

5. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ. - 2010.

6. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск. – Пенза: Изд-во ПГУАиС. - 2003. 155 с.

7. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / А.Н. Адаменко, А.Т. Ашеро́в, И.Л. Бердников и др.; Под общ.ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение. - 1993. 528 с.

8. Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат. - 2001.

9. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа. - 2003.

10. Бочкало Б.И., Золотых В.И. Метод учета влияния «личностного фактора» человека-оператора на безопасность управляемой им эргатической системы. // Вестник АВН. – 2018. – № 3(64). – С. 96-103.

### Сведения об авторе

**Гаенко Василий Петрович** – главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра безопасности технических систем 12 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации (НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России), профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации. 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 39. Факс: (812) 303-0559, телефон: +7 911 946-6402, e-mail: gaen@mail.ru

УДК 351.861

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-03-5

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ, ВЫЗВАННЫХ ОСАДКАМИ И СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

**Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук Ю.В. Подрезов**  
**ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)**  
**Московский физико-технический институт**

*Выполнен анализ физических особенностей формирования селевых потоков (на примере территории Российской Федерации), вызванных осадками и современные способы борьбы с ними. Предложены современные способ, система и технология предупреждения ливневых и продолжительных осадков на базе электрофизических методов коррекции погодных условий для предотвращения схода селевых потоков, вызываемых указанными видами осадков.*

**Ключевые слова:** дождь, класс пожарной опасности погодных условий, ливневые осадки, мониторинг погоды, селевой поток, сель, чрезвычайная ситуация.

## PHYSICAL FEATURES OF MUDFLOW FORMATION CAUSED BY PRECIPITATION AND MODERN METHODS OF DEALING WITH THEM

**Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) J.V. Podrezov**  
**FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia**  
**Moscow Institute of physics and technology (state University)**

*The article analyzes the physical features of the formation of mudflows (on the example of the territory of the Russian Federation) caused by precipitation and modern methods of dealing with them. A modern method, method, system and technology for the prevention of heavy and prolonged precipitation on the basis of electrophysical methods for correcting weather conditions to prevent the descent of mudflows caused by the indicated precipitation ideas are proposed.*

**Keywords:** rain, fire hazard class of weather conditions, heavy precipitation, weather monitoring, mudflow, mudslide, emergency.

В основе физических особенностей формирования селевых потоков следует рассматривать, прежде всего, причины образования селей [1-4].

Результаты многолетних исследований, проведенных учеными разных стран мира, свидетельствуют, что в качестве основных непосредственных причин появления селей следует выделить:

ливни,  
интенсивное таяние снега и льда,  
прорыв водоемов [1].

Причинами селей могут являться землетрясения и извержения вулканов, но несколько реже.

Что же понимается под селом?

Сели, как правило, внезапно возникают в бассейнах небольших горных рек и являются стремительными русловыми потоками, представляющими собой смесь воды и обломков горных пород. Для селей, при этом, характерны и резкий подъем уровня воды, и волновое движение, и кратковременность действия (в среднем от одного до трех часов), а также значительный эрозионно-аккумулятивный разрушительный эффект.

Весьма важной физической особенностью сели является то, что он часто движется не непрерывно, а отдельными валами, иначе говоря, наблюдается волновое движение: сели то, почти останавливаются, то, опять ускоряет свое движение, этим он и отличается от потока воды. При сужении русла, на крутых поворотах и в местах резкого уменьшения уклона нередко наблюдаются задержки селевой массы.

Итак, результаты многолетних наблюдений за селями показывают, что основной причиной селей по всей территории нашей страны и большинства зарубежных стран являются затяжные и ливневые дождевые осадки. При этом основным условием возникновения селей является норма дождевых осадков, способная вызвать смыв продуктов разрушения горных пород и вовлечение их в движение. Таким образом, самым массовым на Земле типом селей господствующим в горах экваториального, тропического и умеренного климатических поясов являются сели, вызванные продолжительными и ливневыми дождевыми осадками. При этом зарождение селей связано с размывом склонов и русел, а также с оползнями.

