

УДК 551.311.8:551.583 (235.216):627.141.1

## НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Канд. техн. наук Б.С. Степанов

А.Х. Хайдаров

Канд. геогр. наук Р.К. Яфязова

*Прогнозируемое изменение климата, в частности увеличение глобальной температуры на 3-4 °С, приведет к многократному увеличению частоты повторения селевых явлений гляциального и дождевого генезисов. В такой ситуации защита от селей с помощью глухих плотин становится не только неэффективной, но даже опасной. Основная роль в условиях частого повторения мощных селевых явлений должна принадлежать превентивным мероприятиям. Такая стратегия позволит значительно сократить расходы на противоселевые мероприятия.*

Современная концепция защиты от селевых потоков г. Алматы и других населенных пунктов у подножия северного склона Заилийского Алатау совершенствовалась более 50 лет. Первые довоенные проекты базировались на представлениях о селевых потоках как паводках, насыщенных смытым с эродированных водосборных площадей грунтом (экспедиция Всесоюзного агролесомелиоративного института, 1932 - 1934 гг.); затем как паводков с расходами сотни кубометров в секунду, размывающих русловые отложения и насыщающихся ими до плотности 1,4 - 1,6 кг/м<sup>3</sup> (экспедиция Академии коммунального хозяйства РСФСР под руководством Н. С. Дюрнбаума, 1937 - 1940 гг.). Соответственно этим представлениям изменялись и способы защиты: лесомелиорация, террасирование склонов, укладка в руслах огромного количества каменных завалов высотой до 5 м, устройство котлованов-селеуловителей, осветленная вода из которых должна была сбрасываться по канализированному руслу р. Весновка с расходами до 800 м/с !

Этап 1930 - 1940 гг. завершился проектом Казахского Госстройпроекта 1949 - 1951 гг., предусматривавшего лишь котлованы-селеуловители и водосбросной тракт на р. Весновка. Проект оценивался в 20 млн рублей по курсу 1961 г. По разным причинам ни один из этих проектов не был осуществлен, за исключением постройки нескольких опытных сооружений.

В середине 50-х годов Гипроводхоз Минсельхоза СССР предложил соорудить завальную плотину взрывным способом в урочище Медеу (бассейн р. М. Алматинка), вододелитель на р. Весновка, облицовку ее русла. Предусматривалось также обвалование русла р. Б. Алматинка, строительство плотины в районе Весновской дамбы. Стоимость работ первой очереди оценивалась в 4,7 млн рублей. Этот проект начал осуществляться в 1959 г. - построен вододелитель, частично облицовано русло р. Весновка.

В 1964 г. Казгидропроект разработал новый проект плотины в урочище Медеу, в эти же годы построены 4 сквозных металлических селеуловителя и габионная плотина в урочище Мынжилки. Из этих сооружений к настоящему времени уцелели 2 нижних селеуловителя. Остальные уничтожены селом 1973 г.

Направленными взрывами в 1966-1967 гг. в урочище Медеу была создана основа уникальной каменно-набросной плотины. К 1972 г. емкость селехранилища путем механизированной досыпки плотины была доведена до 6,2 млн м<sup>3</sup>. Все перечисленные проекты были разработаны под «гидрологическую» концепцию селеобразования. Согласно этой концепции в селехранилище остается лишь 30 % объема поступившей в него селевой массы, остальная, в виде жидкого стока, сбрасывается в нижний бьеф с безопасными расходами. Селехранилище Медеу должно было обеспечить задержание селевого потока ливневого происхождения, вызванного осадками с повторяемостью один раз в 10 тыс. лет. Предполагалось, что селехранилище может принять 2 селя объемом 1921 г., несколько десятков мелких и прослужить до полного заполнения более 100 лет.

