

УДК 551.311.8.001.24

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЕЙ**

Канд. техн. наук Б. С. Степанов  
Р. К. Яфязова

*Обсуждаются проблемы расчета кривых обеспеченности основных характеристик селевых потоков. Показано, что формирование селей гляциального генезиса обусловлено детерминированными процессами, вследствие чего ряды характеристик селей не могут рассматриваться как случайные совокупности.*

Сели качественно отличаются по своим физическим и потребительским свойствам от водных потоков, транспортирующих наносы. Практика показывает, что при мутности, большей  $(5-10) \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$ , воду нельзя использовать даже на орошение. Увеличение мутности может быть вызвано русловыми процессами, обусловленными существенным увеличением расхода воды, смывом почвы и грунта в речные русла с прилегающих склонов во время ливней, а также распадом селевых смесей. Такие ситуации принимаются за нижнюю границу селевых явлений. При более высоком содержании твердой фазы в смесях изменяются их реологические свойства: увеличивается вязкость, появляются упругость и пластичность.

Сели частой повторяемости проявляются, как правило, на притоках второго, третьего и более высоких порядков лишь повышением мутности и 3-5 кратным увеличением расхода воды; сели редкой повторяемости - многократным увеличением расхода и большой плотностью селевых смесей.

Селевые явления - многофакторный процесс, представляющий собой результат действия большого числа факторов, степень влияния каждого из которых учесть в полной мере невозможно.

Для определения средних значений гидрометеорологических характеристик и возможных их колебаний используются статистические методы, однако и они в полной мере не могут быть использованы для определения обеспеченности расходных и объемных характеристик селей. Например, обеспеченность гидрометеорологических характеристик рассчитывается в предположении, что величины осадков и стока, наблюдавшиеся в прошлом, будут повторяться лишь с небольшими отклонениями и в будущем, за исключением случаев влияния человеческой деятельности. Это обстоятельство позволяет опираться на гипотезу о том, что ряды рассматриваемых величин формируются как случайные совокупности — фундамент современных статистических методов определения гидрометеорологических характеристик. Использование статистических методов определения обеспеченности характеристик селей дождевого генезиса встречает затруднения из-за отсутствия рядов наблюдений необходимой длины и большого влияния изменения климата на активность селевых явлений, расходные и объемные характеристики селей. Сложность использования общепринятых статистических методов расчета гидрологических характеристик паводков, вызванных прорывом емкостей моренно-ледниковых комплексов, обусловлена тем обстоятельством, что принятие гипотезы о подчинении колебаний гидрологических величин закономерностям колебаний, свойственным случайным числам, означает, что привязка ко времени появления той или иной величины оказывается несущественной, случайной.

Напротив, образование и развитие озер и емкостей моренно-ледниковых комплексов определяются закономерностями процессов оледенения, зависящих, в свою очередь, от изменения климата, поэтому вероятность селей гляциального генезиса практически равна нулю в период наступания ледников и максимальна на той стадии деградации последних, когда таяние ледников еще велико, а их площадь достаточна для образования водоемов, прорыв которых приводит к формированию селей, обладающих катастрофическими характеристиками.

Изучение условий формирования конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау показало, что основной объем селевых отложений приходится на ранний и средний антропоген. В позднем антропогене и голоцене масштабы селевой деятельности были значительно меньше. На ранний и средний антропоген приходится не менее 90 % от полного объема селевых отложений четвертичного периода. До настоящего времени значительные площади (до 50 %) конусов выноса рек Узынкаргалы, Каскелен, Шамалган и Аксай остаются перекрытыми мощными толщами лессов, сформировавшихся на границе  $Q_2$  и  $Q_3$ , лессовые останцы встречаются и на конусах выноса рек Малая и Большая Алматы и других рек.