В качестве примера рассмотрим Кавказ. Здесь причины возникновения селей распределяются следующим образом: продолжительные дожди и ливни - 85%, таяние вечных

снегов - 6%, сброс талых вод из мореных озер - 5%, прорывы завальных озер - 4%. Как видим основная причина селей - продолжительные дожди и ливни.

Селевые потоки по составу переносимого твердого материала различают следующим образом:

грязевые потоки - смесь воды и мелкозема при небольшой концентрации камней (объемный вес потока 1,5 – 2,0 т/м<sup>3</sup>),

грязе-каменные потоки - смесь воды, мелкозема, гальки, гравия, небольших камней; попадают и крупные камни, но их немного, они то выпадают из потока, то вновь начинают двигаться вместе с ним (объемный вес потока 2,1 – 2,5 т/м<sup>3</sup>),

водо-каменные потоки - смесь воды с преимущественно крупными камнями, в том числе с валунами и со скальными обломками (объемный вес потока 1,1 – 1,5 т/м<sup>3</sup>).

Территориально по России сели распространены неоднородно.

Так в Горном Крыму селевые процессы наблюдаются главным образом в бассейнах юго-восточной части южнобережного склона Главной гряды (реки Ворон, Ай-Серез), а также в многочисленных балках юго-западной части и бассейнов рек северного склона (реки Альмак, Бельбек, Кача и др.).

Селевые процессы в Северном Прибайкалье развиты в пределах Станового нагорья. Также высока селевая активность в отдельных районах Камчатки (например, Ключевская группа вулканов), а также в некоторых горных бассейнах Верхоянского хребта.

Кроме указанных районов, селевые явления характерны для горных районов Кавказа, Приморья, острова Сахалин и Курильских островов, Урала (особенно Северного и Приполярного), Кольского полуострова (в Хибинах и в районах Ловозерских тундр), а также Крайнего Севера и Северо – Востока Российской Федерации.

Рассмотрим какие виды осадков могут являться причиной образования селей.

Атмосферные осадки - это самое распространенное явление в земной природе. Осадки, в зависимости от температуры окружающего воздуха могут быть:

жидкими,

твёрдыми,

жидкими и твёрдыми одновременно.

И дождь, и снег могут быть обложными (продолжительными) и ливневыми. В чём же разница?

Непрекращающийся дождь (а, зимой снег) может идти до нескольких дней. Это и есть продолжительные или обложные осадки. В них дождинки и снежинки имеют небольшие размеры и выпадают из слоисто-дождевых облаков (Nimbostratus), а зимой ещё из высокослоистых (Altostratus). Такие осадки обусловлены прохождением атмосферных фронтов (чаще тёплых).

Большая суммарная масса дождевой влаги может напитать влагой горные породы и привести к сходу селей.

Летом, в жару могут неожиданно набежать облака и начаться сильный ливень, который длится от нескольких десятков минут до полутора часов. Продолжительность ливня редко превышает 3 часа. Такие осадки выпадают из кучево-дождевых облаков (Cumulonimbus). Эти облака могут быть связаны с холодным фронтом (намного реже с тёплым), либо возникать из-за сильного прогрева земной поверхности. Конечно, ливневые осадки крупнее обложных и они неожиданно начинаются и неожиданно заканчиваются.

Нередко ливневые и обложные осадки выпадают вместе, или сразу же друг после друга. Их не всегда удаётся отличить по облачности. В этом случае необходимо обращать внимание на их интенсивность. Следует иметь ввиду, что обложные осадки, как правило, выпадают равномерно, а ливневые - могут меняться от слабых до сильных (и наоборот) в течение одной минуты.

Ливневые осадки наиболее часто провоцируют селевые потоки.

