется даже в пределах низких широт (например, даже вблизи Экватора). В результате, при довольно сильных магнитных бурях полярные сияния могут спускаться от традиционных полярных областей на $20\text{--}30^\circ$ к Экватору и наблюдаться на низких широтах (как это происходило, например, 30 октября 2003 г.).

Физические факторы, зависящие от солнечной активности [12]

Процесс	Максимальное изменение в цикле солнечной активности	Продолжительность (в скобках – частота следования)
Излучение Солнца в оптическом диапазоне	Практически не изменяется	
Излучение Солнца в радиоволновом диапазоне	До 10^{-17} Вт*м ² для мощной вспышки	Часы или сутки для меньшей интенсивности (раз в 1 месяц)
Солнечные космические лучи	До сотен процентов (при мощной вспышке)	Около 1 часа (раз в 2-5 лет)
Геомагнитная активность	До 10^{-3} Гс (главная фаза большой бури)	Десятки часов (раз в 1 месяц)
Электромагнитное поле низкие частоты сверхнизкие частоты	До сотен микровольт на метр До десятков вольт на метр	Десятки часов (постоянно) Часы (постоянно)
Изменения электро-статического поля Земли	10-30%	11-летний цикл?
Вариации галактических космических лучей - при Форбуш эффекте - за 11-летний цикл	5% До 20%	Сутки (раз в 1 месяц)
Колебания концентрации радона в приземной атмосфере	В 5 раз (при больших бурях)	Сутки (раз в 1 месяц)
Инфразвуковые колебания (около 0.03 Гц)	До 10 дн*см ⁻² (при больших бурях на средних широтах)	Десятки часов (раз в 1 месяц)
Вариации УФ-излучения вблизи 290 нм	До 10%	11-летний цикл

Кроме того, при изменениях этой геосистемы необходимо учитывать и вклад вариаций солнечного потока, осуществляемого в виде ионизирующего излучения в крайнем ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне спектра [1], а также дополнительное влияние корпускулярных потоков, попадаемых из радиационных поясов.

Качественно-количественные изменения «солнечного ветра» обуславливают существенные изменения и значений атмосферного давления на поверхности Земли. Так, было установлено, что при вхождении Земли в усиленный поток солнечного ветра весьма заметно изменяется картина распределения приземного атмосферного давления [1], кроме того также довольно существенно растет определенная нестабильность тропосферы и одновременно изменяется величина интенсивности и даже направление циркуляции атмосферных воздушных потоков.

К тому же триггерный механизм влияет и на образование атмосферных циклонов. В этом случае здесь также наличествует положительная обратная связь. В частности, влияние атмосферной облачности обычно снижает значение солнечной радиации, проникающей к земной поверхности [20]. Таким образом, в этом случае триггер представляет собой своеобразный регулятор с положительной обратной связью, изменяющий сложившуюся атмосферную систему и уводящей ее от первоначального состояния. Необходимо отметить, что при наличии положительной обратной связи все взаимодействующие в геосистеме факторы, как правило, усиливают друг друга, и именно поэтому атмосферная система в состоянии саморазвиваться дальше. По такому сценарию (выделяющаяся при конденсации

взвешенной в атмосфере облачно-туманной влаги энергия способствует подъему масс воздуха на большую высоту, а, следовательно, помогает дальнейшей более интенсивной конденсации) формируются природные атмосферные циклоны.

Кроме этого, с помощью системного анализа был выявлен триггерный эффект влияния величины атмосферного давления на последующее возникновение в этих областях земной коры землетрясения (например, как было установлено в 2009 г. в Италии) [3]. Так, в частности, еще за трое суток до возникновения землетрясения наблюдались повышенные барические нагрузки над территорией Северной Европы (рис. 3) и пониженные барические нагрузки над Апеннинским полуостровом, с последующей их реверсной сменой.

