

УДК 551.311.21:624

**К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

Канд. техн. наук Б.С. Степанов

Обсуждаются проблемы прогнозирования селей сейсмического, дождевого и гляциального генезисов, вопросы оценки оправданности прогнозов селевых явлений.

Жизнь человека протекает в условиях, в той или иной мере носящих враждебный характер. Действительно, солнце грозит ультрафиолетовыми ожогами и перегреванием, прохладный ветерок - простудой, в теплом и спокойном море можно утонуть, а пушистый глубокий снег, идеальный для горнолыжных прогулок, может обернуться лавиной; печальная статистика происшествий на улицах городов свидетельствует о том, что общественный и личный транспорт - не только благо, и таких примеров можно привести много.

Приспособление к окружающей среде, начинающееся с первых движений ребенка, продолжается в течение жизни человека, а накопленный опыт передается следующим поколениям. В своем большинстве люди не собирают неизвестные им грибы и ягоды, не переходят дорогу перед близко идущим транспортом, соблюдают гигиену приготовления и приема пищи и т.д., хотя это уменьшает "валовый" сбор ягод, приводит к "лишним" затратам времени, увеличивает трудоемкость операций, обеспечивающих элементарное функционирование человеческого организма.

Учитывая сказанное, нетрудно прийти к выводу, что образ жизни человека - сплав огромного числа интуитивных прогнозов и адекватных им реакций, позволяющих человечеству существовать на протяжении многих тысячелетий в непрерывно изменяющемся мире. Если человек попадает в ситуации, значительно отличающиеся от обыденных, нормальное его существование возможно лишь при соблюдении правил, именуемых обычно правилами техники безопасности. Выполнение обсуждаемых правил устраняет необходимость составления огромного числа тривиальных прогнозов, эффективность которых, с учетом их непрерывного повторения, исключительно низка, т.к. по своей сути они не являются руководством к действию.

Наибольшее разнообразие катастрофических явлений присуще горным районам. Катастрофой (опасным явлением) обычно называют любое изменение окружающей среды, угрожающее жизни людей или отрицательно влияющее на их жизнедеятельность. Жизнь и деятельность человека в горах ставятся под угрозу оползнями, обвалами и камнепадами, ледниковыми катастрофами, лавинами и селями и т.д. Многообразие и многофакторность опасных природных явлений делают практически нереальным их всеобъемлющее прогнозирование во времени и пространстве. Поэтому одной из актуальнейших задач предсказания является определение минимальных пороговых значений характеристик явлений, превышение которых в ходе природных процессов приводит к потерям, превышающим затраты на прогнозирование.

Значительной доли опасностей в горах можно избежать, выполняя элементарные правила поведения в тех или иных ситуациях. Разработка правил поведения, их активная пропаганда среди населения, контроль за выполнением правил со стороны административных органов являются эффективным способом использования средств, выделяемых на борьбу с опасными явлениями в этих регионах.

Реализация вышеперечисленных мероприятий позволяет резко ограничить круг прогнозируемых явлений и, тем самым, сконцентрировать силы и

средства для их решения. Появляются предпосылки и для более объективной оценки степени оправданности прогноза опасных явлений.

В соответствии с предлагаемой концепцией прогнозу подлежат лишь явления таких масштабов, при которых соблюдение правил безопасности не сводит риск к приемлемому минимуму, а научно-исследовательские работы, целью которых является снижение ущерба, наносимого стихийными явлениями, можно объединить в две категории.

1. Исследования, конечной целью которых является разработка (усовершенствование) правил техники безопасности, способов их пропаганды среди населения и методов контроля за выполнением правил поведения, обеспечивающих гармоничное сочетание природных процессов с жизнедеятельностью человека.

2. Исследования с целью прогноза стихийных явлений, масштабы которых, даже при соблюдении правил техники безопасности, не обеспечивают нормального функционирования хозяйственных объектов и ставят под угрозу здоровье и жизнь людей.