Важное место в определении поведения селя играет прогнозирование его динамики и последствий. При прогнозировании необходимо понимать, что селевой поток представляет собой стохастический глобальный многофакторный процесс с числом значащих переменных более ста. Поэтому его прогнозирование на основе классических аналитических зависимостей весьма затруднено. Следовательно, для реализации достоверных прогнозов поведения селя на различных интервалах упреждения прогнозирование чаще должно основываться на статистическом и вероятностном моделировании. Нередко целесообразным является создание трендовых зависимостей - трендовых математических моделей для отдельных селеопасных районов, построенных по многолетним статистическим данным схода селей. Подобные наблюдения ведутся в нашей стране различными подразделениями Росгидромета. Построение трендовых зависимостей требует достоверной выборки событий - сходов селей. При этом, для каждого района схода селей требуется выборка из не менее десяти событий, чтобы она была достоверной. Вероятностное моделирование базируется на несколько иных математических методах - методах теории вероятностей - и представляет собой построение вероятностных моделей, которые позволяют на основе набора соответствующих исходных данных прогнозировать вероятности схода селей, что важно как для оценки вероятности возникновения и динамики селей, так и для оценки их последствий.

К настоящему времени предпринималось много попыток ученых различных стран мира по прогнозированию динамики селей, прежде всего, по разработке соответствующих моделей, лежащих в основе выработки прогнозов. Однако уровень достоверности таких моделей на настоящее время не высок - как в силу быстротечности процессов, так и в силу неопределенности всех участвующих в формировании и развитии селя факторов.

Прогнозирование последствий селевых процессов представляет собой также весьма сложную научную проблему, что объясняется отличиями в физике процессов в различных регионах страны, иначе говоря, это и различие географических (прежде всего, рельефа местности в селеопасных районах), климатических и погодных условий и т.п.

Действительно, необходимо отметить, что наличие неопределенностей, сопровождающих прогнозируемый процесс: как в прошлом, так и в настоящем и в будущем, порождает сложную проблему прогнозирования и делает ее весьма крупной и трудоемкой научной проблемой. Как правило, неопределенности, особенно касающиеся будущего состояния процесса, устранить полностью не удастся. Поэтому задача прогнозирования на различные интервалы упреждения - максимальное уменьшение влияния неопределенностей на результаты принятых в настоящее время решений.

Следует заметить, что существенную роль в теории прогнозирования занимает понятийный аппарат. Именно он позволяет адекватно исследовать объекты прогнозирования и на основе этого осуществлять моделирование этих объектов и готовить прогнозы. К настоящему времени существует множество определений, терминов и понятий в проблематике прогнозирования, которые не имеют однозначно признанной трактовки.

Несмотря на различные подходы ученых к различным определениям, терминам, а также и понятиям в последние годы в работах российских прогнозистов следует отметить по понятийному аппарату достаточно определенное сближение подходов. Результаты оценки работ в области прогностики, выполненных в последние годы, позволили закрепить ряд формулировок основополагающих понятий прогностики.

По масштабам прогнозирования, то есть по величине интервала упреждения следует выделять прогнозы трансграничного, федерального, регионального, территориального, муниципального и локального уровней.

Прогнозирование занимает важное, но не единственное место в изучении селей. Безусловно, поведение и динамика селя нередко определяют и его последствия, которые могут быть самыми разнообразными. Как свидетельствует анализ последствий схода селе-

вых потоков, наиболее масштабны, и непредсказуемы последствия селей вызываемых сильными осадками. Это определяется, прежде всего, сложностью предсказания и прогнозирования метеорологических условий в силу стохастичности их формирования и развития. И, здесь играет наиболее важную роль не климатические, а именно, погодные условия. А, формирование погодных процессов представляет собой, как было сказано выше, многофакторный процесс с числом значащих переменных более ста. Последнее требует, конечно, наличия мощной территориально распределенной системы мониторинга погоды. Иначе говоря, необходимы мониторинг и прогнозирование величины влажности (влаги - водяного пара и влаги в жидкой и твердой фазах), направления и скорости ветра в местах возможного схода селей по территории страны. Подобной системы мониторинга метеорологических условий нет не в нашей стране, не в мире. Основной причиной такого положения является настолько большая дороговизна ее создания и эксплуатации, что ущерб, причиняемый природными катаклизмами оказывается, как правило, значительно меньшим.

Перейдем к рассмотрению проблемы собственно современных способов борьбы с селями.

Существуют множество предложений по реализации технических способов борьбы с селями. Однако, анализ возможностей реализации большинства способов свидетельствует об их не универсальности и невозможности полностью решить проблему предотвращения схода селей.