В 1972 г. на Чемолганском селевом полигоне КазНИГМИ под руководством Ю.Б. Виноградова впервые в мировой практике были проведены эксперименты по воспроизведению искусственных селевых потоков в естественных условиях. Первые же опыты показали несостоятельность «гидрологической» концепции. Попуски воды

из водохранилища расходом  $26 \text{ м}^3/\text{с}$  вызвали селя расходом  $430 \text{ м}^3/\text{с}$ , а плотность селевой массы составила  $2\,400 \text{ кг}/\text{м}^3$ , причем свободной воды в селевой массе практически не было. Стало ясно, что в Заилийском Алатау господствуют не наносоводные, а грязекаменные сели высокой плотности, что подтвердилось в 1973 г., когда гигантский селя гляциального генезиса объемом  $3,8 \text{ млн м}^3$  был задержан в время сооруженной плотинной в урочище Медеу. Изучение Гидропроектом селевых отложений 1921 г., следов Иссыкского селя 1963 г., а главные работы КазНИГМИ послужили основанием для пересмотра подходов к проектированию противоселевых сооружений.

Опыт работы селезащитных сооружений, имевшийся к 1973 г., убедил проектировщиков, что противостоять мощному грязекаменному селевому потоку дождевого (1921 г.) или гляциального (1973 г.) генезисов могут только массивные конструкции; поэтому главным направлением борьбы с селевой опасностью стало задержание селей в горных долинах.

Осуществлялось и превентивное опорожнение моренных озер или понижение их уровня. В практике селезащиты - это постепенное углубление траншейного водосброса через озерную перемычку методом ручной разборки и промывания траншеи озерными водами, специально накапливаемыми с помощью временных плотин. И хотя декларировалось, что эти работы должны проводиться в неселеопасный период, выполнялись они, как правило, до ледостава на озерах. Есть примеры удачного опорожнения моренных озер - это озеро Богатырь, где перемычка была разрушена с помощью взрывов и озеро Жарсай (бассейн р. Иссык).

В других случаях усилия по опорождению озер не приводили к желаемым результатам. Так, озеро на ледн. М. Маметовой пытались опорожнить неоднократно, но ситуация лишь усугублялась. Есть и примеры селевых катастроф. В период проведения работ по опорождению озера в бассейне р. Кумбель (3 августа 1977 г.) сформировался катастрофический селя на реках Кумбельсу и Б. Алматинка с объемом в несколько миллионов кубометров. Катастрофа показала, что без должной научной и технической проработки спуск моренных озер крайне опасен.

Другой метод борьбы с селями реализован в результате строительства плотины Мынжилки, призванной служить емкостью для ре-

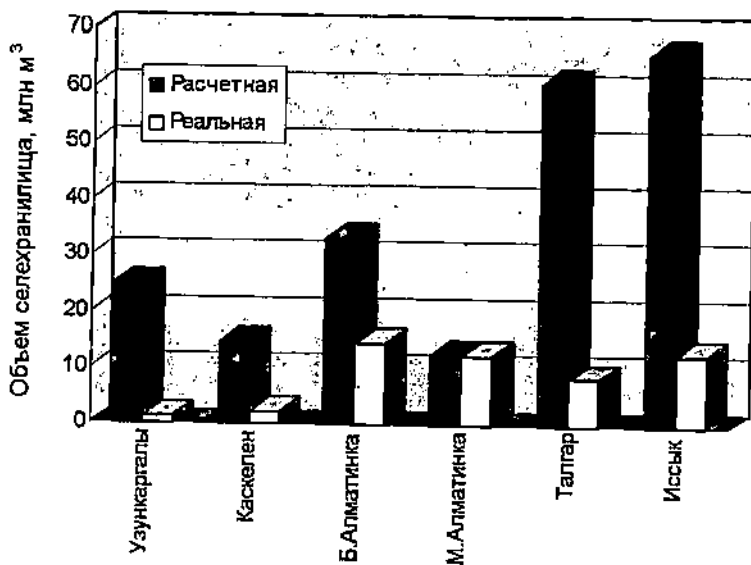
гулирования прорывных ледниковых паводков. Надо заметить, что эта емкость выполнит свое назначение только в том случае, если в нее поступит вода, а не селевая масса. Таким образом, основой существующей ныне концепции защиты от селевых потоков является строительство мощных плотин для задержания селей. В качестве дополнительных мер используется превентивное опорожнение емкостей моренно-ледниковых комплексов.

