

УДК 551.583.7:551.435.2 (574)

**О РОЛИ КЛИМАТА В СЕЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ  
СЕВЕРНОГО СКЛОНА ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ**Канд. техн. наук Б.С. Степанов  
Р.К. Яфязова

*Изучение условий формирования конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау показало, что климат играет главенствующую роль в формировании селей гляциального и дождевого генезисов. Прогнозируемое изменение климата в предстоящем столетии может существенно повлиять на селевую активность горных систем Казахстана. Дана оценка возможных изменений селевой активности северного склона Заилийского Алатау в зависимости от сценария изменения климата.*

Как формирование наносов, так и их вынос из верхнего яруса накопления северного склона Заилийского Алатау в решающей мере определяются климатом. Объясняется это тем, что уклоны в высокогорной зоне значительно превышают значения, необходимые для формирования селей. Геологический фактор, выражающийся, прежде всего, в наличии рыхло-обломочных отложений, которые могут принять участие в селевых явлениях, также играет подчиненную роль. Объемы наносов верхнего яруса накопления в Заилийском Алатау намного превышают таковые, которые могут быть вынесены на относительно низкие потенциальные уровни селями и водными потоками в обозримом будущем.

Основная масса наносов образуется в результа-

те выветривания и деятельности ледников в периоды их наибольшей активности (ледниковые периоды), а вынос наносов происходит в межледниковые периоды. Наиболее интенсивно выветривание горных пород происходит в высокогорной зоне. Этому благоприятствуют: отсутствие растительного покрова на обнаженных горных породах, большая крутизна склонов, высокая степень трещиноватости пород, обусловленная мощными тектоническими процессами горообразования, повышенная сейсмичность, большие перепады температуры в течение суток [6].

Основной объем наносов верхнего яруса накопления представлен моренными отложениями, продуктами деятельности осыпей, оползней, обвалов и т.д. Изучение вещественного состава и строения конусов выноса горных рек северного склона Заилийского Алатау показало, что подавляющая часть наносов верхнего яруса накопления перемещается на предгорную равнину в ходе селевых процессов. И хотя наиболее грандиозные по масштабам селевые явления в обсуждаемом регионе имели, скорее всего, сейсмическое происхождение, основная роль в переносе наносов принадлежит селям гляциального и дождевого генезисов, образующихся в высокогорной зоне.

Средняя и низкогорная зоны Заилийского Алатау неблагоприятны для реализации селевых явлений дождевого генезиса даже среднего масштаба. Малая мощность склоновых отложений, незначительные длины и углы наклона склонов, наличие растительности, перехватывающей осадки и препятствующей водной эрозии, привели к тому, что в среднегорье селевые явления с расходами, не превышающими первые десятки кубометров в секунду, наблюдаются лишь в зонах концентрации сейсмических напряжений землетрясения 1887 г. (Акжар, бассейн р.Аксай; Кокчека, бассейн р.Б.Алматы), приведших к дроблению и истиранию больших объемов коренных пород и подвергающихся в настоящее время интенсивной водной эрозии.

Сели гляциального генезиса формируются в ре-

зультате взаимодействия сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами, представленными, в основном, моренными отложениями. В свою очередь, упомянутые водные потоки образуются в результате катастрофического опорожнения озер моренно-ледниковых комплексов и внутриледниковых водоемов. Опорожнение происходит путем перелива воды через озерные перемычки, либо по каналам стока, формирующимся в моренно-ледниковых комплексах. Наиболее катастрофические размеры гляциальные сели Заилийского Алатау приобретают при опорожении озер путем размыва озерных перемычек, сложенных нецементированными моренными отложениями (бассейны р.М.Алматы, 1973 г.; р.Кумбель, 1977 г.), а также при прорыве озер через гроты и туннели, неоднократно участвовавшие в опорожении водоемов и поэтому имеющие большие площади сечений водоводов (бассейн р.Жарсай, 1958, 1963, 1977 гг.).