В качестве одного из эффективных современных способов предотвращения селей целесообразно рассматривать способ, основанный на предотвращении выпадения ливневых или продолжительных осадков, которые могут являться причиной схода, и приводить к сходу селевых потоков. Указанный способ, систему и технологию разработали ученые МЧС России в последнее десятилетие двадцатого века. Способ, система и технология прошли многократные натурные испытания в различных географических условиях, включая различные климатические условия, различные условия рельефа, в том числе горного. Во всех экспериментах была подтверждена эффективность работы системы. Необходимые или заданные результаты экспериментов были получены через установленные промежутки времени.

В основе реализации данного способа (одной из главных составляющих способа) лежит прогнозирование погодных условий над территорией возможного схода селей. Как известно, прогнозы погоды бывают оперативными, краткосрочными, среднесрочными и долгосрочными. Но, все они носят вероятностный характер поскольку в формировании тех или иных метеоситуаций над определенными территориями играет множество геофизических, геологических и геофизических факторов, которые сами по себе являются многофакторными случайными процессами или случайными событиями. Оперативные прогнозы погоды составляют подразделения Росгидромета на период упреждения до одних суток. Краткосрочные прогнозы имеют интервал упреждения - до 3-5суток. Среднесрочные прогнозы имеют дальность упреждения до месяца, а дальнесрочные составляются на сезон или на год. Конечно, наиболее полезны оперативные и краткосрочные прогнозы, так как именно они наиболее достоверны. И, именно на них следует ориентироваться при функционировании системы коррекции метеоусловий для предотвращения селей.

Указанный способ предотвращения ливней и продолжительных дождей базируется на электрофизическом методе (способе) формирования погодных условий. Реализация данного способа локальной коррекции погодных условий предполагает за счет управления фазовыми переходами воды в атмосфере Земли рассеивание дождевой облачности в селеопасных районах. Электрофизические методы – это экологически чистые методы воздействия на атмосферные процессы. Так формируется погода над различными районами территории Земли естественным образом. Однако, естественное формирование метеоусловий происходит случайным образом – это стохастический вероятностный процесс. А с помощью специальных устройств этому процессу можно придать управляемый характер.

Суть способа локальной коррекции погодных условий на базе электрофизических методов заключается в формировании управляемых конвективных ячеек в атмосфере Земли в районе объекта защиты, под которым в данном случае мы понимаем участок местности на котором могут формироваться селевые потоки различной степени опасности.

Располагая устройства – специальные ионизаторы атмосферного воздуха - в районе возможного схода селей и обеспечивая их функционирование в определенных (необходимых) режимах можно предотвратить формирование дождевой облачности и, соответственно, предотвратить выпадение ливней и продолжительных осадков.

Более детально алгоритм коррекции метеоусловий для предотвращения схода селевых потоков можно представить следующим образом.

Как известно, сход селя не бывает неожиданным или внезапным. Ему предшествует иногда длительный, иногда более короткий этап формирования соответствующих метеоусловий - этап формирования дождевой облачности. Для ливневых осадков – это этап формирования кучево - дождевой облачности, а для продолжительных дождей это этап формирования слоисто – дождевой облачности. Поэтому, для эффективной борьбы с селями важно осуществлять мониторинг погодных условий в районах возможного схода селей. Такая возможность, как правило, есть - в настоящее время возможно получение мониторинговых данных без особых сложностей через средства массовой информации или путем заключения договоров с соответствующими подразделениями Росгидромета в субъектах Российской Федерации – официальными поставщиками метеоданных.

Прежде всего, необходимо разместить необходимые устройства в селеопасном районе. После размещения стационарного или мобильного комплекса специальных ионизаторов атмосферного воздуха в районе возможного схода селей начинается отслеживание метеорологической обстановки. При получении прогнозов о возможном выпадении ливней или продолжительных дождей необходимо начать использование комплекса специальных ионизаторов атмосферного воздуха в режиме рассеивания дождевой облачности. Результат достигается примерно через три – десять часов после начала воздействия. Но, реже - при неблагоприятной метеообстановке - достижение результата отодвигается до одних - трех суток. При этом, под неблагоприятной метеообстановкой понимается наличие мощной кучево – дождевой или слоисто – дождевой облачности в селеопасном районе. Следует отметить, что в сложных ситуациях наличие прогнозов погоды на трое и более суток позволяют эффективно использовать комплексы специальных ионизаторов атмосферного воздуха в режиме рассеивания дождевой облачности и предотвращения выпадения осадков над заданными селеопасными районами.

