

УДК 551.311.21:627.141.2

Доктор геогр. наук      Б.С. Степанов <sup>1</sup>  
Доктор техн. наук      Р.К. Яфязова

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СЕЛЕЙ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА

**Ключевые слова:** сель, дождь, снеговая линия, температура воздуха, слой осадков, прогноз, метод

*В статье приведен краткий ретроспективный анализ исследований, выполненных с целью увеличения качества краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса. Приведенные данные свидетельствуют о том, что существенный прогресс в прогнозировании селей может быть достигнут лишь при увеличении оправдываемости прогноза интенсивности и продолжительности жидких осадков, учете положения сезонной снеговой линии, сокращения времени предупрежденности о селевой опасности.*

Систематические исследования в рамках решения проблемы прогноза селей на северном склоне Иле Алатау (Заилийский Алатау) начались в 50-е годы прошлого столетия и продолжаются в настоящее время. Выявлению гидрометеорологических факторов, обуславливающих возможность формирования катастрофических селей, посвящены работы С.П. Кавецкого и В.Р. Гулиной, И.П. Смирнова, И.О. Раушенбаха, М.П. Рыбкиной, Р.С. Голубова и В.Р. Рындиной, Т.А. Есеркеповой, И.П. Фадеевой, Ю.Б. Виноградова, А.П. Горбунова, Т.Л. Киренской и Н.А. Данилиной, В.А. Керемкулова, П.А. Плеханова, Ю.В. Хоменюка, Г.А. Токмагамбетова, А.Б. Максимова, Н.В. Попова, В.А. Голубовича, В.П. Мочалова, Е.А. Таланова, Б.С. Степанова, Т.С. Степановой, Р.К. Яфязовой, А.Х. Хайдарова и др.

В 1960 г. было издано Пособие по прогнозированию селеопасности [3], в основу которого был положен прогноз сильных осадков. Прогнозировались два вида селеопасности: прогнозирование собственно селеопасности и прогноз селя по времени добегания.

При прогнозировании селей дождевого генезиса учитывались:

- результаты стандартного синоптического прогноза осадков;

---

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

- суждения о характере дождя в интересующем районе на основании результатов анализа уже начавшегося ливня в смежных районах и возможного изменения хода дождя по пути движения воздушных масс;
- данные температурного радиозондирования атмосферы.

Это позволяло предсказывать как сам случай выпадения ливней, так и приближенную оценку их величин с заблаговременностью около 10 ч (метод Р.С. Голубова). Данные о температуре и влажности воздуха позволяли судить о предельном количестве и интенсивности осадков. Положение снеговой линии использовалось для определения зоны возможного выпадения максимума дождя и т.д. Селеопасность в конкретном бассейне на каждый день устанавливалась на основании перечисленных выше признаков, с учетом высотной отметки максимума предшествовавшего за несколько дней сильного дождя, а также инфильтрационных характеристик водосборов.

На основании результатов анализа, имевшихся в то время данных, было установлено, что для условий р. Киши Алматы селеопасными могут быть дожди слоем более 40 мм, выпадающие в зоне 2500...3000 м [3].

При прогнозе селей по времени добегания Пособием по прогнозированию селеопасности [3] рекомендовалось использовать формулу

$$T = \frac{S}{V}, \quad (1)$$

где  $T$  – время добегания, с;  $S$  – длина русла реки, м;  $V$  – средняя скорость водного потока, м/с.

Скорость водного потока рекомендовалось определять по формуле Шези, коэффициент  $C$  – по формуле Маннинга. За критическое значение скорости водного потока принималось значение, приводившее к массовому переносу наносов.

Поскольку в основе прогноза селей был прогноз сильных осадков, а прогноз количества и интенсивности осадков на северном склоне Иле Алатау к моменту внедрения «Пособия» в практику Казгидромета не обладал достаточной оправдываемостью, он не нашел применения.