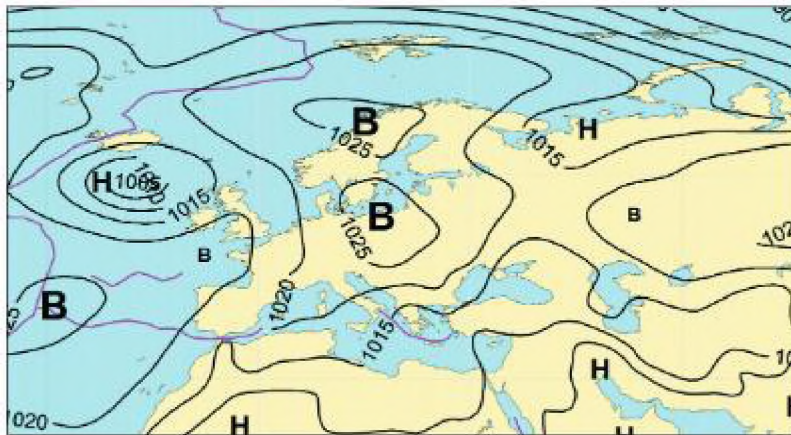


Рис. 3. Барические поля 6 апреля 2009 г. над Европой [3]

А в последующие трое суток синоптическая обстановка сменилась таким образом, что в районе Италии образовалась зона повышенного атмосферного давления, и это обеспечило здесь довольно быстрое увеличение нагрузок (рис. 4) на земную кору, с последующей деформацией отдельных геоблоков и возникновением спровоцированных «атмосферных» землетрясений (рис. 5) [3].

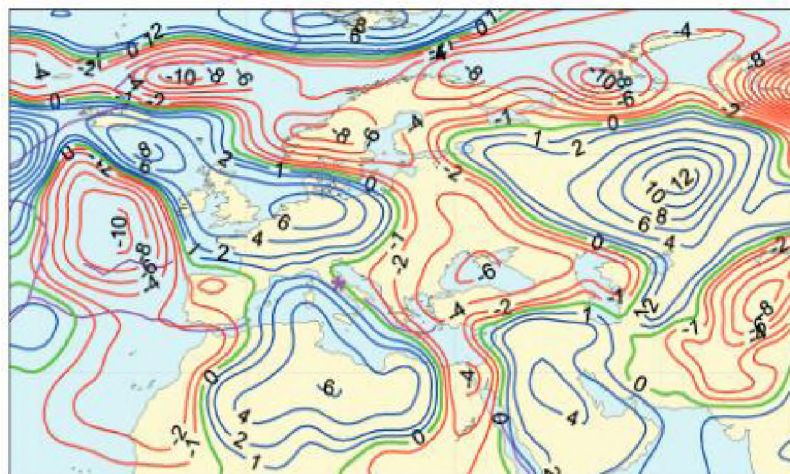


Рис. 4. Рассчитанное поле барических нагрузок на 6 апреля 2009 г. в Италии [3]



Рис. 5. Местоположение эпицентра землетрясения [3]
(6 апреля 2009 г., $M = 6,3$)

Кроме того, в настоящее время выявлены некоторые, пока еще разрозненные, качественно-количественные сведения о возможном триггерном возбуждении (провоцировании) сильными землетрясениями вулканического извержения, которое также может целенаправленно искусственно инициироваться подземными ядерными взрывами и другими источниками активных геовоздействий [7].

Дополнительно было установлено, что, в частности, динамика приливных сил (тангенциальных ускорений) от гравитационного воздействия Луны на Землю определяет периодическое изменение (направления и величины) гидростатического давления на магму (находящейся под земной корой) и содержащиеся в ней газы и, следовательно, способна выполнять специфическую функцию триггера в процессах провоцирования вулканических извержений [18].

В соответствии со сложившимися физико-механическими представлениями был выявлен механизм триггерного воздействия на возникновение оползней [2]: обусловленное потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации (например, взрывов, работы мощной техники и т.д.). Известен и другой, дополнительный, механизм проявления триггерного эффекта при образовании катастрофических оползней, в котором основной причиной возникновения этого процесса является разжижение (как геомассы будущего оползня, так и подстилающих грунтов и пород) дождевыми осадками.

Представление о лавинах, как о сложных триггерных геосистемах, в которых были установлены природные процессы самоорганизации – упорядочения снежных структур, позволяет утверждать, что ведущую роль при их сходе играют физические процессы, происходящие непосредственно внутри самой снежной толщ. Это положение дает возможность выделить доминирующие группы факторов лавинообразования [8]: геологические, геоморфологические, литологические (снежная толща и процессы её диагенеза), гидрометеорологические и техногенные.

