

УДК 551.311.8:551.583(235.216)

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА СЕЛЕФОРМИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Р.К. Яфязова

*Рассмотрены изменения селеформирующих факторов при колебании климата на примере бассейна р. М. Алматинки, расположенного на северном склоне Заилийского Алатау. Показано, что потепление климата на 3<sup>0</sup>С потребует кардинального пересмотра стратегии и тактики защиты населения и объектов хозяйственной деятельности от селевых потоков.*

Климат является определяющим фактором многих природных явлений, носящих катастрофический характер. Его влияние на стихийные явления в основном обусловлено изменениями характеристик метеорологических величин. Селевые явления - многофакторные процессы, главными из которых, как известно, являются климатический, гидрологический, геоморфологический, геологический и гляциологический факторы. Влияние климатического фактора на селевые процессы в горных системах, где существовало или существует оледенение, проявляется не только вследствие изменения характеристик метеорологических величин. Колебания температуры приводят к существенной перестройке оледенения горных систем. Ее уменьшение ведет к понижению высоты климатической снеговой линии, увеличению размеров ледников. Вследствие этого площади водосборов селевых бассейнов могут сокращаться в несколько раз, в меньшей мере уменьшаться средние уклоны очагов селеобразования.

Рассмотрим изменение селеформирующих факторов при колебании климата на примере бассейна р. М. Алматинки, расположенного на северном склоне Заилийского Алатау. Известно, что на протяжении четвертичного периода климат претерпевал значительные изменения. Судя по содержанию изотопа кислорода  $O^{18}$  в керне глубоководных осадков из Тихого океана [5], среднегодовая температура опускалась ниже современной на 11-13<sup>0</sup>С, а поднималась на 1-3<sup>0</sup>С. Столь значительные изменения среднегодовых температур не могли не отразиться и на климате Заилийского Алатау [2]. Свидетельством этому являются остатки древних морен на высоте 1700-1800 м. Если считать, что температурный градиент мало зависит от климата и принять его равным 0,6<sup>0</sup>С на 100 м, то положение ледника на высоте 1700-1800 м соответствует понижению температуры на 10,2<sup>0</sup>С по сравнению с современным значением. Эта величина хорошо

согласуется с упомянутой выше минимальной температурой, которая была определена из изотопного соотношения.

В результате геофизических исследований, выполненных в ходе Международного геофизического года, под ледн. Центральный Туоксуйский обнаружены рыхлообломочные отложения, мощность которых составляет более сотни метров [1]. Эти отложения не могут быть донными моренами ледн. Центральный Туоксуйский, так как мощность донных морен должна быть одного порядка с размерами наиболее крупных частиц, входящих в их состав, т.е. 5-10 м. Рыхлообломочные толщи мощностью в сотни метров образуются при формировании конечных морен отступающих ледников. Мощность таких морен при определенных скоростях отступления ледников и поступления рыхлообломочного материала, который транспортируется ими, соизмерима с мощностью ледников. При относительно быстром отступании ледников образующиеся рыхлообломочные отложения могут иметь мощности, значительно меньшие, чем ледников. Однако при неоднократном оледенении и незначительном выносе наносов в межледниковые периоды возможно превышение суммарной мощности наносов над мощностью ледников.

В период наступания ледников вероятность формирования селей гляциального генезиса мала, так как отсутствуют предпосылки для образования озер и емкостей моренно-ледниковых комплексов. Известно, что образование и развитие ледниковых озер занимает период 50-100 лет. Условия, благоприятные для этого, имеются лишь в области, прилегающей к языку ледника. При наступании ледников эти области, с образующимися озерами и емкостями, перемещаются в область таяния быстрее, чем успевают развиться селеопасные озера. В этот период главную роль в выносе наносов играют сели дождевого генезиса, однако и их масштабы уменьшаются вследствие соответственного изменения площадей водосборов, уклонов областей формирования селей; существенно изменяются и характеристики стокообразующих поверхностей.

При формировании мощных селей, когда длительность селевого процесса превышает время концентрации стока, площадь водосбора, в первом приближении, определяется как площадь бассейна за исключением площади оледенения. Если принять, что в условиях максимально холодного климата разница высот между концом ледника и границей выпадения осадков в жидком виде была близка к ныне существующей, то площадь водосбора осадков, выпадающих в жидком виде, была около  $45 \text{ км}^2$ , т.е. в 2,7 раза меньше современного значения.