Несовершенство синоптических прогнозов интенсивности и продолжительности осадков для прогноза селей послужило основанием для проведения исследований возможностей радиолокационного обнаружения и прослеживания ливневых осадков на северном склоне Иле Алатау, осуществлявшихся в КазНИГМИ в период 1965...1968 гг. [5]. Проведению этих работ способствовало то обстоятельство, что в упомянутый период времени на территории бассейна р. Киши Алматы на площади 130 км<sup>2</sup> бы-

ло установлено около 80 плювиографов, использовавшихся при экспериментальном изучении элементов водного баланса горных водосборов [6]. Практически для каждого случая дождя удавалось собирать данные с 50...60 плювиографов, т.е. один плювиограф приходился на 2...2,5 км<sup>2</sup>. Одновременно изучались процессы облакообразования, перемещения ливневых очагов над горами, зонального распределения ливней, дрейфа облаков, измерялись высота нулевой изотермы и ее положение при выпадении осадков, анализировались спектры размеров капель дождей (для изучения радиолокационного альбеда дождя) и т.д.

К началу проведения работ было известно, что на равнине радиолокационный метод измерения интенсивности и количества осадков на больших площадях сравним по точности с сетевым приборным методом. Однако на равнине луч радиолокатора устанавливается горизонтально или почти горизонтально, благодаря чему осадки измеряются в приземном слое и связь между отраженным сигналом и интенсивностью осадков получается надежной. Спецификой радиолокационных наблюдений в горной местности является установка радиолокационного луча под углом с целью избежать отражений от горных склонов, вершин и т.д., являющихся помехами. Это приводит к тому, что в большинстве случаев встреча луча с объемом отражения происходит не в столбе осадков, а в массе облака, дающего осадки, порой выше нулевой изотермы, где фазовое состояние частиц, их размеры и концентрация иные.

Анализ результатов измерений осуществлялся на участках площадью 4 км<sup>2</sup>, в пределах которых рельеф, экспозиция и растительность были относительно однородными. Одновременно с радиолокационными наблюдениями изучался спектр капель, что позволяло вводить численную коррекцию на высоту луча. Слой осадков за весь дождь для участка определялся по формуле

$$H = \sum I_i T_i, \quad (2)$$

где  $H$  – слой осадков, мм;  $I_i$  – интенсивность осадков, мм/мин;  $T_i$  – промежуток времени данной интенсивности, мин.

Экспериментальные наблюдения осуществлялись преимущественно при выпадении ливневых осадков. Для приведения данных, полученных с помощью локатора, к данным, полученным с помощью плювиографов, определялся коэффициент согласования, вычислявшийся как частное от деления данных по плювиографу к данным радиолокационных наблюдений. Оказалось, что значения коэффициента согласования для каждого участка даже по сумме осадков за все дожди, наблюденные за 1967 г., ва-

рьюют в пределах от 1,38 до 10,11. Различного рода осреднения, в том числе по высотным зонам: низкогорная, среднегорная и высокогорная уменьшают вариацию в пределах зон.

Оценивая среднее отклонение и среднюю относительную погрешность измерения для трех случаев дождей:

- мелкокапельный обложной дождь, охвативший весь бассейн;
- ливневой дождь со слабой грозой в дневное время;
- ливень с сильной грозой и шквалом в дневное время,

А.Ф. Литовченко [6] приходит к выводу, что относительная погрешность сравнима с измеряемой величиной и «... на существующем уровне исследований для отдельных дождей методом радиолокации в горных условиях можно оценить лишь порядок сумм осадков». Это совершенно недостаточно для надежного прогнозирования селей. Однако при осреднении по зонам или бассейну за весь сезон метод дает погрешность, близкую к 10 %, что приемлемо, по мнению автора обсуждаемой работы, для оценки сезонной водности горных рек, запасов воды для увлажнения бассейна и т.д. Работы по использованию метеорологических радиолокаторов для прогнозирования селей в Иле Алатау в дальнейшем не проводились.

В работе Б.А. Будагова и С.Г. Сафаровой [2] приведены сведения об использовании метеорологического радиолокатора МРЛ-5 с применением современного программно-технического комплекса [1] для оценки селевой опасности на южном склоне Большого Кавказа. В данном регионе картина распределения выпадающих осадков, снятых с помощью автоматизированных МРЛ, позволяет в любой точке пространства оценить характеристики выпадающих осадков. Это, по мнению авторов [2], позволяет по радиолокационной картине фактического распределения осадков по бассейну, с учетом особенностей местной циркуляции, прогнозировать селевые потоки с заблаговременностью 2...5 ч (с учетом времени формирования и добега селя до конкретного пункта прогноза). К сожалению, информация о месте расположения МРЛ и данные о рельефе местности в описываемом регионе отсутствуют, что не позволяет оценить степень прогресса использования МРЛ в горной местности для прогноза селей за последние десятилетия.