Первая группа факторов – геологические, заключающиеся в формировании необходимых условий для лавиносборов такими геологическими процессами, как денудация и эрозия.

Вторая группа факторов – геоморфологические, согласно которым форма рельефа местности, а также характер и глубина его расчленения служат главной основой для определения основных параметров уклонов лавиносборов и, соответственно, установления значений скорости движения и динамических характеристик снежных лавин: в частности, максимальной дальности их выброса.

В частности, морфология лавиносборов оказывает довольно важное влияние на строение конусов выноса снежных лавин. Например, в некоторых горных системах лавиносборы характеризуются весьма глубоко врезанными лавинными лотками [8]. В результате этого, в зоне аккумуляции лавинный поток не расплывается и конусы выноса снежных лавин (даже малых объёмов) имеют значительную мощность. А при других условиях лавиносборов конус выноса снежной лавины (при объёме 100-150 м³) может достигать мощности только до 3,0 м.

Третья группа факторов – литологические. Так, характеристики снежного покрова в лавиносборах и особенности его эволюции определяют последующие характеристики и параметры динамики лавинных процессов и их своеобразный режим. В свою очередь, физико-механические свойства снежного покрова и значение скорости его эволюции позволяет качественно-количественно оценить значение интенсивности лавинных процессов. В ходе осуществления лабораторных и полевых экспериментов было установлено, что сход лавин (при прочих равных условиях) тем более вероятен, чем выше значения приведённых в табл. 2 количественных коэффициентов [8]. Так, при увеличении средних значений K_T до 0,44, K_{II} – до 0,69, а K_{BP} – до 0,68 происходит массовый сход снежных лавин.

Таблица 2

Количественные критерии выделения литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова [8]

Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи Coefficient of snow pack secondary stratification	Степень преобразования структуры снежной толщи Degree of snow pack structure (microstructure) transformation	Коэффициент текстуры снежной толщи Coefficient of snow pack texture (structure)	Степень преобразования текстуры снежной толщи Degree of snow pack texture (structure) transformation
> 0,5	Сильно перекристаллизованная Highly recrystallized	> 0,3	Сильно разрыхленная Highly loosened
> 0,3 - ≤ 0,5	Умеренно перекристаллизованная Moderately recrystallized	> 0,2 - ≤ 0,3	Умеренно разрыхленная Moderately loosened
> 0,1 - ≤ 0,3	Средне перекристаллизованная Medium recrystallized	> 0,1 - ≤ 0,2	Средне разрыхленная Medium loosened
≤ 0,1	Слабо перекристаллизованная Weakly recrystallized	≤ 0,1	Слабо разрыхленная Weakly loosened

Четвертая группа факторов – гидрометеорологические – являются иницирующими факторами (как и техногенная группа), включающими триггерный механизм провоцирования

начала лавинного процесса, а также определяющими тот или иной характер осуществления лавинного режима.

Среди этой группы факторов на степень лавинной опасности наибольшее влияние оказывает следующее [16]:

1. **Температура воздуха.** Так, холодное начало зимнего периода времени, когда снег ложится на промерзшую землю, не приводит к образованию температурных перепадов в толще снега и не нарушает сил сцепления между слоями снега. В этом случае лавинная опасность небольшая. Если же снег выпадает на неостывшую землю, а затем снег будет идти в морозную погоду, то в его толще (ввиду имеющегося перепада температур) образуются горизонты разрыхления, ослабляющие общую прочность снежного покрова, и лавинная опасность станет большой. Также образованию лавин способствует как повышение, так и понижение температуры воздуха. При чем, если повышение температуры воздуха держится несколько дней, то лавинная опасность резко увеличивается.

2. **Количество атмосферных осадков.** Например, чем больше выпало снега, тем выше будет лавинная опасность.

3. **Рельеф местности:** чем круче склон, тем более вероятен сход с него снежных лавин. Лавины могут падать со склонов, крутизна которых приближается к вертикали или скользить по склонам крутизной в $12-14^{\circ}$.