Реализуемая в последние десятилетия концепция защиты от селей разрабатывалась в отсутствие научно обоснованных представлений о степени селевой активности бассейнов рек северного склона Заилийского Алатау. Наиболее достоверная информация о селевой активности имела лишь по бассейну р. М. Алматинка. Оценка реальной селевой опасности стала возможной в результате исследований, выполненных в КазНИИМОСК в 1993 - 1998 гг. [1, 2, 3, 4, 5]. Это позволило дать объективную оценку правильности проектных решений по защите населенных пунктов и объектов хозяйственной деятельности в основных бассейнах рек северного склона Заилийского Алатау. Результаты расчета необходимой емкости селезадерживающих сооружений и паспортные данные плотин, возведенных к настоящему времени, приведены на рис. 1.

Основой расчета является проверенная временем селевая активность бассейна р. М. Алматинки, в течение столетия в котором сформировалось 2 селя суммарным объемом, близким к 8 млн м<sup>3</sup>, и данные о селевой активности других бассейнов, оцененные по объемам конусов выноса, замыкающих упомянутые бассейны.

Нетрудно видеть, что емкость плотины в бассейне р. Узункаргалы почти в 18 раз меньше необходимой, в бассейне р. Каскелен - в 7 раз, в бассейне р. Б. Алматинка - в 2,6 раза, в бассейне р. Талгар - в 7 раз, в бассейне р. Иссык - в 6 раз. Ситуация, при которой емкости селезащитных сооружений существенно меньше необходимых, представляет большую опасность, так как переполнение селехранилищ и перелив селевой смеси через гребни плотин чреваты разрушением селехранилищ.

Расчеты показали, что суммарная емкость селезадерживающих сооружений на северном склоне Заилийского Алатау должна быть не менее 200 млн м<sup>3</sup>, реальная же емкость составляет лишь 55 млн м<sup>3</sup>.



*Рис. 1 Рассчитанные и реально существующие емкости селезащитных сооружений*

Если учесть, что стоимость задержания  $1 \text{ м}^3$  селевой смеси с помощью селезадерживающих сооружений составляет  $2 - 3 \text{ \$/м}^3$ , то для строительства селезащитных сооружений, надежно защищающих населенные пункты и объекты хозяйственной деятельности только в обсуждаемом районе, необходимо более  $500 \text{ млн \$ USA}$ .

Такие затраты необходимы при существующих характеристиках климата, в случае же потепления климата неизбежно их многократное увеличение. В условиях современного состояния экономики страны, а также в ближайшие десятилетия такие затраты являются непосильными.

Наличие угрозы жизненным интересам более чем  $20 \%$  населения Республики Казахстан, обусловленной активизацией селевых явлений, результаты научных исследований, выполненных за последние годы, а также накопленный опыт противоселевых мероприятий приводят к выводу о необходимости пересмотра стратегии борьбы с селевыми явлениями. Как отмечалось выше, главным направлением реализуемой в настоящее время стратегии селезащиты является строительство селезадерживающих сооружений. Второсте-

пенная роль отводится задержанию паводковых вод в высокогорной зоне (габионная плотина в урочище Мынжилки), а также превентивному опорожнению селеопасных озер. Затраты на превентивные мероприятия составляют менее 5 % от средств, выделяемых на селезащитные мероприятия. Предлагаемая концепция стратегии борьбы с селевыми явлениями требует коренного пересмотра соотношения затрат на противоселевые мероприятия.