Резко уменьшалось и превышение водосборов над тальвегами русел, где концентрировался сток и, как результат, значительно сокращались их длины, а также, что особенно важно для селеобразования, - уклоны русел малых порядков, в которых могло происходить насыщение водных потоков твердой составляющей.

Быстро достигая русла р. М. Алматинки или ее крупных притоков, образующаяся смесь распадается, происходит отложение относительно крупных частиц, либо их передвижение путем качения со скоростями, значительно меньшими средних скоростей движения смесей, в которых твердые фракции перемещаются во взвешенном состоянии. Это приводит к увеличению количества крупных частиц в придонном слое, препятствующих эрозионным процессам в основных руслах.

Вероятность образования селеформирующих паводков снижалась и за счет изменения характеристик стокообразующих поверхностей, определяющих возможность селеформирования. В условиях современного климата мощные сели дождевого генезиса образуются в результате выпадения ливневых осадков в зоне 3000-3700 м, представленной в основном скалами и склоновыми отложениями. Если коэффициент стока на скалах близок к единице, то на склоновых отложениях он зависит от физико-механических характеристик отложений, наличия и вида растительного покрова, предварительного увлажнения. Коллювий, образующийся в высотной зоне 3000-3700 м, в условиях современного климата обладает фильтрацией, близкой к провальной. Благодаря этому создаются условия для накопления воды в толщах 2-5 м и, в конечном счете, сдвига водонасыщенных массивов. В процессе движения грунты разжижаются, образуя грязекаменные потоки, дающие начало селевым процессам в руслах временных и постоянных водотоков.

Мощные сели дождевого генезиса формируются в Заилийском Алатау при выпадении интенсивных и достаточно продолжительных осадков. Ливневые осадки должны выпадать во всех высотных зонах в жидком виде. Продолжительность осадков должна превышать время концентрации стока в речной сети III-IV порядков. В этом случае практически весь речной сток трансформируется в грязекаменную массу. В высокогорной зоне интенсивность выпадающих осадков должна быть такой, чтобы концентрирующийся в подземных каналах рытвин сток осуществлялся в напорном режиме. В этом случае происходит обводнение рыхлообломочных пород, вмещающих каналы стока, до состояния, при котором происходит их сдвиг [6].

Анализ условий возникновения селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау указывает на то, что продолжительность селеформирующих осадков превышает 40-60 мин при интенсивности осадков не менее 0,3-0,5 мм/мин. Ливневые осадки с подобными характеристиками бывают ежегодно, однако в очагах селеформирования они выпадают, в подавляющем числе случаев, в твердом виде. Понижение фирновой линии до 2000-2100 м приводит к тому, что стокообразующими поверхностями становятся склоны, обладающие развитым почвенным и растительным покровом, что в корне меняет условия стокообразования. Наличие почвенного покрова препятствует накоплению влаги в нижележащих толщах

рыхлообломочных пород, уменьшая вероятность сдвиговых селевых явлений и, тем самым, возможность образования грязекаменных селей в руслах водотоков, движущихся на относительно малых уклонах. Ледниковые периоды характеризуются холодным и сухим климатом. В эти периоды вынос наносов был крайне незначительным и, следовательно, отсутствовали крупные паводки, сели дождевого и гляциального генезисов.

Особенности механизмов образования аллювиальных и пролювиальных конусов выноса [7] позволяют с очень высокой степенью достоверности утверждать, что в течение наиболее мощного ледникового периода, известного в Европе как Днепровское оледенение, вынос аллювия, а тем более вынос селями грязекаменных масс на конусы выноса, расположенные на предгорной равнине, практически не имел место. Доказательством этому является наличие лесса на поверхности селевых отложений на конусах выноса. Известно, что водные потоки движутся на конусах выноса в руслах, сформированных постселевыми паводками. Если бы вынос аллювиальных отложений в период накопления лесса был значительным, то постселевое русло заполнялось бы аллювиальными отложениями. В результате этого водный поток смещался бы влево или вправо относительно постселевого русла, размывая и унося лессовые отложения, накопившиеся на конусе выноса в межселевые периоды.

Если бы в период накопления лесса имели место сели, то при их прохождении потоки, не помещаясь в постселевых руслах, также смещались бы вправо или влево, разрушая лессовый покров. При этом на конусах выноса наблюдались бы селевые отложения, уровень которых имел высотные отметки большие, чем отметки селевых отложений, граничащих с лессовым покровом в створе наблюдения.