Практическим выходом работ, объединяемых первой категорией, может быть текст плакатов, устанавливаемых на опасных маршрутах движения, например: "Селеопасная зона! Пребывание в русле реки опасно для жизни. Сели формируются вне зависимости от погодных условий. Скорость движения селей 10 - 15 м/с (36-50 км/ч). Уровень заполнения русла селем над уровнем реки 15-20 метров".

Другими формами пропаганды безопасного пребывания в предгорной и горной зонах могут быть беседы по радио и на телевидении, специальные занятия в детских садах и школах, институтах и т.д., информационные ролики на телевидении, сообщения с воздухоплавательных аппаратов и т.п.

Объектами прогноза, объединяемыми второй категорией, могут быть стихийные явления, масштабы которых способны принести ущерб объектам, находящимся в зонах воздействия стихий: водозаборам оросительных систем, водопроводов и электростан-

ций, линиям передачи электроэнергии и связи, дорогам и мостам, строениям культурно-оздоровительного и производственного назначения, а также здоровью и жизни людей, выполняющих правила поведения в горах, чье внимание ослаблено дезинформацией, выражающейся в наличии объектов народно-хозяйственного назначения, функционирующих в зонах, подверженных воздействию стихийных явлений.

О низком уровне знания правил техники безопасности, навыков и культуры поведения в опасных ситуациях свидетельствуют следующие факты. За последние 20 лет в Заилийском Алатау от лавин погибло 42 человека, из них 37 были альпинистами, туристами, лыжниками... Абсолютное большинство несчастных случаев произошло в лавиноопасные периоды, о сроках наступления которых было объявлено по радио и телевидению [1]. Во время Иссыкской катастрофы 1963 года погибли десятки человек, отдохавшие на селевых полях выноса, примыкающих к южной оконечности озера.

Часто трагические последствия опасных явлений обусловлены строительством и эксплуатацией объектов хозяйственного назначения в зонах, подверженных воздействию лавин и селей. Так, во время селя 1973 года погибла группа туристов базы "Горельник", находившаяся в помещении склада, сооруженного на террасе р.Малая Алматинка, погибли люди в жилых и производственных помещениях турбазы, располагавшихся в верхнем бьефе сквозного селезащитного сооружения "Горельник".

Если своевременно не будут приняты меры, подобная участь ожидает обитателей гостиницы "Медео", расположенной на пути движения селей р.Кимасар. Далеко не всегда характеристики селезащитных объектов адекватны реальной опасности, что угрожает существованию некоторых районных центров Казахстана.

Из сказанного следует, что до тех пор, пока угроза селевой опасности не будет ликвидирована, прогнозирование селей жизненно необходимо. Для населения северного склона Заилийского Алатау акту-

ально прогнозирование селей дождевого, гляциального и сейсмического генезисов.

Прогнозирование селей сейсмического генезиса должно вестись по двум направлениям: пространственному и временному. Известно, что землетрясение 1887 года породило массовые оползни, трансформировавшиеся в селевые потоки в средне- и низкогорных зонах центральной части Заилийского Алатау. Суммарный объем селей составлял десятки млн.м³. Землетрясение 1911 года хотя и было мощным, не привело к формированию значительных по объему селей, что объясняется, скорее всего, тем, что наиболее обводненные и недостаточно устойчивые массивы рыхлообломочных пород приняли участие в оползневых процессах 1887 года.

С того времени ситуация изменилась коренным образом. В последние десятилетия интенсивно осваиваются низкогорная и среднегорная зоны под сады и огороды, ведется строительство дач, дорог, водопроводов и т.д. Рельеф зоны освоения сформировался в условиях увлажнения, недостаточного для нормального развития садово-огородных культур, поэтому даже относительно небольшое переувлажнение грунтов, представленных, в основном, пролювиальными и лессовыми отложениями, при поливе насаждений может привести к нарушению устойчивости грунтовых массивов, их сдвигу и трансформации оползней в селевые потоки. В районе Алматы за последние годы оползание дачных участков исчисляется десятками, имеются человеческие жертвы. Вышесказанное происходит в спокойной сейсмической обстановке.