Активизация селевой деятельности в позднем антропогене и голоцене привела к сносу части лессовых чехлов с конусов выноса. Практически на всех конусах выноса северного склона Заилийского Алатау вершины конусов выноса голоцена вложены в конусы выноса верхнего и даже среднего антропогена. Уровень современных отложений селей на конусе выноса р. Аксай лишь в средней его части выравнивается с отложениями среднего антропогена; перекрытие селевых отложений  $Q_2$  отложениями  $Q_4$  наблюдается только в нижней части упомянутого конуса выноса. За период  $Q_3 - Q_4$  в бассейне р. Аксай лишь один раз образовался сель, по объемным и расходным характеристикам близкий к 45-50 селям, отложившимся на конусе выноса в  $Q_2$ .

Климатические условия последнего тысячелетия складывались таким образом, что гляциальные сели с характеристиками, повторяющимися, в первом приближении, один раз в столетие не формировались (по крайней мере в бассейне р. Есик) в течение, как минимум, 300 лет (данные КазНИГМИ) и 700 лет по Е. М. Калмынкиной и А. П. Горбунову [1].

Столь продолжительное отсутствие мощных селей гляциального генезиса объясняется понижением температуры на 1-1,5 °С в период "Малого ледникового периода", наступившего в XVII веке и закон-

чившегося в середине прошлого века. Потребовалось еще около ста лет для того, чтобы на стадии отступления ледников сформировались и прошли все стадии развития моренные озера, катастрофическое опорожнение которых привело к формированию мощных селей.

Селевая активность в будущем определится направленностью и интенсивностью изменения климата. При незначительном увеличении температуры (первые десятые доли градуса) характеристики селей, скорее всего, будут определяться параметрами паводков, рассчитываемых с помощью формул [3]

$$Q_{\max} = 220 (F - 0,5)^{0,8}, \quad (1)$$

$$W = 0,31 (F - 0,5) \cdot 10^6, \quad (2)$$

где  $Q_{\max}$  - расход паводка, м<sup>3</sup>/с;  $W$  - объем паводка, м<sup>3</sup>;  $F$  - площадь наиболее крупного ледника, км<sup>2</sup>.

Однако при оценке объемов выноса необходимо учитывать следующее обстоятельство. Наблюдения за формированием и динамикой развития озер моренно-ледниковых комплексов показывают, что за 150-летний период (1850-2000 гг.) далеко не на всех ледниках северного склона Заилийского Алатау образовались водоемы с характеристиками, предписываемыми формулой (2), а опорожнение таких водоемов часто происходит с расходами, на порядки меньшими, нежели определяемыми уравнением (1). При этом не только не формируются сели, но и паводочная волна может остаться незамеченной на фоне бытовых расходов в период активного таяния ледников.

Подтверждением первого тезиса служат результаты расчета кривых обеспеченности объемов озер, приведенные на рисунке. Первая кривая характеризует обеспеченность объемов озер моренно-ледниковых комплексов Заилийского Алатау, рассчитанных с помощью формулы (2). Вторая кривая - реальная обеспеченность объемов гляциальных озер на 1969

год, ее характер не изменился и по состоянию озер на 1990 год. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что объемы озер одной и той же обеспеченности разнятся практически в 10 раз.

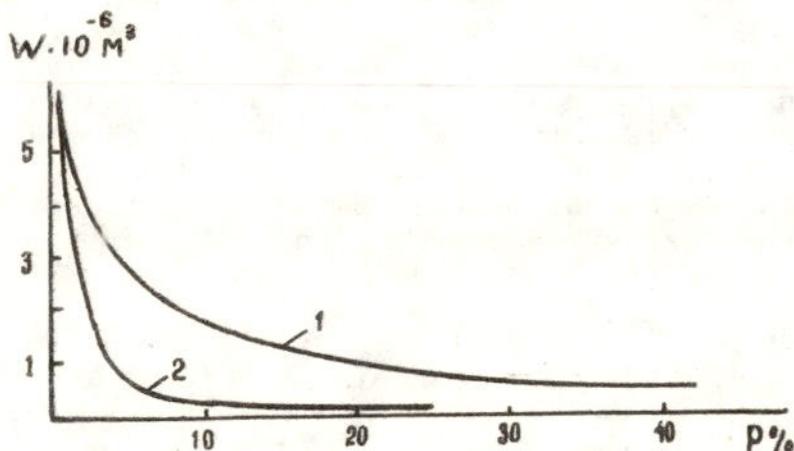


Рис. Кривые обеспеченности объемов озер гляциального генезиса северного склона Заилийского Алатау. 1-теоретическая, 2-фактическая.