Генеральным направлением деятельности организаций, занимающихся обеспечением безопасности населения и функционирования объектов хозяйственной деятельности, должны стать превентивные мероприятия.

Главными из них следует считать:

- предотвращение зарождения емкостей моренно-ледниковых комплексов;
- принятие мер по стабилизации характеристик существующих потенциально опасных котловин и емкостей моренно-ледниковых комплексов;
- превентивное опорожнение емкостей моренно-ледниковых комплексов;
- задержание в высокогорной зоне паводковых вод, обусловленных прорывом емкостей моренно-ледниковых комплексов;
- поддержание работоспособности существующих селезащитных сооружений, последние следует рассматривать в качестве резерва, призванного подстраховывать превентивные мероприятия.

Изменение концепции борьбы с селевыми явлениями позволит:

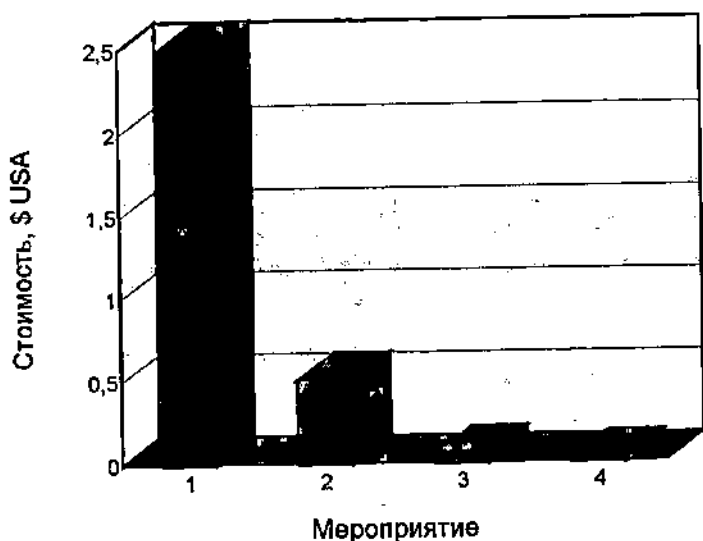
- предотвратить отрицательные последствия нарушения экологического равновесия, которые могут произойти в результате активизации селевой деятельности в высокогорной зоне;
- значительно сократить затраты на противоселевые мероприятия.

Потепление глобального климата на 1,5 - 3 °С, при непринятии мер по снижению селевой активности, приведет к активизации эрозионных процессов, выносу наносов, опустыниванию не только высокогорной зоны, но и предгорных равнин, на которых формируются конусы селевых выносов, нарушению режима речного стока, резкому увеличению твердого стока. Появится значительная угроза

сохранению биоразнообразия горной и предгорной зон, хозяйственной деятельности в наиболее густо населенных районах Юга и Юго-Востока Казахстана.

Опыт борьбы с селевыми явлениями на северном склоне Заилийского Алатау показал, что при рациональном использовании научного потенциала Республики Казахстан затраты на производство селезащитных работ могут быть значительно снижены. Предотвращение ущерба, наносимого селями, может быть осуществлено различными способами. Наиболее эффективным способом борьбы с селями гляциального генезиса является предотвращение возникновения и развития озер моренно-ледниковых комплексов, их превентивное опорожнение. При благоприятных геоморфологических условиях положительный эффект может быть достигнут путем создания емкостей, которые способны аккумулировать паводковые воды, тем самым предотвращая селевые явления. Положительный результат достигается не только тем, что водные потоки не трансформируются в селевые, но и исключается вовлечение подрусовых и грунтовых вод в процесс селеформирования в ходе эрозионных процессов, вызванных прохождением селей. На рис. 2 приведены данные о стоимости задержания  $1 \text{ м}^3$  условной селевой смеси при различных способах борьбы с селевыми явлениями.