Объемы селей, а, в значительной мере, и их расходы определяются объемами озер и водоемов, участвующих в селевых явлениях. В свою очередь, объемы озер и водоемов зависят от размеров и характера оледенения селевых бассейнов. Генетически озера, расположенные на современных моренах ледников северного склона Заилийского Алатау, по В.А.Керемкулову [4] можно разделить на западинные, провальные и каровые. Наибольшие объемы имеют западинные озера, возникающие при заполнении водой понижений между открытой частью ледника и фронтальным уступом морены. Котловины западинных озер образуются в результате различной скорости таяния открытого и погребенного льда, термокарстовых процессов; сток из озер осуществляется поверхностным или внутриморенным путями; озерные перемычки могут слагаться рыхлообломочными отложениями, мерзлой брекчией или льдом. Объем западинных озер определяется их положением в пространстве, стадией развития ледника, климатических условий и т.д.

Стадии формирования и развития этих озер про-

долгаются в течение многих десятков лет; так, например, период между началом формирования и прорывом озера на л.Туюксу (сель на р.М.Алматы, 1973 г.) составил более 50 лет. В зрелой стадии западные озера могут иметь длину до 2000 м, ширину до 600 м, аккумулировать до 10 млн.м<sup>3</sup> воды (озеро Богатырь). Западные озера развиваются относительно медленно (абсолютные характеристики озер мало влияют на течение их жизни), и при современных методах мониторинга природной среды не могут оставаться незамеченными. Методы борьбы с возможностью катастрофического опорожнения западных озер экономически целесообразны и не представляют особых технических сложностей [9].

Другим типом прорывоопасных озер гляциально-моренных комплексов являются каровые озера, образующиеся в результате заполнения водой углублений цирков каровых ледников. Прорывоопасными каровыми озерами являются озера, подпруживаемые плотинами, представляющими собой моренные валы. Содержание льда в таких валах может быть значительным — более 50 %. Объемы котловин, образующихся вследствие таяния и отступления каровых ледников от моренных валов, в которых образуются каровые озера, достигают сотен тысяч кубических метров. Как правило, каровые котловины, из-за наличия внутриморенных каналов стока, водой не заполняются. Образование озер связано с нарушением нормального режима стока. Заполнение котловин водой и прорыв озер происходит обычно в течение одного сезона. Расходные характеристики прорывных паводков определяются возможностями каналов стока и при многократном их функционировании (в прорывном режиме) достигают десятков, первых сотен кубометров в секунду.

Заполнение котловин возможно за счет воды, образующейся в результате таяния снега, накопившегося на прилегающих склонах в зимний период, т.е. задолго до начала таяния ледников (бассейн р.Сред-

ний Талгар, 1993 г.). Поскольку период времени между началом заполнения котловины и прорывом озера составляет порой лишь несколько суток, целесообразно проведение превентивных мероприятий по созданию искусственных каналов стока. Стоимость таких работ намного меньше ущерба, наносимого селями, формирующимися при прорыве каровых озер.

Зависимость селевых явлений от гидрометеорологических факторов представляется очевидной, однако отсутствие достоверных данных о селепроявлениях четвертичного периода не позволяло в должной мере оценить роль климата, как определяющего фактора селеформирования; такая оценка стала возможной в результате разработки способа определения объемов и генезиса конусов выноса горных рек северного склона Заилийского Алатау [15, 16].

Сопоставление среднегодового выноса наносов за период в 1 млн. лет со значением среднегодового выноса за последние сто лет в бассейне р.М.Алматы показало, что интенсивность выноса наносов в текущем столетии в 30-40 раз превышает таковую в среднем за четвертичный период. Значения среднегодовых выносов в котловины озер Есик и Б.Алматы за время их существования (8000-10000 лет) хорошо согласуются со среднегодовыми, за четвертичный период, выносами на конусы одноименных рек. В то же время селей, сравнимых по масштабам с селями 1958 и 1963 годов на р.Есик в одноименном бассейне, по нашим данным, не наблюдалось по меньшей мере 300 лет, а по данным А.П.Горбунова [3] - 700 лет.