4. **Ветер,** который часто бывает «архитектором», возводящим внушительные карнизы, выделяющиеся иногда на 10–15 м от гребня горы. В момент снижения прочности такого карниза, он ломается и, падая на лавиноопасный склон, играет роль спускового крючка, освобождающего громадную энергию лавины.

Таким образом, температура воздуха, вид снега, интенсивность его выпадения, температура почвы, высота над уровнем моря, характер ветра, характер рельефа являются важнейшими триггерными факторами [16], влияющими на степень лавинной опасности.

Лавинная опасность развивается при нарушении динамического равновесия сил сцепления частиц снега друг с другом и с поверхностью, на которой они находятся, с одной стороны, и составляющей силы тяжести, сталкивающей снег со склона, с другой. Если силы сцепления больше сил, заставляющих снег скользить вниз, то снег недвижим. При их равенстве равновесие крайне неустойчиво и достаточно минимального толчка, ослабляющего силу сцепления, чтобы сошла снежная лавина [16]. Этим толчком может быть и теплый ветер, упавший камень, обломившийся снежный карниз, человек или животное, ступившее на лавиноопасный склон, перегрузка склона падающим снегом, громкий звук, выстрел и т.д.

В том случае, когда лавиноопасный слой расположен в нижней части снежной толщи, то наиболее вероятен сход снежных лавин максимальных объёмов (которые могут сходиться как во время снегопадов и метелей, так и в периоды снеготаяния) [8]. А в том случае, когда лавиноопасный слой расположен в средней или верхней части снежной толщи, то обычно сходят снежные лавины гораздо меньших объёмов снега.

Триггерному механизму подвержены подвижки и сход горных ледников. В настоящее время выделяется 3 основные триггерные причины схода ледников [9]: сейсмическая, вулканическая и метеорологическая.

Согласно первой причине (Л.А. Варданянц, В.Д. Панов и др.) катастрофа схода ледника Колка, произошедшая 20 сентября 2002 г. в ущелье р. Геналдон (республика Северная Осетия, РФ), была обусловлена подземными толчками, которые способствовали уменьшению трения на ложе висячих ледников и возбуждению движения льда вниз по горному склону.

Вулканическая версия (В.Р. Болов, А.П. Полквой и др.) возникла по причине того, что после схода ледника Колка на территории ощущался сильный сероводородный запах. Также на склоне г. Джимарай-Хох на аэрофотоснимках были обнаружены предположительно 2-е фумаролы, появившиеся практически сразу после этого происшествия. Вулканические газы могли создать отепляющее воздействие на ложе ледников.

Согласно этой версии считается, что под слоем льда Колки довольно долгое время накапливались вулканические газы, идущие из-под склонов Казбека, который хоть и является потухшим вулканом, но под ним еще достаточно тепла, чтобы создавать выбросы магматических газов, а когда их давление стало критическим, произошел взрыв [9]. Этот взрыв вызвал обвал всячего ледника на склонах г. Джимара (4780 м), в результате огромные массы льда рухнули на ледник Колку, тем самым обеспечив его сход с ложа.

К тому же этот ледник Колка уже находился в неустойчивом положении – довольно существенно подтаяло его ложе [9]. В результате чего большая часть фирново-ледового тела ледника Колки соскользнула со своего ложа и, захватив за собой часть ледника Майли, двинулась вниз по ущелью в долину, со скоростью около 200 км/ч, захватывая за собой камни и грязевые массы.

Согласно метеорологической гипотезе на леднике Колка [13], в течение предыдущих годов выпадало довольно много атмосферных осадков в твердом виде, а лето 2002 г. было относительно холодным и влажным, что обусловило высокий положительный ледниковый баланс. Соответственно, произошло накопление экстремальной массы висячих ледников, излишки льда которой создали предпосылки для срыва нижележащего крупного ледяного массива.

Кроме этого высказывались гипотеза [17] о том, ледник Колка является пульсирующим, а произошедшая катастрофа была просто очередной его подвижкой. Такое предположение было обусловлено тем, что подобное явление было и раньше. Так, в июле 1902 г. в результате схода ледника Колка погибло 36 человек и около 1800 голов скота. Одновременно был завален курорт Кармадон, а также разрушено много жилых построек.