Наличие противоречия между расчетными и фактическими значениями обсуждаемых величин подтверждается и тем, что из 55 озер карового типа за последние десятилетия отмечен прорыв лишь 5 озер, еще меньше процент реализации потенциальных возможностей озер, образовавшихся на ледниках долинного типа.

Выше отмечалась неправомерность подхода к построению кривой обеспеченности селей гляциального генезиса, основанного на представлении о реализации возникновения и прорыва емкостей моренно-ледниковых комплексов, как элементов случайного процесса. Помимо того обстоятельства, что эти емкости формируются, как правило, только на стадии деградации ледников, при оценке обеспеченности характеристик катастрофических паводков, вызванных опорожнением емкостей моренно-ледниковых комплексов, необходимо учитывать период формирования емкостей, состояние их развития на момент времени составления кривой обеспеченности.

Сведения о возникновении и развитии озер моренно-ледниковых комплексов северного склона Зайлийского Алатау скудны. Наибольшую известность получила история существования озера N 2, прорыв которого привел к формированию селя 1973 года в бассейне р.Малая Алматы. В ходе обследования ледника Туюксу в 1902 году каких-либо признаков существования озера на поверхности ледника не было обнаружено [6]. В 1937 году отмечено появление озера площадью около  $4000 \text{ м}^2$  и глубиной 1 м. К 1941 году площадь озера увеличилась до  $11000 \text{ м}^2$ , а к 1955 году - до  $22000 \text{ м}^2$ . В 1963 году площадь озера равнялась  $45000 \text{ м}^2$ .

В.А.Керемкуловым установлено, что на стадии возникновения площадь озер западного типа быстро увеличивается до  $2500-3000 \text{ м}^2$  (при относительно небольшой глубине, близкой к одному метру), затем наступает стадия интенсивного развития по площади и глубине. Так озеро N 13, прорыв которого привел к формированию селя 1977 года в бассейне р.Большая Алматы, за 10 лет (с 1955 по 1966 гг.) увеличилось по длине с 85 до 200 м, а по ширине - с 10 до 110 м, за последующие 12 лет длина озера выросла еще на 90 м, объем озера увеличился с  $138 \text{ тыс. м}^3$  (1969 г.) до  $220 \text{ тыс. м}^3$  в 1974 г. [2].

Судя по всему, относительные темпы развития озер западного типа мало зависят от абсолютных значений объемов озер. Озеро на леднике Богатырь объемом около  $10 \text{ млн. м}^3$  прошло все стадии развития за период, близкий к периоду развития озера N 2 на леднике Туюксу.

Данные об основных закономерностях возникновения и развития озер моренно-ледниковых комплексов позволяют, пусть в первом приближении, определить вероятность их катастрофического опорожнения. Постулируем следующие положения.

1. Период от зарождения озера до его естественного опорожнения составляет 50 лет, после чего на том же леднике зарождается новое озеро и т.д. и т.п.

2. Максимальный объем озера, по достижении которого происходит опорожнение последнего, определяется выражением (2).

3. Относительное изменение объемов озер во времени не зависит от их абсолютных максимальных значений; за эталон изменения принимается эволюция характеристик озера N 2 на леднике Туюксу в период 1920-1970 гг.

Если дата зарождения озера неизвестна, то вероятность того, что объем озера (в каком-либо произвольно взятом году) равен одному из 50 возможных значений равна 2 %, а вероятность того, что значение объема  $V$  превысит значение  $V_t$  средней совокупности всех его возможных значений

$$P = 2 (50 - t), \quad (3)$$

где  $t$  - возраст озера, которому соответствует значение объема  $V_t$  ( $t = 1, 2, \dots, 49$ ).

Поскольку значение объема озера не может превысить значение, соответствующее пятидесятому году его существования, максимальные значения объемов, встречающиеся один раз в 50, 100, 500 и т.д. лет будут одинаковы, при этом подразумевается, что размеры ледников не претерпевают существенных изменений во времени.