В результате исследований, выполненных в КазНИИМОСК за последние годы, установлено, что причиной зарождения селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау является сдвиг водонасыщенных пород в отрицательных формах рельефа. Обводнение рыхлообломочных пород происходит при выпадении ливневых осадков в жидкой фазе в случаях, когда подземные каналы стока не обеспечивают безнапорное движение паводковых вод. Возникновение селей можно предотвратить активным воздействием на интенсивность и фазовый состав осадков, либо проведением мелиорационных мероприятий в потенциальных очагах селеобразования. В настоящее время наиболее реально проведение мелиорационных мероприятий, которые должны заключаться в искусственной трансформации подземного стока в поверхностный сток. Для этого в прильвезной зоне очагов селеформирования необходимо с помощью шурфования и копки траншей проложить дренажную сеть, обеспечивающую вывод подземных вод на поверхность.



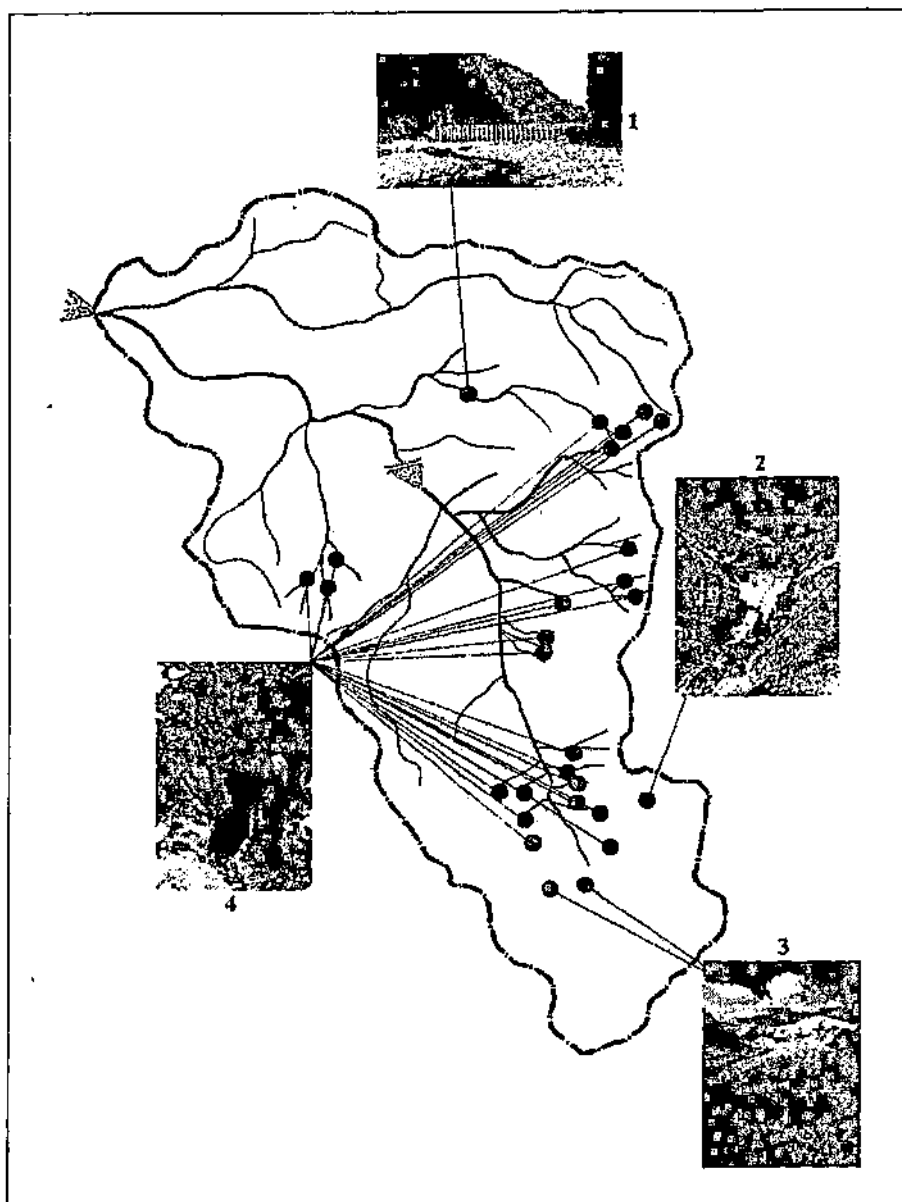
*Рис. 2 Стоимость задержания 1 м<sup>3</sup> условной селевой смеси: 1-селехранилища; 2-аккумуляция воды; 3-превентивное опорожнение; 4-предотвращение зарождения озёр*