Опыт Гиссарского землетрясения 1989 года, когда 6-7 балльное землетрясение привело к разжижению искусственно орошаемых грунтов на площади в несколько сотен гектаров, трансформации оползней в сели, разрушившие два селения и унесшие жизни десятков людей, позволяет представить масштабы катастрофы, которая может произойти во вновь осваиваемых зонах Заилийского Алатау. Даже при 6-7 балльном землетрясении произойдет массовое опол-

зание склонов, при этом будут разрушены многие тысячи жилых строений, а число жертв может достигнуть десятков тысяч.

Предотвратить катастрофу, если для этого еще осталось время, может лишь безотлагательная разработка методов безопасного хозяйствования, включающих в себя определение наиболее благоприятного сочетания сельскохозяйственных культур, нормы их полива, создание дренажных и анкерных систем, методов контроля состояния устойчивости потенциально опасных массивов и других защитных мероприятий.

Прогнозирование селей сейсмического генезиса во времени полностью определяется успехами в прогнозировании землетрясений.

Завершение "Малого ледникового периода" в середине прошлого столетия и дальнейшее потепление климата в первой половине XX столетия привели к значительной деградации оледенения Заилийского Алатау. Увеличение абляции ледников создало предпосылки для формирования поверхностных и внутриморенных водоемов, катастрофические прорывы которых приводят к образованию мощных селей. Сели 1958, 1963 и 1977 гг. на р.Иссык, 1956 и 1973 гг. на р.Малая Алматинка, 1975 и 1977 гг. на р.Большая Алматинка и др. стимулировали проведение исследований, направленных на разработку методов прогноза селей гляциального генезиса. Однако очень скоро стало ясно, что имеющейся информации о характеристиках моренно-ледниковых комплексов совершенно недостаточно для описания динамики развития прорывоопасных водоемов, а тем более внутриморенных каналов стока. Отсутствовала и перспектива получения таких данных.

Тем не менее, был разработан ряд методов прогноза селей гляциального генезиса, базирующихся на стандартной информации, получаемой сетевыми подразделениями Казгидромета. Наиболее известным из них, использующимся в практике Казселезащиты на протяжении более 10 лет, является фоновый прогноз гляциальных селей, реализованный в прог-

рамме опознавания образов "ПОИСК" [5]. Прогноз вы-
дается ежесуточно одновременно для всех леднико-
вых рек Заилийского Алатау в период с 26 июня по
31 августа. Для выпуска прогноза необходимо под-
готовить следующие данные. По станции Мынжилки:
среднесуточную температуру воздуха, в $^{\circ}\text{C}$; среднюю
температуру воздуха за предшествующую декаду пе-
ред датой выпуска прогноза, в $^{\circ}\text{C}$; сумму осадков
за предшествующую декаду, в мм; среднюю продолжи-
тельность солнечного сияния за предшествующую де-
каду, в час; число суток с атмосферной засухой за
месяц перед датой выпуска прогноза, для чего сле-
дует использовать критерий по 12-часовой темпера-
туре и относительной влажности воздуха; среднюю
температуру воздуха с 1 мая по 25 июня, в $^{\circ}\text{C}$;
сумму осадков за октябрь-май, в мм; среднюю тем-
пературу воздуха за июль-август предыдущего года,
в $^{\circ}\text{C}$; среднюю температуру воздуха за июль-август
пяти предыдущих лет, в $^{\circ}\text{C}$. Кроме того, среднюю
высоту нулевой изотермы в свободной атмосфере за
предшествующую декаду по ГМО Алматы, в км; сред-
ний расход воды по р.Озерной за предшествующую
декаду, в $\text{м}^3/\text{с}$.

Если значение меры сходства $\Pi(A, X)$ превышает
пороговое значение, объявляется селевая опас-
ность. Авторские испытания показали, что опти-
мальное значение $\Pi(A, X)$ равно 0,33; при этом
прогноз селеопасных ситуаций оправдывается на
92,3 %, неселевых ситуаций - на 93,6 %.