Вышесказанное свидетельствует о высокой степени изменчивости интенсивности выноса наносов во времени, объяснение которой кроется в жесткой связи селевых явлений с климатом. Действительно, отсутствие мощных селей в бассейне р.Есик в последние столетия - следствие "Малого ледникового периода", начавшегося в XVII веке и закончившегося в середине прошлого столетия. Активизация оледенения, проявляющаяся в увеличении размеров ледников,

понижении высотных отметок нулевых изотерм, климатической снеговой линии и т.д., не благоприятствует возникновению озер и емкостей моренно-ледниковых комплексов; хотя вынос наносов на верхний ярус накопления в ледниковые периоды увеличивается, селевые явления гляциального генезиса практически прекращаются.

Известно, что "Малый ледниковый период" наступил в результате понижения среднегодовой температуры на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$  [8]. Изучение изотопного состава керна глубоководных осадков Тихого океана показало, что в антропогене имели место периоды, когда глобальная температура понижалась на величины, существенно превышающие упомянутые. Эти периоды согласуются с известными ледниковыми периодами.

Два последних тысячелетия исследованы более детально с помощью лихенометрического метода. Известно, что активизация селевой деятельности на Северном Кавказе приходится на VI, X, XVIII, XIX, XX века [5]. Селевая активность была обусловлена теплым и влажным климатом. Сопоставление данных дендрограммы туркестанского можжевельника (Тянь-Шань), лихенометрического анализа, на примере Северного Кавказа, оледенения в Альпах, изотопного отношения  $\text{O}^{18}$  в ледяной колонке Кемп Сенчури (о. Гренландия) [5, 7, 8, 11], свидетельствует о синхронности колебания климата северного полушария.

Высокие темпы прироста можжевельника, для которого установлена хорошая корреляция индексов прироста с продолжительностью теплого периода, наблюдались с середины XIX века (рис., кривая I); на этот же период приходится активизация селевой деятельности в Приэльбрусье (диаграмма II), деградация ледников Альп (диаграмма III), уменьшение изотопного соотношения (увеличение температуры) кислорода в колонке льда Кемп Сенчури (диаграмма IV). Хорошо коррелируется и максимум прироста можжевельника, приходящийся на начало XVIII века,

с активизацией селевой деятельности и начальной фазой оледенения, а максимум прироста можжевельника в середине XV века с активизацией селей, отступанием ледников и изотопным соотношением.