Изучение отложений на конусе выноса Заилийского Алатау показало, что ни та, ни другая ситуация на конусе выноса Заилийского Алатау не наблюдаются. Следовательно, можно утверждать, что в ледниковые периоды вынос наносов был крайне незначительным. Из последнего следует, что в обсуждаемом периоде отсутствовали значительные паводки дождевого и гляциального генезисов.

С потеплением климата, вследствие отступления ледников, создавались условия для образования моренных озер, прорыв которых приводил к формированию селей и выносу больших объемов наносов. В результате подъема климатической снеговой линии соответственно смещалась верхняя граница выпадения ливневых осадков в жидком виде, увеличивалась площадь водосбора, возрастала вероятность формирования селей дождевого генезиса. В первом приближении, объем наносов, вынесенный из бассейна р. М. Алматинка на конус выноса за последние 120-150 тыс. лет, близок к  $0,5 \text{ км}^3$ . Поскольку в четвертичном периоде в бассейне р. М. Алматинка было около 5-6 близких по масштабу оледенений, а объем ее конуса выноса оценивается в  $2,5 \text{ км}^3$ ,

можно сделать вывод о правильности оценки объема выноса наносов за верхнечетвертичный период.

Климат конца XX века, с учетом того, что в середине прошлого столетия закончился Малый ледниковый период, а перестройка селеформирующих факторов, вследствие инерционности, занимает несколько десятилетий, наиболее благоприятен для селевой деятельности. В настоящее время происходит практически повсеместное отступление ледников, сопровождающееся образованием на последних западных, каровых и провальных озерах. В то же время размеры ледников сократились незначительно по сравнению с размерами, имевшими место в конце Малого ледникового периода. Следовательно, размеры формирующихся западных озерах могут иметь практически максимальные для климата голоцена значения. Наибольшие размеры могут иметь и озера карового типа, поскольку в большинстве случаев концы ледников, забронированные моренными отложениями, оторвались от ледников и при этом образовались емкости, заполнение которых может привести к образованию озера и их катастрофическому прорыву [4].

Благоприятными могут считаться условия и для образования селей дождевого генезиса в высокогорной зоне. При современном положении климатической снеговой линии вероятность выпадения в высокогорной зоне ливневых осадков в жидком виде возросла до значений, при которых можно ожидать формирования мощных селей дождевого генезиса один раз в 25-50 лет в каждом из крупных селевых бассейнов.

Изменение селевой активности в зависимости от средней температуры воздуха схематически изображено на рисунке. Если условно показать изменение климата в виде синусоиды, то активность гляциальных селей максимальна при повышении температуры (в степени, достаточной для того, чтобы ледники отступали) в период наибольшего распространения оледенения. С сокращением площади оледенения максимальные характеристики селей уменьшаются, с исчезновением оледенения сели гляциального генезиса прекращаются.

Сели дождевого генезиса максимальны, когда оледенение практически исчезает. Этому способствует как максимум площади водосбора, так и то обстоятельство, что очагами селя становятся наиболее крутые участки рельефа, покрытые мощным слоем несвязных рыхлых пород.