Существенным шагом в развитии методологии прогнозирования селей дождевого генезиса явились результаты исследований, выполненных в КазНИГМИ под руководством Т.Л. Киренской в 90-е годы 20 столетия. При разработке метода прогноза использовались результаты полевых исследований геологических и морфометрических характеристик селевых очагов, дан-

ные статистического анализа параметров распределения слоя и продолжительности суточных сумм жидких осадков, изучения процессов взаимодействия сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами, приводящих к образованию грязекаменных потоков и т.д.

В качестве критериев формирования селей дождевого генезиса на северном склоне Иле Алатау были предложены:

- суточная сумма осадков на М Мынжылки более 40 мм;
- сумма осадков по метеостанциям и гидропостам Мынжылки, Ворота Туйыксу, Верхний Горельник, Усть-Горельник и г. Алматы более 300 мм;
- температура воздуха в предшествующие осадкам сутки не менее 5 °С;
- сумма температур за 5 суток – 35 °С, а за 10 суток – 50 °С;
- высота нулевой изотермы более 4500 м [4].

По данным автора обсуждаемого прогноза, при выполнении трех критериев: слой осадков на М Мынжылки более 40 мм, высота нулевой изотермы более 4500 м и сумма осадков по метеостанциям и гидропостам Мынжылки, Ворота Туйыксу, Верхний Горельник, Усть-Горельник, г. Алматы более 300 мм за сутки, за 40 летний период наблюдений, могли быть составлены два прогноза прохождения селей, один из которых оправдался. Для прогноза селевых потоков предполагалось использовать метод прогноза осадков Г.К. Ветлицкой. К сожалению, последний не содержал необходимой информации о продолжительности осадков, вследствие чего прогноз селей не нашел широкого применения.

Идентичные метеорологические характеристики были использованы исследователями МГУ при разработке прогноза дождевых селей для северного склона Главного Кавказского хребта [8]. Было установлено, что образование селей и масштабы селепроявлений зависят от сочетания шести факторов, управляющих процессом, при значениях метеорологических параметров, равных или превышающих критические величины. Упомянутые параметры включали в себя: суточное количество осадков, температуру воздуха в день с осадками, максимальную интенсивность ливня, сумму положительных температур воздуха от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, сумму осадков за тот же период времени, сумму суточных температур воздуха за шесть дней до схода селя. Критическое значение осадков – 20 мм, температура воздуха в день с осадками равна 9 °С.

В ходе проведения испытаний, с учетом проблем, связанных с получением прогнозных данных об интенсивности ливней, была принята следующая формула для краткосрочного прогноза селей:

$$F_6 = 8 \cdot 10^{-4} xt + 10^{-2} \sum t_6, \quad (3)$$

где  $F_6$  – характеристика состояния равновесия рыхлообломочного материала на поверхности склона (при  $F_6 > 1$  происходит нарастающий процесс схода селя, для селеопасной ситуации  $F_6 > 0,3$ );  $8 \cdot 10^{-4} xt$  – отражает совокупное краткосрочное воздействие температуры воздуха и осадков на потенциально подготовленный к подвижкам рыхлообломочный материал;  $x$  – осадки;  $t$  – температура воздуха в день с осадками;  $t_6$  – сумма среднесуточных температур воздуха за 6 суток до схода селя.

Оправдываемость прогноза, по данным ее авторов, за период с 1984 по 1995 гг. составила 78 %. Из 18 случаев превышения количественной величины функции  $F_6$  критического значения ( $F_6 = 1$ ), в 14 случаях наблюдался сход селя.