Сравнение прогнозируемых ситуаций с реально
наблюдаемыми, выполненное авторами обсуждаемой
работы, показало, что за период 1961-1979 гг.
разработанная методика дает в среднем за селео-
пасный сезон (67 суток) 4-5 ложных тревог для
крупных селей и 6-7 ложных тревог для мелких се-
лей; это позволяет сократить период гляциальной
опасности в 3,5-5 раз, если принять продолжитель-
ность периода гляциальной селевой опасности в За-
илийском Алатау равной 40-50 суткам.

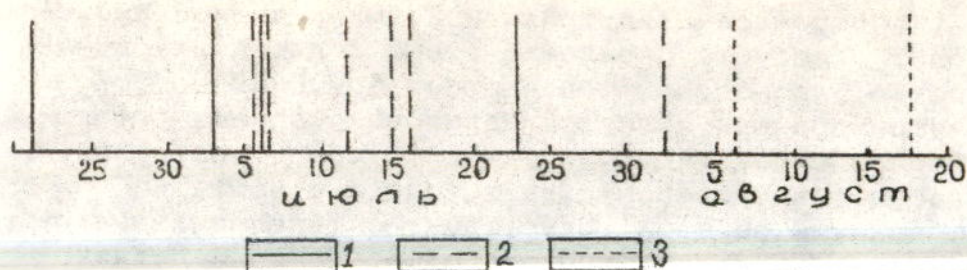
Реальную эффективность фонового прогноза
гляциальных селей, осуществляемого с помощью

программы " ПОИСК", можно оценить, принимая во внимание фактические данные. Селевые процессы, приносящие ощутимый ущерб и представляющие угрозу даже при соблюдении населением правил техники безопасности, случаются, в среднем, один раз в четыре года, причем в пяти бассейнах из 10 сели гляциального генезиса не формировались, судя по всему, несколько столетий. Нетрудно прийти к выводу, что фоновый прогноз, распространяемый на весь регион, вряд ли серьезно воспринимается потребителями. Реакция же административных органов сводится к организации блок-постов, препятствующих отдыху рядовых граждан в горах в летнее время.

Изучение условий формирования озер и емкостей моренно-ледниковых комплексов показало, что решающими факторами, определяющими начало их катастрофического опорожнения, являются строение и состояние озерных перемычек, внутриморенных и внутриледниковых каналов стока. Поэтому методы прогноза гляциальных селей, в которых в качестве предикторов не используется информация о состоянии заполнения котловин, озер и внутриледниковых емкостей, а также о состоянии каналов стока, в принципе малоэффективны. Однако получение такой информации технически сложно и требует больших затрат времени и средств.

Анализ явлений, приведших к образованию наиболее крупных селей XX столетия на северном склоне Заилийского Алатау, показал (рис.), что начальная фаза селеопасного периода характеризуется прорывом каровых озер, средняя - опорожением моренных и приледниковых озер, и конечная - внутриледниковых емкостей.

Учет вышесказанного позволяет сократить объемы наблюдений, необходимых для надежного прогнозирования селеопасных ситуаций.



Даты формирования мощных селей на северном склоне Заилийского Алатау.

1 - прорыв каровых озер, 2 - прорыв поверхностных водоемов, 3 - прорыв внутриледниковых водоемов.

Наиболее просто решается вопрос о прогнозировании прорыва озер карового типа. Озера образуются в результате заполнения каровых котловин тальными водами. Обычно котловины водой не заполняются, т.к. тальные воды дренируются внутриморенными каналами стока. Заполнение каровых котловин происходит при закупорке внутриморенных каналов стока в осенне-зимний период. Событие это достаточно редкое, в среднем каждая из котловин заполняется один раз в несколько десятилетий. Поэтому заполнение котловины - сигнал опасности, реализация которой неизбежна. Типичный промежуток времени между началом заполнения котловины водой и открытием канала стока - от 3 до 7 суток, в очень редких случаях - до месяца, как это имело место в бассейне р.Каскелен в 1980 году.