Таким образом, реализация способа предотвращения или прекращения дождевых осадков с большими объемами выпадающей влаги на базе современных специальных ионизаторов атмосферного воздуха и их комплексов позволяет эффективно бороться со сходами селей в любых районах нашей страны, в любых климатических поясах и в любых исходных условиях погоды.

Поэтому для организации результативной борьбы с селями в масштабах Российской Федерации на территории всей страны целесообразно предусмотреть и составить схему размещения комплексов стационарных и мобильных специальных ионизаторов атмосферного воздуха в районах возможного схода селей и подсчитать количество таких комплексов. А, каким же образом определить селеопасные районы, которые необходимо защищать от схода селевых потоков? Определить места схода селей и, соответственно, места размещения комплексов специальных ионизаторов атмосферного воздуха, не представляет большого труда, поскольку имеется многолетняя статистика схода селей и их последствий в Росгидромете и его подразделениях в субъектах Российской Федерации.

При этом важно понимать, что же такое защищаемый объект или объект защиты? При создании системы защиты населения и территорий России от опасных селевых процессов с использованием специальных ионизаторов атмосферного воздуха под защищаемым

объектом или объектом защиты понимается территория, на которой возможен сход селей. Это, как правило, локальная территория, составляющая площадь до ста тысяч гектаров и менее. Подобную территорию может защищать один комплекс специальных ионизаторов атмосферного воздуха. В том случае если селеопасная территория превышает площадь в сто тысяч гектаров, тогда следует предусматривать использование двух и более комплексов специальных ионизаторов атмосферного воздуха.

Следует также заметить, что развертывание мобильного комплекса специальных ионизаторов атмосферного воздуха в полевых условиях занимает два - три часа, что также свидетельствует о положительной стороне данного способа, системы и технологии.

Создание системы защиты населения и территорий России от опасных селевых процессов позволит снизить ущерб экономике страны и субъектов Российской Федерации, а также населению от поражающих факторов селей. Кроме того, будет предотвращено разрушение промышленных, сельскохозяйственных объектов и построек, разрушение населенных пунктов. И, что наиболее важно, будет значительно снижена вероятность гибели людей и нанесение вреда их здоровью.

Вместе с тем, следует отметить необходимость и целесообразность строительства и размещения населенных пунктов, объектов промышленности и сельскохозяйственных объектов на безопасном расстоянии - расстоянии на котором поражающие факторы селей не смогут воздействовать на указанные объекты. И, такие возможности, как правило, в реальности присутствуют. Зачастую необходимым является лишь корректное решение соответствующих государственных органов муниципального и субъектового уровня Российской Федерации об организации соответствующего планирования противоселевого строительства и выполнения противоселевых мероприятий. Однако там, где уже существуют промышленные предприятия и сельскохозяйственные объекты и постройки, населенные пункты целесообразно применение современного способа, системы и технологии их защиты с использованием комплексов специальных ионизаторов атмосферного воздуха. Реализация указанных экологически чистых запатентованных в России способов, системы и технологий позволит повысить защищенность населения и объектов экономики в условиях возможного воздействия поражающих факторов селевых потоков, что, безусловно, является главной целью всех мероприятий по снижению негативного воздействия природных опасностей.

### Литература

1. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С. и Тимошенко З.В. Особенности возникновения, развития и предупреждения селей на территории Российской Федерации. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2019, № 3
2. Подрезов Ю.В. Особенности возникновения и развития чрезвычайных ситуаций, вызываемых ливневыми осадками в летний период на территории Российской Федерации. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2019, № 5
3. Подрезов Ю.В. Особенности прогнозирования лавинной опасности на территории Российской Федерации. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2020, № 1
4. Подрезов Ю.В., Ермаков С.Г. Новые методические подходы к защите населения и территорий. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2020, № 4

### Сведения об авторе

**Подрезов Юрий Викторович**, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp1@mail.ru.