В период 1991...1995 гг. в КазНИИМОСК (в прошлом КазНИГМИ) проводились НИР в рамках выполнения темы 1.6.1 «Разработать методы мониторинга и прогноза селей для бассейнов рек центральной части Заилийского Алатау». Предполагалось, что прогноз селеопасности будет составляться по результатам прогноза селей в контрольных объектах Иле Алатау. В высокогорной зоне в качестве контрольных объектов были выбраны рытвина №18 (бассейн р. Киши Алматы) и врез №50 (бассейн р. Улкен Алматы). Контрольными объектами в низкогорной зоне служили два очага рассредоточенного селеобразования в бассейнах рек Аксай и Талгар. Итогом работы стали 81 таблица, в которых подекадно (с мая по август включительно) приведены вероятностные характеристики селевых потоков в контрольных очагах в зависимости от прогностического количества осадков за 12 ч по различным метеостанциям. Прогностические осадки заданы с точностью до 1 мм в интервале от 0 до 50 мм. Вероятность селеобразования приведена с точностью до двух значащих цифр, максимальный расход селя 25 % обеспеченности – до трех значащих цифр, объем селя 25 % обеспеченности – до четырех значащих цифр, плотность селя – до четырех значащих цифр. Вероятностный характер прогностическим характеристикам селей придает лишь вероятностная форма задания характеристик осадков в зоне селеформирования. Вероятностные характеристики перехвата осадков, состояния и увлажнения стокообразующих поверхностей, наличия в очагах селеформирования рыхлообломочных пород и т.д. не нашли отражения при расчетах. Отсутствие упомянутых выше и других характеристик факторов, определяющих, наряду с осад-

ками, характеристики селей, объясняется, прежде всего, отсутствием достоверных методик их определения, а также оценки влияния этих факторов на вероятностные характеристики селей. В такой ситуации при расчете вероятностных характеристик селей принято указывать, что вероятность характеристик селей априори принимается равной вероятности характеристик дождей и паводков, вызывающих селевые явления [7]. Это важно для практического использования методики прогноза указание в отчете отсутствует. В отчете по теме 1.6.1 «Разработать методы мониторинга и прогноза селей для бассейнов рек центральной части Заилийского Алатау» не приведена и авторская оценка оправдываемости прогноза по рытвине №18 и врезу №50.

Проверка достоверности прогноза селей по обсуждаемому методу на примере рытвины №18, по данным выпадения осадков на М Мынжылки, показала, что за период 1965...2006 гг. должно было образоваться 18 селей, селеформирование произошло лишь два раза. Из сказанного можно сделать вывод – достоверность прогноза пренебрежимо мала.

Причиной низкой оправдываемости обсуждаемого прогноза селей является необоснованный перенос данных о повторяемости и характеристиках селей среднегорья, формирующихся в очагах рассредоточенного селеобразования, на сели высокогорья, зарождающиеся в очагах сосредоточенного селеобразования.

В 2000 г. в КазНИИМОСК завершились исследования по НИР «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау». Целью исследований являлось увеличение достоверности прогноза селевых явлений на основе выявления природных механизмов формирования селей в высокогорной зоне при выпадении осадков, характеристики которых превышают критические значения. В результате исследований, выполненных в КазНИИМОСК в конце прошлого века, было установлено, что наиболее распространенным механизмом зарождения селей в стартовых зонах, расположенных на крутых склонах высокогорной зоны, является сдвиг водонасыщенных рыхлообломочных пород, накапливающихся в межселевые периоды в склоновых ложбинах, так называемых рытвинах [9]. Причиной зарождения селей является обводнение рыхлообломочных пород, залегающих на уклонах более  $25^\circ$  при движении воды в подземных каналах стока в напорном режиме. Установлено также, что сели в описываемом регионе реализуются при выпадении жидких осадков слоем более 40 мм за сутки при влагозапасах в почвогрунтах, превышающих 450 мм в слое 150 см (вычисляются по методике А.Ф. Литовченко).

Исходными данными для прогноза селевой опасности являются:

- высота снеговой линии,
- данные об осадках за предшествующие 60 суток по М Усть-Горельник для среднегорной зоны,
- данные об осадках за предшествующие 60 суток по М Мынжылки для высокогорной зоны,
- тип атмосферной циркуляции,
- прогностическое значение осадков для высот 2000 и 3000 м,
- средняя температура воздуха за предшествующие сутки по М Мынжылки и М Усть-Горельник.

Отсутствие прогноза слоя и продолжительности осадков, а также их фазового состояния не позволили в полной мере оценить возможности рассматриваемого метода прогноза в процессе его использования в практике Казгидромета.

К краткосрочным гидрометеорологическим прогнозам относятся прогнозы с заблаговременностью 12...72 ч. Однако эти прогнозы корректируются. Таким образом, краткосрочный прогноз может превращаться в сверхкраткосрочный. Основной задачей краткосрочного и сверхкраткосрочного прогнозов является предупреждение гибели людей. Это достигается тем, что заблаговременность предупрежденности не должна быть меньше времени добегания селея до объекта поражения. Это требование является основным при разработке систем оповещения о селевой опасности. Высокая эффективность сверхкраткосрочного предупреждения была подтверждена многолетней эксплуатацией в Казгидромете системы Радиооповестителя селей (РОС) на реках северного склона Иле Алатау.