Прорывоопасность озер приледникового и ледникового типов наступает на 10-15 суток позже, нежели озер карового типа, т.к. образование первых связано с таянием снежного покрова ледников и, в незначительной мере, собственно ледников. Очень часто опорожнение обсуждаемых озер происходит по внутриморенным каналам стока (Жарсай 1958, 1963, 1977 гг.; Средний Талгар 1973, 1974 гг.). Прорыв озера в бассейне р.Кумбель в 1977 году произошел в начале августа, однако следует иметь в виду, что катастрофа произошла в период проведения работ по искусственному опорожнению озера.

Опорожнение внутриледниковых водоемов происходит в августе, связано это с большой инерционностью процессов теплового разрушения пробок во внутриморенных и внутриледниковых каналах стока, обусловленной низкой температурой талых вод и слабым теплообменом льда и воды с атмосферой.

Таким образом, существует определенная закономерность опорожнения водоемов моренно-ледниковых комплексов во времени. Однако то обстоятельство, что вероятность заполнения и катастрофического прорыва той или иной емкости в конкретном году не превышает первых процентов, позволяет сделать вывод о том, что причины образования гляциальных селей в Заилийском Алатау связаны не с "...кратковременными аномальными повышениями температуры, длительными периодами теплой, но не засушливой погоды, с условиями осенне-зимнего снегонакопления или высокими весенними температурами, с гидрометеорологическими условиями предшествующих селеопасных сезонов и т.д." [5], а с аномалиями или закономерностями развития путей стока из емкостей моренно-ледниковых комплексов. Несомненно, гидрометеорологические факторы также играют определенную роль в жизни селеопасных водоемов, но они носят подчиненный характер.

Сели дождевого генезиса вызываются ливневыми осадками, интенсивность и слой которых превышают критические значения. Небольшие по расходным характеристикам сели формируются в Заилийском Алатау в среднегорной зоне. Наиболее известными очагами рассредоточенного селеобразования среднегорной зоны являются Кокчека (бассейн р. Большая Алматинка) и Акжар (бассейн р. Аксай). Сели формируются в ходе выпадения дождей, максимальные расходы не превышают первых десятков м³/с. Ущерб, наносимый этими селями, невелик и складывается, в основном, из затрат на расчистку дорог от селевой массы. Отложение или распад селевых смесей происходит в руслах рек и примыкающих к ним в среднегорной зоне конусах выноса.

Мощные сели дождевого генезиса в Заилийском Алатау образуются при выпадении ливней в высотной зоне 3000-4000 м над уровнем моря. К этой зоне приурочены скальные и ледяные водосборы, обладающие коэффициентом стока, близким к единице, крутопадающие склоновые отложения, представленные несцементированными рыхлообломочными породами, осыпи, морены и т.д. Площади водосборов относительно невелики, однако провальная фильтрация рыхлообломочных пород и подземные каналы стока способствуют аккумуляции воды в грунтах, создавая условия для реализации цепных селевых процессов [4].

Образование наносов в высокогорной зоне намного превышает их вынос на относительно более низкие уровни накопления. Поэтому главным фактором селеобразования является водная составляющая. Ливни с интенсивностью и слоем, достаточным для формирования селей, в высокогорной зоне в течение теплого периода выпадают несколько раз. Однако мощные сели образуются лишь один раз в несколько десятилетий. Объясняется это тем, что осадки, как правило, выпадают в твердом виде.

Для достоверного прогноза селей дождевого генезиса необходим надежный прогноз интенсивности и продолжительности осадков. Существующая оправдываемость прогнозов ливней в высокогорной зоне приводит к большому числу неоправдавшихся прогнозов селевых явлений. Мощным подспорьем для прогноза селей может служить прогноз фазового состояния ливней, т.к. не менее 90-95 % таких осадков в зонах высокогорных очагов селеобразования в летний период выпадает в виде града, снежной крупы и снега. Таяние твердых осадков происходит относительно медленно, поэтому сток, растягиваясь во времени, имеет характеристики, не превышающие критические значения.