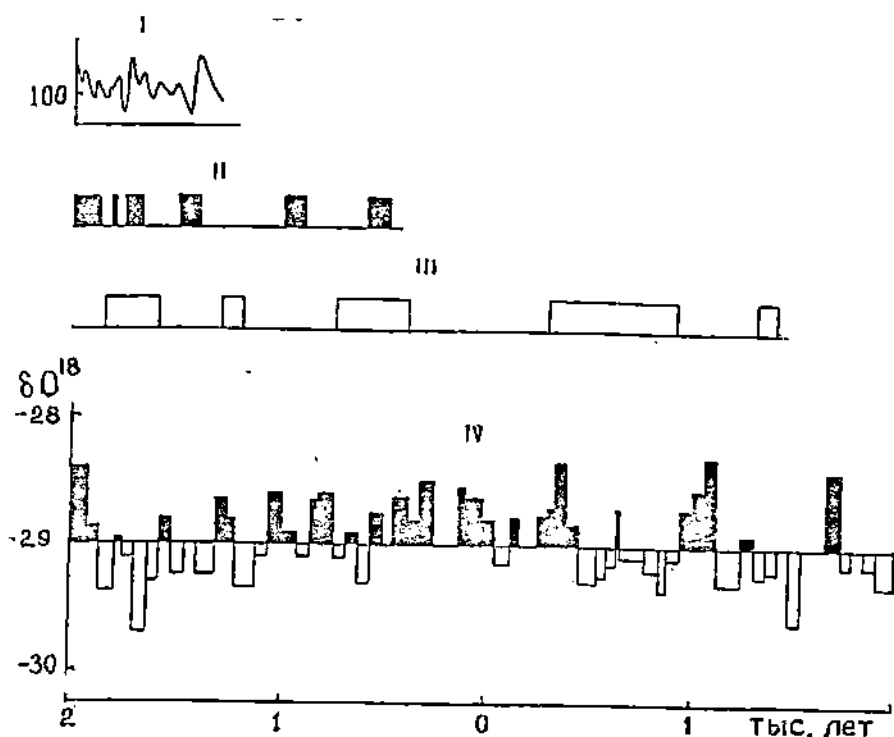


Рис. Связь изотопного соотношения с фазами оледенения, селевой активностью и дендрохронологией. I-дендрограмма туркестанского можжевельника (Тянь-Шань) за последние 600 лет, II-колебания селевой активности в Приэльбрусье (Кавказ) за последние 2000 лет (лихенометрический метод), III-максимум альпийских ледников за последние 3500 лет, IV-профиль изотопного отношения кислорода  $O^{18}$  в колонке льда Кемп Сенчури (о. Гренландия) за последние 4000 лет.

На протяжении последних 1500 лет активизация селей приходится на стадии деградации ледников, связанных с увеличением температуры (активизация селей в середине XVIII и VII веков может быть связано с кратковременным увеличением температуры, отмечаемым изотопным соотношением); 3500 лет оледенение Альп коррелируется с изотопным соотношением в колонке Кемп Сенчури.

Следовательно, с большой степенью достоверности можно утверждать, что климат Северного Тянь-Шаня претерпел те же изменения. Окончание "Малого ледникового периода" в Северном Тянь-Шане способствовало отступанию ледников и образованию моренных озер и внутриледниковых емкостей, катастрофическое опорожнение которых приводит к образованию селей гляциального генезиса.

В Заилийском Алатау свидетельством мощного оледенения в прошлом являются конечные морены, возраст которых геологи относят к среднему и верхнему антропогену. Высотные отметки подошв конечных морен среднего антропогена расположены на 2000-2200 м, а верхнего антропогена на отметках, близких к 3000 м. В антропогене были и периоды, когда средняя температура воздуха была выше, чем в настоящее время [8], что приводило к значительному сокращению оледенения Заилийского Алатау. Доказательством этому может служить мощная толща рыхлых пород (сотни метров), расположенная под л. Туяксу и обнаруженная в ходе геофизических исследований, выполненных в рамках Международного геофизического года.

Анализ данных, приведенных в [14], свидетельствует о том, что общая продолжительность времени, когда климатические условия были близки к современным, не превышает 5 % времени четвертичного периода. Именно этим обстоятельством можно объяснить высокую степень изменчивости интенсивности выноса наносов во времени, которая упоминалась выше.

Относительно небольшие колебания климата,



имевшие место в последние столетия, не оказывали, судя по всему, существенного влияния на интенсивность селевой деятельности дождевого генезиса. Мощные сели дождевого генезиса в Заилийском Алатау образуются при выпадении интенсивных жидких осадков в высотной зоне 3000-3700 м. Как показывает практика, осадки с интенсивностью и слоем, достаточными для формирования селей, в упомянутой зоне в летний период выпадают несколько раз, однако сели - исключительно редкое событие. Так за последнее столетие в бассейне р.М.Алматы мощный сели дождевого генезиса образовался лишь в 1921 году. Объясняется это тем, что в подавляющем большинстве случаев осадки выпадают в зоне выше 3000 м в твердом виде, что приводит к растягиванию гидрографов паводков и, как следствие, уменьшению расходов до значений, меньших критических.

Сели дождевого генезиса в высокогорной зоне формируются в результате сдвига водонасыщенных рыхлообломочных пород в так называемых рытвинах [12]. Если расход паводков невелик, вода в безнапорном режиме движется в подземных каналах, выработанных в рыхлообломочных породах; увеличение расхода приводит к полному заполнению каналов водой и дальнейшему ее движению в напорном режиме, что способствует обводнению массивов, прилегающих к каналу стока и их сдвигу. В дальнейшем селевой процесс развивается как эрозионно-сдвиговой.