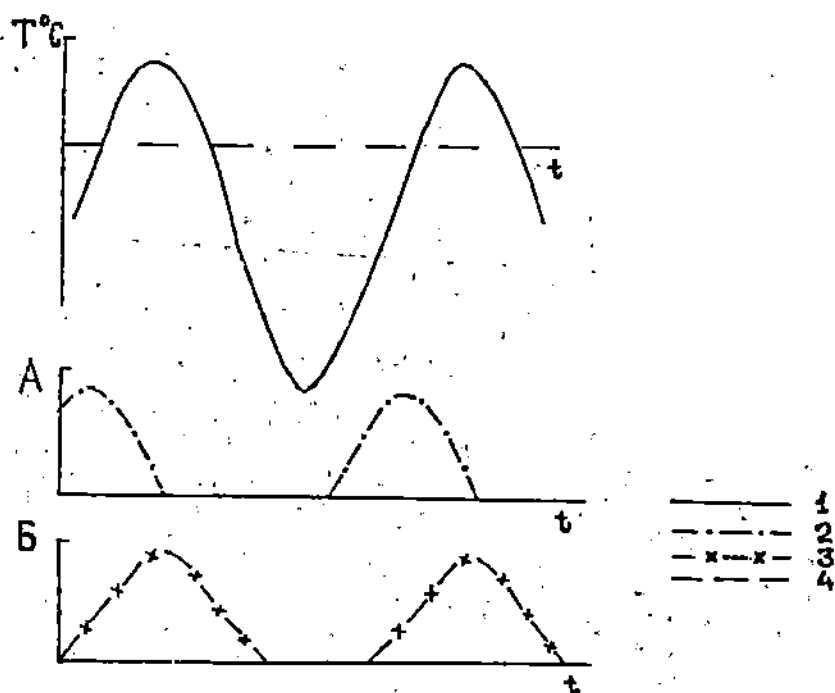


Рис. Гипотетическая схема изменения селевой активности во времени ( $t$ ) в зависимости от глобальной температуры воздуха. 1 - изменение глобальной температуры воздуха,  $T$ ; 2 - активность гляциальных селей,  $A$ ; 3 - активность селей дождевого генезиса,  $B$ ; 4 - значение температуры в настоящее время.

Прогнозируемое потепление климата на 4-5 °C в летний период [3] может существенно повлиять на селевую активность на северном склоне Заилийского Алатау. При увеличении температуры на 3 °C положение климатической снеговой линии поднимется на 400-500 м, это приведет практически к полному исчезновению каровых ледников, и, следовательно, условий для образования озер карового типа. Размеры долинных ледников значительно сократятся, произойдет распад ледниковых систем. Несмотря на то, что общая площадь оледенения уменьшится, вероятность формирования и масштабы селевых явлений в ближайшие десятилетия, скорее всего, возрастут. Причиной тому станет увеличение числа прорывоопасных озер на ледниках, образовавшихся в результате распада оледенения, существующего в настоящее время.

Значительно возрастет вероятность формирования селей дождевого генезиса. Это объясняется тем, что в результате потепления во всей высокогорной зоне, характеризующейся наибольшим средним уклоном, в которой скопилось большее количество рыхлообломочных пород, станет возможным выпадение ливневых осадков в жидком виде.

Провальная фильтрация, характерная для упомянутых отложений, будет способствовать аккумуляции воды в рыхлой толще, создавая условия для реализации сдвиговых селевых процессов. Поскольку площади водосборов примут максимальные значения, а запасы рыхлообломочных пород в моренах отступивших ледников практически неограничены, характеристики селей дождевого генезиса (объемы, расходы) будут иметь максимально возможные значения.

Существенные изменения селевой активности в результате потепления климата требуют кардинального пересмотра стратегии и тактики защиты населения и объектов хозяйственной деятельности. Основным направлением борьбы с селями должны стать превентивные мероприятия, направленные на предотвращение селевых явлений или уменьшения их объемных и расходных характеристик. К таким мероприятиям относятся искусственное опорожнение моренных озер и активное воздействие на характеристики осадков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровинский Б.А. Электроразведочные работы на морене Малоалматинских ледников // Гляциологические исследования в период МГГ: Заилийский и Джунгарский Алатау. - Алма-Ата: АН КазССР, 1961. - Вып. I. - С. 113-135.
2. Герасимов В.А. О следах древнего оледенения в Заилийском Алатау // Гляциологические исследования в период МГГ: Заилийский и Джунгарский Алатау. - Алма-Ата: АН КазССР, 1961. - Вып. I. - С. 150-169.
3. Долгих С.А., Пилифосова О.В. О методах оценки ожидаемых изменений глобального климата и сценарии изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 4. - С. 94-109.
4. Медеуов А., Колотилин Н.Ф., Керемкулов В.А. Сели Казахстана. - Алматы: Галым, 1993. - 160 с.
5. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. - Л.: Гидрометеорологиздат, 1979. - 408 с.
6. Степанов Б.С. К проблеме прогноза опасных гидрометеорологических явлений // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С. 161-174.
7. Яфязова Р.К. Особенности механизмов формирования конусов выноса горных рек // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С. 175-187.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## СЕЛДІҢ ҚАЛЫПТАСУ ФАКТОРЛАРЫНА КЛИМАТТЫҢ ӘСЕРІ

Р.К.Яфязова

Іле Алатауының солтүстік беткейінде орналасқан кіші Алматы өзені мысалында сел қалыптасу факторларының өзгерісіне климаттың өзгеру әсері қарастырылды. Климаттың  $3^0$  С жылынуына байланысты сел тасқынынан шаруашылық объектілер мен халықты сақтау жолдарын және стратегияны қайта қарау маңызы көрсетілген.