Анализ оправдываемости краткосрочных прогнозов катастрофических селей, составившихся отделом гидропрогнозов ГМЦ РГП «Казгидромет» по методу, изложенному в отчете по НИР «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау», свидетельствовал о низкой оправдываемости. Причиной низкой оправдываемости явилось использование при прогнозе селей данных, получаемых по результатам синоптического прогнозирования осадков, хотя при разработке метода прогноза селей предполагалось, что прогноз осадков будет осуществляться синоптико-гидродинамическим методом (его разработка к 2001 г. была завершена).

В определенной мере низкая оправдываемость прогнозов селей была обусловлена и тем обстоятельством, что в соответствии с «Наставле-

нием по службе прогнозов погоды» (РГП «Казгидромет», 2005 г.) критериями опасных явлений (ОЯ) и стихийных гидрометеорологических явлений (СГЯ) являются дожди в селеопасных районах слоем 15...29 мм и более 30 мм соответственно. При составлении «Наставления» не учитывалось, что сель – многофакторное явление и критерием селеформирования, в частности, является слой, превышающий 40 мм. Поскольку осадки слоем 15...29 мм принимались за критерий селеопасности, число предупреждений о катастрофических селях намного превышало число реальных селей. Все это и стало причиной низкой оправдываемости селей (представляющих реальную опасность), недоверия потребителей к прогнозу селей.

В связи с этим в период 2008...2010 гг. был разработан сверхкраткосрочный метод прогноза селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы, поскольку сели на этих реках угрожают г. Алматы. Этот метод прогноза впервые был основан не на прогнозе осадков, а данных о фактическом выпадении жидких осадков. Также, при оценке температурного фона выпадающих осадков, впервые используется текущая информация об изменении температуры воздуха, что позволяет более надежно прогнозировать возможность изменения фазового состояния выпадающих осадков и, тем самым, намного сокращать период времени, на который распространяется предупреждение об ОЯ и СГЯ.

Формирование селей дождевого генезиса – многофакторный процесс. Главными факторами селеформирования являются: климатические и сезонные характеристики территории, слой и интенсивность жидких осадков, характеристики стокообразующих поверхностей, геологический и антропогенный факторы.

Важную роль при прогнозе дождевых селей играют данные о положении сезонной снеговой линии. Мнение (отрицательно сказывающееся на оправдываемости прогнозов селевой опасности в Казахстане) о том, что положение снеговой линии «вторично по отношению к температуре воздуха», соответствует действительности только для климатической снеговой линии, определяемой как уровень земной поверхности, выше которого накопление твердых атмосферных осадков преобладает над их таянием и испарением.

В Северном Тянь-Шане на склонах, обращенных к северу и северо-западу, положение сезонной снеговой линии (определяемая как уровень земной поверхности выше которого в настоящий момент сохранился снежный покров) может быть существенно ниже нулевой изотермы. Сезонная снеговая линия может определяться как таянием снега, накопивше-

гося в холодные периоды смежных лет, так и выпадение твердых осадков в летний период времени. Так, на северном склоне Иле Алатау (бассейн р. Киши Алматы) в первой декаде июня 2016 г. сезонная снеговая линия располагалась на высоте 3100 м (высота климатической снеговой линии близка к 3900 м), на метеорологической площадке Института географии (высота 3400 м) высота снега превышала 2 м, а на леднике Туйыксу – 3 м, и это при погоде, когда уровень нулевой изотермы был близок к 5000 м. Представляется очевидным, что положение сезонной снеговой линии – важный фактор формирования селей дождевого генезиса. Низкое положение снежного покрова приводит не только к росту отрицательного температурного скачка, увеличивающего вероятность выпадения осадков в твердой фазе (град, снежная крупа, снег), но и перехвату жидких осадков снежной массой.