Для того, чтобы осадки в высотной зоне 3000-3700 м выпадали в жидком виде, необходимо, чтобы температура воздушных масс превышала на 7-10 °С существующие значения. В этом случае граница выпадения осадков в твердом виде переместится с высоты 3000 м до высоты 3700-4000 м. Подобные ситуации, как отмечалось выше, случаются крайне редко, но именно это обстоятельство приводит к тому, что вероятность формирования мощных селей дождевого генезиса в текущем столетии незначительно отличается от таковой в двух предыдущих столетиях,

относящихся к малому ледниковому периоду; подтверждением этому служат данные о прохождении селей в бассейне р. М. Алматы в середине XVIII и XIX вв., когда среднегодовая температура была ниже на 1-1,5 °С современной глобальной температуры и вероятность формирования селей гляциального генезиса была близка к нулю.

Более существенные понижения температуры, имевшие место в периоды оледенения антропогена и хорошо прослеживающиеся в колебаниях содержания изотопов в керне глубоководных осадков Тихого океана, приводили к снижению высотной отметки климатической снеговой линии практически на 1000 м. В результате этого селевые очаги высокогорной зоны находились под ледово-снежным панцирем, а рыхлообломочные породы были сцементированы льдом, что исключало возможность формирования в упомянутой зоне селей дождевого генезиса.

Поскольку климат в ледниковом периоде был, в основном, холодный и сухой, а условия среднегорья и низкогорья неблагоприятствовали селевым явлениям, селевая деятельность на северном склоне Заилийского Алатау практически прекращалась. Скорее всего прекращался или уменьшался до минимума речной сток. Вынос влекомых частиц на конусы был настолько мал, что положение русел не изменялось в течение ледникового периода. Стабильное положение русел на конусе выноса, практическое отсутствие осадков и, как следствие, отсутствие водной эрозии способствовали тому, что конусы выноса покрывались сплошным многометровым лессовым чехлом. Остатки лессового чехла, сформировавшегося в среднем антропогене, мощностью 15-20 м и до настоящего времени перекрывают значительную часть конусов выноса в западной части северного склона Заилийского Алатау. Изучение строения конуса выноса р. Аксай показало, что большая часть объема конуса выноса (более 90 %) представлена отложениями селей нижнего и среднего антропогена.

Потепление климата в верхнем антропогене привело к тому, что часть лессового покрова была снесена в результате водной эрозии, а селевые отложения верхнего антропогена оказались вложенными в отложения среднего антропогена в верхней части конуса выноса. Это объясняется тем, что часть конуса выноса образовалась в результате отложений мало-мощных селей, что привело к увеличению уклона в верхней части конуса выноса. Более мощные сели, прошедшие в более позднее время, не только не откладывались в верхней части конуса выноса, но и вовлекали отложившийся рыхлообломочный материал в движение.

Селевая активность в будущем предопределится сценарием изменения климата. По А.И.Шеко "...мы находимся на самой ранней стадии длительного отступления ледников, связанного с 1850-летним циклом. В ближайшие несколько веков (700-800 лет) ледники, видимо, будут деградировать" [13]. Изменение климата Земли находит подтверждение в повышении температуры воздуха северного полушария в сравнении с доиндустриальным периодом на  $0,53^{\circ}\text{C}$  [10]. Считается возможным удвоение доиндустриальной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере к 2030 г. при сохранении существующих темпов загрязнения, что приведет к повышению глобальной приземной температуры воздуха в среднем на  $3^{\circ}\text{C}$  [1, 2, 17, 18]. В такой ситуации можно ожидать существенного увеличения селевой активности на северном склоне Заилийского Алатау. Уменьшение площади оледенения приведет к прекращению селей гляциального генезиса в бассейнах рек Узынкаргалы, Шамалган, Каргалинка, Проходная и некоторых других бассейнах; однако увеличится вероятность возникновения, быстрого роста и прорыва озер моренно-ледниковых комплексов в бассейнах, характеризующихся относительно мощным оледенением.

Значительно увеличится вероятность формирования селей и дождевого генезиса. Увеличение температуры воздуха на  $4-5^{\circ}\text{C}$ , вследствие изменения

климата, поднимет верхнюю границу зоны выпадения осадков в жидкой фазе и практически все очаги селеформирования окажутся в зоне выпадения жидких осадков. Вероятность формирования селей дождевого генезиса резко возрастет. Незначительное увеличение температуры воздуха (на 1-1,5 °С), возможно не приведет к существенному изменению селевой активности северного склона Заилийского Алатау. Основанием для такого утверждения служит то обстоятельство, что хотя с 1850 г. по настоящее время средняя температура увеличилась на 1-1,5 °С, повторяемость мощных селей дождевого генезиса осталась неизменной и в XX веке.