Прогноз селевых явлений имеет большое социально-экономическое значение. Достоверный прогноз позволяет сохранить жизнь людей, а также то имущество, которое целесообразно эвакуировать из зоны воздействия селей. К серьезным последствиям

приводят и неудавшиеся прогнозы: теряется, вплоть до полного невосприятия, доверие к прогнозам. Люди лишаются активного отдыха, т.к. административным путем перекрывается доступ в наиболее благоприятные рекреационные зоны, автобусные парки - существенных доходов от перевозки горожан; уменьшается число рабочих мест в системе общественного питания и торговли, не загружаются гостиницы, туристские базы и т.д.

Важными элементами системы прогнозирования являются эффективность прогнозов и их заблаговременность. В общем случае под заблаговременностью понимают промежуток времени от даты выпуска прогноза до даты осуществления предсказываемого явления. При прогнозировании селей минимально необходимая заблаговременность определяется суммарным временем, необходимым для доведения прогноза до директивных органов, передачи последними сигналов опасности в зоны прогнозируемого явления, эвакуации движимого имущества и людей из опасной зоны.

При современной технике связи и транспортных средств, четкой организации действий в экстремальных ситуациях, а также расстояниях, отдаляющих опасные зоны от безопасных в условиях, характерных для северного склона Заилийского Алатау, минимальная заблаговременность может колебаться от первых десятков минут до первых часов, т.е. реально сверхкраткосрочное прогнозирование селевых явлений. Наиболее слабым звеном в цепи прогнозирования селей дождевого генезиса является прогноз интенсивности и продолжительности жидких осадков. Уменьшение заблаговременности прогноза селей до 3-6 часов позволяет использовать оперативную информацию о метеорологической ситуации в ближних зонах точек прогнозирования (метеостанции, радиолокационные данные), что увеличит оправдываемость прогнозов осадков, в целом доверие к прогнозам селевых явлений. Наибольшее распространение среди прогнозов селевых явлений получили альтернативные прогнозы. Известно, что для оценки эффективности упомянутых прогнозов необходимо

знать матрицы потерь потребителя и сопряженные матрицы [2].

При стратегии доверия прогнозу математическое ожидание потерь потребителя

$$R = P_{11}S_{11} + P_{12}S_{12} + P_{21}S_{21},$$

где P_{11} - вероятность того, что сель предсказывался и наблюдался; S_{11} - эффективность, соответствующая P_{11} ; P_{12} - вероятность того, что прогноз селя не оправдался, затраты оказались излишними; S_{12} - затраты, соответствующие P_{12} ; P_{21} - вероятность того, что прогноз "без явления" не оправдался, нанесен ущерб; S_{21} - затраты, соответствующие P_{21} .

Прогноз экономически целесообразен, если

$$P_{12} < \frac{P_{21}S_{21}}{S_{12}}.$$

В некоторых случаях, например при прогнозе селеопасности для бассейна р.Малая Алматинка выше створа плотина "Медео", упомянутая величина может на порядок превосходить значение, которое разграничивает прогнозы на удовлетворительные и неудовлетворительные в методике, изложенной в [3].

Таким образом, прогнозирование опасных явлений требует оптимального сочетания адресности, заблаговременности и экономической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников Е.И., Подстречный А.Н. В плену у снежных лавин // Человек и стихия. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - С. 123-125.
2. Монокрович Э.И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 175 с.
3. Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) ис-

пытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91 - СПб.: Гидромете-оиздат, 1991. - 150 с.

4. Степанова Т.С. Цепной селевой процесс и образование очагов // Селевые потоки. - 1989. - Сб.11. - С. 43-48.
5. Токмагамбетов Г.А., Ерасов Н.В. Расчет и прогноз распределения и режима горных ледников. - Алма-Ата: Наука, 1985. - 160 с.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

ҚАУІПТІ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ
ҚҰБЫЛЫСТАР БОЛЖАМЫ ПРОБЛЕМАСЫНА

Техн. ф. канд. Б.С. Степанов

Сейсмикалық, нәсерлі және гляциальді генезистік селдерді болжаудың проблемалары, сел құбылыстарын болжаудың айқындылық мәселелері талқыланады.