Заключение. Рассмотренные аспекты проявлений возможных изменений геосистем позволяют сделать вполне обоснованный вывод, что, с точки зрения дальнейшего развития возможности целенаправленного влияния на различные геосистемы, наиболее важной задачей является изучение проявления и контролируемого развития имеющихся триггерных механизмов [7]. Именно сочетание целенаправленного активного воздействия и последующего контролируемого проявления триггерного эффекта, связанного либо с выделением ранее накопленного собственного запаса энергии природной среды (например, как при осаждении влаги из перегретого пара), либо с существенным изменением ее первоначальных свойств, форм (например, образование ионного газа, плазмы и т.д.) и характеристик, способствует наискорейшему и наибольшему изменению исходного состояния отдельной геосистемы и геосферы в целом.

При этом, особенно актуальны дальнейшие направления таких исследований, которые позволяют приблизиться к возможности целенаправленного управления или частичного контроля динамики геосистемы, обеспечивающим (благодаря лучшему пониманию) взаимосвязи различных факторов.

Литература

1. Авакян С.В. Проблемы климата как задача солнечно-земной физики // Солнечно-земная физика N 21 (134). 2012. С. 18-27.
2. Адушкин В.В. Триггерные эффекты при образовании оползней // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы Всероссийского семинар-совещания / Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. – М.: ГЕОС. 2010. С. 33-41.
3. Боков В.Н. Триггерный эффект пространственно-временной изменчивости атмосферной циркуляции в возникновении землетрясений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.30 — метеорология, климатология и агрометеорология. Санкт-Петербург. 2008.

4. Виды и причины потерь от склоновых процессов // <https://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/opasnye-sklonovye-processy-i-ih-socialno-ehkonomicheskie-posledstviya-chast-1-ssha-i-kanada-41681.shtml>.
5. Воробьев А.Е., Пучков Л.А. Человек и биосфера: глобальное изменение климата. Ч. I. – М.: Изд-во РУДН. 2006. – 442 с.
6. Воробьев А.Е., Пучков Л.А. Человек и биосфера: глобальное изменение климата. Ч. II. – М.: Изд-во РУДН. 2006. – 468 с.
7. Драбенко В. Миф и реальность климатического оружия // Частный корреспондент. 12 октября 2010 г.
8. Казаков Н.А., Жируев С.П., Древил М.С. Лавинные геосистемы острова Сахалин и Курильских островов // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т.1. Вып. 3. С. 328-380.
9. Кармадонская трагедия // <https://orfelius.livejournal.com/101341.html>.
10. Короновский Н. Волна, несущая смерть // Наука и жизнь N 3. 2005.
11. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. М., Янус-К. 2005. 358 с.
12. Муртазов А.К. Космические воздействия на геосистемы. – Рязань: 2014. – 270 с.
13. Пучков Л.А., Воробьев А.Е. Человек и биосфера: вхождение в техносферу. – М.: МГГУ, 2000. – 342 с.
14. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. 184 с.
15. Самые масштабные лавины в истории // <https://www.ski.ru/az/blogs/post/samyemasshtabnye-laviny-v-istorii>.
16. Северный Тянь-Шань. Лавины // <http://tianshan.alnaz.ru/lavina.html>.
17. Сход ледника Колка // https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%85%D0%BE%D0%B4_%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%B0.
18. Фёдоров В.М. Вращение Земли и особенности широтного распределения вулканической и сейсмической активности // Жизнь Земли N 3. 2019. С. 250-263.
19. Физическая энциклопедия. Том 4. М., «Большая Российская энциклопедия», 1994. – С. 585.
20. Черемисинов А.Ю., Черемисинов А.А. Энергия и вода в агроландшафтах // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию факультета землеустройства и кадастров ВГАУ: Актуальные проблемы природообустройства, кадастра и землепользования. Воронеж. Издательство: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2016. С. 170-175.
21. Шустер Р.Л., Хайленд Л.М. Социально-экономические и экологические последствия склоновых процессов в Западном полушарии // Доклад на 3-м Панамериканском симпозиуме по оползням. Колумбия. 2001.
22. Экологическое оружие // <https://arsenal-info.ru/b/book/3813545963/5>.