Анализ интенсивности и слоя жидких осадков, приводящих к формированию селей на северном склоне Иле Алатау, показал, что в качестве оптимального значения выпавшего слоя осадков, после которого целесообразен прогноз селевой опасности (ОЯ или СГЯ), является 40 мм. Выбор этого значения обусловлен тем, что в реальных условиях сель образуется при выпадении дождя слоем, близким к 60 мм. Подобные осадки в обсуждаемом районе в селеопасный период времени выпадают 1 раз в 2...3 года. В таких условиях время предупрежденности о селевой опасности в среднем складывается из времени выпадения осадков, при котором слой выпавших осадков увеличится с 40 мм до 60 мм, и времени добегающего селя от места зарождения до объектов поражения. Это в несколько раз превышает время добегающего селя и, при использовании современных технических средств оповещения о селевой опасности, обеспечивает безопасность населения. Замена 40 мм значения слоя осадков на 30 мм, увеличила бы предупрежденность на первые десятки процентов, однако оправдываемость прогноза селей уменьшилась в несколько раз из-за нелинейности кривой обеспеченности осадков.

Увеличению эффективности сверхкраткосрочного прогноза селей должен способствовать и его алгоритм, в соответствии с которым органы ЧС и МВД (за три часа до начала выпадения прогнозируемых осадков) информируются о вероятности выпадения селеформирующих осадков, а в последующие времена – начале выпадения осадков, выпадении 40 мм слоя жидких осадков в зоне зарождения селей, выпадении осадков слоем 50 мм, 60 мм и т.д. При 100 % предупрежденности о селевой опасности, в усло-

виях современного климата, «перестраховочный» прогноз селя будет в среднем иметь место один раз в 2 года, т.е. в несколько раз реже, чем это имеет место в прогнозах, выпускаемых в настоящее время.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абшаев М.Т. Автоматизированная система обработки радиолокационной информации для активного воздействия на градовые процессы // Труды ЦКБ ГМП. – 1996. – №4. – С. 80-90.
2. Будагов Б.А., Сафаров С.Г. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования // Известия РАН. Серия географическая. – М.: Наука, 2008. – №2. – С. 116-121.
3. Кавецкий С.П., Гулина В.Р. Пособие по прогнозированию селеопасности. – Алма-Ата, 1960. – 59 с.
4. Киренская Т.Л. О прогнозировании ливневых селей в Заилийском Алатау // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – №9. – С. 77-84.
5. Коротаев Г.А. Опыт измерения осадков в горах радиолокационным методом // Труды КазНИГМИ. – 1969. – Вып. 37. Исследования облаков и осадков в Казахстане. – С. 62-77.
6. Литовченко А.Ф. Экспериментальное изучение элементов водного баланса горных водосборов. – Киев: Вища школа, 1986. – 187 с.
7. РД 11-814-84. Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений. – М.: Гидропроект, 1985. – 110 с.
8. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). – М.: Научный мир, 2001. – 204 с.
9. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №1-2. – С. 74-81.

Поступила 12.06.2017

Геогр. ғылымд. докторы      Б.С. Степанов  
Техн. ғылымд. докторы      Р.К. Яфязова

#### **ЖАЙ-КҮЙІ, ПРОБЛЕМАЛАРЫ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАУ СЕЛ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСІ**

*Түйін сөздер:* сел, жаңбыр, қар сызығы ауаның температурасы, қабаты жауын-шашын, болжам әдісі

*Мақалада келтірілген қысқаша ретроспективті талдау зерттеулер орындалған сапасын арттыру мақсатында қысқа мерзімді болжау сел дождевого генезисі. Келтірілген деректер көрсеткендей,*

*елеулі прогресс болжау сел қол жеткізу мүмкін ғана ұлғайған кезде өзі-өзі ақтауын болжау қарқындылығы мен ұзақтығы, сұйық жауын-шашын, есепке алу ережелері маусымдық қар сызығының уақытын қысқарту, предупреденности туралы сел қаупі.*

Stepanov B.S., Yafyazova R.K.

#### **STATE OF PROBLEM OF THE SHORT-TERM FORECAST FOR RAINFALL-INDUCED DEBRIS FLOWS**

**Keywords:** debris flow, rainfall, snow line, air temperature, precipitation, forecast, method

*The paper presents a brief retrospective analysis of the investigations carried out for increasing the quality of the short-term forecast for rainfall-induced debris flows. The data presented in the paper indicate that substantial progress in forecasting debris flows can be achieved only with an increase in the accuracy of forecast of intensity and duration of liquid precipitation, taking into account the location of the seasonal snow line, shortening of the warning time for debris-flow hazard.*