Изменение селевой активности северного склона Заилийского Алатау, обусловленное изменением климата, должно найти отражение в генеральной схеме защиты городов и населенных пунктов Казахстана от селей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко М.И. Изменения климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 280 с.
2. Воргина С.О. Режим снежного покрова и снеговые нагрузки на территории республики Казахстан: Автореф. дис... канд. геогр. наук. - Алматы, 1994. - 20 с.
3. Калмынкина Е.М., Горбунов А.П. Причины возникновения и рельефообразующая роль Иссыкского селя // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1967. - N 4 - С. 53-58.
4. Керемкулов В.А. Морфометрические характеристики и классификация моренных озер // Селевые потоки. - 1985. - Сб. 9. - С. 36-47.
5. Колебания климата за последнее столетие / Под ред. Е.П. Борисенкова. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 407 с.
6. Кукал З. Скорость геологических процессов. - М.: Мир, 1987. - 246 с.
7. Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 года.

- Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 279 с.
8. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 407 с.
  9. Мочалов В.П., Степанов Б.С. Способы контролируемого опорожнения высокогорных селеопасных озер // Селевые потоки. - 1984. - Сб.8. - С. 108-117.
  10. Предстоящие изменения климата // Совместный советско-американский отчет о климате и его изменениях / Под ред. М.И.Будыко. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 271 с.
  11. Серебрянный Л.Р., Орлов А.В. Тянь-Шань глазами гляциолога. - М.: Наука, 1988. - 143 с.
  12. Хонин Р.В. О морфологии и распространении селевых очагов в Заилийском Алатау // Селевые потоки. - 1977. - Сб.2. - С. 84-93.
  13. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. - М.: Недра, 1980. - 296 с.
  14. Яфязова Р.К. Климат и селевая активность / Каз.н-и.гидромет.ин-т (КазНИГМИ). - Алматы, 1995. - 6 с.: 2 ил. - Деп. в КазгосИНТИ 30.03.95, N 5984-Ка95.
  15. Яфязова Р.К. О конусах выноса горных рек Заилийского Алатау / Каз.н-и.гидромет. ин-т (КазНИГМИ). - Алматы, 1995. - 8 с.: 4 ил. - Деп. в КазгосИНТИ 30.03.95, N 5982-Ка95.
  16. Яфязова Р.К. О генезисе конусов выноса рек хр.Заилийский Алатау / Каз.н-и.гидромет.ин-т (КазНИГМИ). - Алматы, 1995. - 5 с.: 1 ил. - Деп. в КазгосИНТИ 30.03.95, N 5983-Ка95.
  17. Hu R. Current information of meteorological service in Japan // J.Glaciol and Geocryol. - 1987. - Spec. Issue. - P. 61-66.
  18. Sack R.L., Giever P.M. Similitude considerations for roof snow loads // Cold Reg.Sci. and Technol. - 1990. - N 1. - P. 59-71.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## ЛЕБОЙЫ АЛАТАУЫ СОЛТҮСТІК БЕТКЕЙЛЕРІНДЕГІ СЕЛДІҢ БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ КЛИМАТТЫҢ ЫҚПАЛЫ ТУРАЛЫ

Техн. р. канд. Б.С. СТЕПАНОВ  
Р.К. ЯФЯЗОВА

Лебойы Алатауы солтүстік беткейлеріндегі өзен суынан жиналған қиыршық-салындыны зерттеу барысында селдің пайда болмауына климаттың құбылыстары басты тұлға екендігін көрсетеді. Климаттың алдағы жүзжылдықтағы болжаулы өзгерістері Қазақстанның таулы жүйелеріндегі селдің белсенділігіне айтарлықтай ықпал етуі мүмкін. Климат өзгерістері барысында Лебойы Алатауы солтүстік беткейлеріндегі ықтималды селдің белсенділігіне баға беріледі.