Если озеро существует и известен его возраст, период времени  $T$ , по истечении которого объем озера примет максимальное значение, становится величиной детерминированной

$$T = 50 - t. \quad (4)$$

Условно считая  $T$  периодом повторения события (достижение объемом максимального значения), можно принять величину  $100/(50 - t)$  за частоту повторения события в 100 лет; в этом случае условная обеспеченность события близка к  $(50 + t)$  процентам.

За последние 50 лет в Заилийском Алатау зарегистрировано 9 прорывов моренных водоемов с расходами, вызвавшими селевые явления, отмеченные на конусах выноса, расположенных на выходе рек из гор: Жарсай (1958, 1963, 1977 гг.), Малая Алматы (1956, 1973 гг.), Кумбель (1975, 1977 гг.), Средний Талгар (1973, 1974 гг.). Таким образом, на 84 ледниках различного типа (за исключением каровых) за указанное время водоемы, прорыв которых привел к селеформированию, образовались на 5 ледниках, причем на л. Жарсай трижды, а на л. ТЭУ Северный дважды происходило опорожнение одних и тех же моренных озер. Следовательно, вероятность того, что в течение 50 лет на леднике с площадью, превышающей  $1 \text{ км}^2$ , сформируется селеопасное озеро, близка к 6 %.

При наличии в бассейне нескольких ледников, имеющих площади, достаточные для образования озер, вероятность селеформирования пропорционально увеличится.

Как отмечалось выше, при определении вероятности селеформирования не учитывалась возможность прорыва озер, образующихся на ледниках карового типа. За последние десятилетия в Заилийском Алатау произошло несколько прорывов таких озер - в бассейне р. Талгар два случая, по одному случаю в бассейнах рек Большая Алматы и Каскелен. Сели, формирующиеся при прорыве каровых озер не носят, как правило, катастрофический характер, однако ущерб, наносимый ими, весьма существенен: разрушаются дороги, водозаборы гидроэлектростанций и оросительных систем, в течение нескольких суток вода непригодна для орошения и т.д.

Мощные дождевые сели в Заилийском Алатау - крайне редкое событие. Наиболее известным селем такого генезиса является сели 1921 года на р. Малая Алматы, разрушивший восточную часть г. Верный. Количественных данных о гидрометеорологической ситуации, предшествовавшей селеформированию, не имеется; достоверно лишь то, что интенсивность осадков в районе Медеу была не менее  $1 \text{ мм/мин}$ , слой осадков превысил  $100 \text{ мм}$ ; ливни охватили не

только Заилийский и Джунгарский Алатау, но и часть горной территории Кыргызстана и Узбекистана. Осадки с подобными характеристиками (локальные по площади выпадения) в рассматриваемом регионе в летний период имеют место практически ежегодно, однако выпадают они в подавляющем числе случаев в виде града, крупы или снега, гидрографы паводков растягиваются во времени и их расходы не превышают критических значений.

Селевые очаги высокогорной зоны Заилийского Алатау имеют относительно небольшие площади водосборов, поэтому дождевые сели с большими расходами и объемными характеристиками образуются в двух ситуациях:

1) морфометрия очага и степень увлажнения мощной толщи грунтов (десятки метров) благоприятствуют развитию цепного селевого процесса [5];

2) расход и плотность селевой смеси, ее объем таковы, что при смешении селей с паводочными водами, концентрирующимися в основном русле бассейна, не происходит распад смеси. Напротив, селевая смесь обогащается отложениями маломощных селей, речными и иными русловыми отложениями, грунтами, вмещающими русло реки, и, следовательно, в процессе селеформирования участвует по существу весь бассейн горной реки.

В ходе селеформирования 1921 г. на р. Малая Алматы реализовались обе ситуации, что и обусловило крупномасштабность селевого процесса.

Редкая повторяемость селей дождевого генезиса не позволяет построить кривые обеспеченности их расходных и объемных характеристик, поэтому обычно обеспеченность характеристик селей определяется обеспеченностью дождевых паводков, принимающих участие в селеформировании [3]. Имеющиеся сведения о катастрофических селевых явлениях подтверждают правомерность, пусть в первом приближении, такого подхода к определению характеристик грязекаменных селей редкой повторяемости (один раз в 50-100 лет), однако грязекаменные сели с большей повторяемостью на конусах выноса и в

долинах основных водотоков селевых бассейнов не наблюдаются. Поэтому было бы ошибочным при определении срока службы селезащитных сооружений определять объем наносов, задерживаемых плотинами, как сумму объемов селей различной обеспеченности. Объяснение несоответствия обеспеченности характеристик селей обеспеченности характеристик дождевых паводков кроется в том, что для формирования грязекаменных селей необходимо, чтобы расход паводков превышал критические значения, в противном случае селеформирование невозможно.

В Заилийском Алатау в среднегорной зоне имеется несколько очагов, в которых сели формируются практически ежегодно (Акжар, бассейн р. Аксай; Кокчека, очаги на склоне пика Советов, бассейн р. Большая Алматы) и др. Однако расходы и объемы селей среднегорья не представляют практического интереса в силу географического положения очагов селеформирования и малой дальности селевых выбросов, не представляют они и опасности для жизни людей при выполнении последними элементарных правил техники безопасности при пребывании в горной местности.

Таким образом, имеются принципиальные различия в обеспеченности расходных и объемных характеристик селей и водных потоков. Если характеристики водного стока с увеличением площади водосбора, в пределах горной части бассейна, увеличиваются, то подобное наблюдается лишь при мощных селевых явлениях. При малых масштабах селевые явления затухают в руслах водотоков второго, третьего и т.д. порядков в зависимости от расходных и объемных характеристик селей и водотоков, с которыми, по мере движения, они сливаются.

Активность селевых явлений в решающей мере определяется климатом [4]. Вторая половина XX века характеризуется резкой активизацией гляциальных селей, наступившей после окончания в середине прошлого столетия так называемого "Малого ледникового периода". Прогнозируемое увеличение глобальной температуры приведет в ближайшие десяти-

летия к практическому исчезновению оледенения в ряде горных бассейнов Казахстана и сведению к нулю там селевой опасности гляциального генезиса, усилению деградации мощных ледниковых систем, при этом селевые процессы активизируются. Весьма вероятно и усиление активности селевых явлений дождевого генезиса, связанное с подъемом высоты снеговой линии и увеличением вероятности выпадения интенсивных осадков в жидкой фазе в высокогорной зоне, где расположены основные очаги формирования дождевых селей, поэтому стратегия защиты населения, объектов хозяйственной и иной деятельности должна строиться с учетом возможных изменений частоты повторения и мощности селевых явлений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калмынкина Е.М., Горбунов А.П. Причины возникновения и рельефообразующая роль Иссыкского селя // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1967. - N 4. - С. 53-58.
2. Медеуов А., Колотилин Н.Ф., Керемкулов В.А. Сели Казахстана. - Алматы: Галым, 1993. - 160 с.
3. Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений / П - 814 - 84. - М.: Гидропроект, 1985. - 110 с.
4. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. О роли климата в селевой активности северного склона Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. - 1995. - N 4. - С. 46-59.
5. Степанова Т.С. Цепной селевой процесс и образование очагов // Селевые потоки. - 1989. - Сб.11. - С. 43-48.
6. Токмагамбетов Г.А. Ледники Заилийского Алатау. - Алма-Ата: Наука, 1976. - 366 с.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

## СЕЛ СИПАТТАМАСЫН ҚАМТУДЫ АНЫҚТАУҒА ОРАЙ

Техн. ғ. канд. Б.С.Степанов  
Р.Х.Яфязова

Сел тасқындарының негізгі сипаттамасының өлшем-айқын-дамасы есебінің мәселелері талқыланды. Гляциальді генезис селінің қалыптасуы жекешелендірілген процеске байланысты, сондықтанда бірқатар селдердің сипатына кездейсоқ әрекет деп қарауға болмайтындығы атап көрсетілген.