Экспертная оценка показала, что затраты по предотвращению селей дождевого генезиса в бассейнах, близких по характеристикам к таковым бассейна р. М. Алматинки, составят не более 1 млн \$ USA, т.е. стоимость задержания 1 м<sup>3</sup> условной селевой массы не превысит 0,1 - 0,2 \$ USA. Таким образом, реализация новой стратегии защиты населенных пунктов и объектов хозяйственной деятельности только по территории, примыкающей к северному склону Заилийского Алатау, позволит сэкономить 400 - 450 млн \$ USA.

Карта-схема первоочередных мероприятий по снижению селевой опасности в бассейне р. М. Алматинка приведена на рис. 3. В соответствии с этой схемой предусматривается строительство селезадерживающей плотины на р. Кимасар; проведение мелиоративных работ в бассейнах рек Бутаковка, Кимасар, Чимбулак, Чертовом ущелье, в рывтинах верховьев рек Малая Алматинка и Горельник; опорожнение озера на ледн. М. Маметовой; предотвращение возникновения озерных котловин на ледниках Туюксу и Молодежный. Реализуемая в настоящее время стратегия борьбы с селевыми явлениями не предусматривает каких-либо мероприятий в низкогорной зоне (верхняя предгорная ступень) Заилийского Алатау, исключением



являются экспериментальные плотины в селевых очагах Кокчека (бассейн р. Б. Алматинка) и Акжар (бассейн р. Аксай).

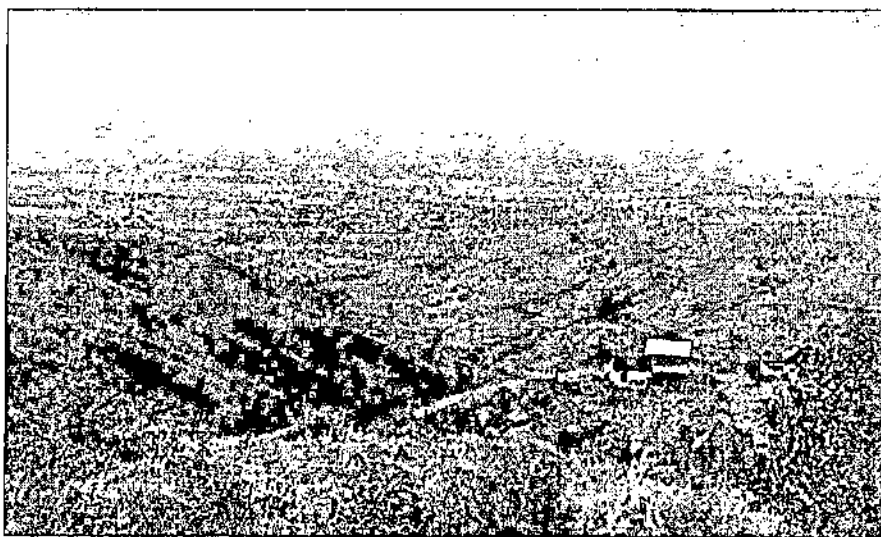


*Рис. 3 Первоочередные мероприятия по снижению селевой опасности в бассейне р. М. Алматинка: 1-строительство плотины; 2-опорожнение озер; 3-предотвращение возникновения озер; 4-мелиоративные мероприятия.*

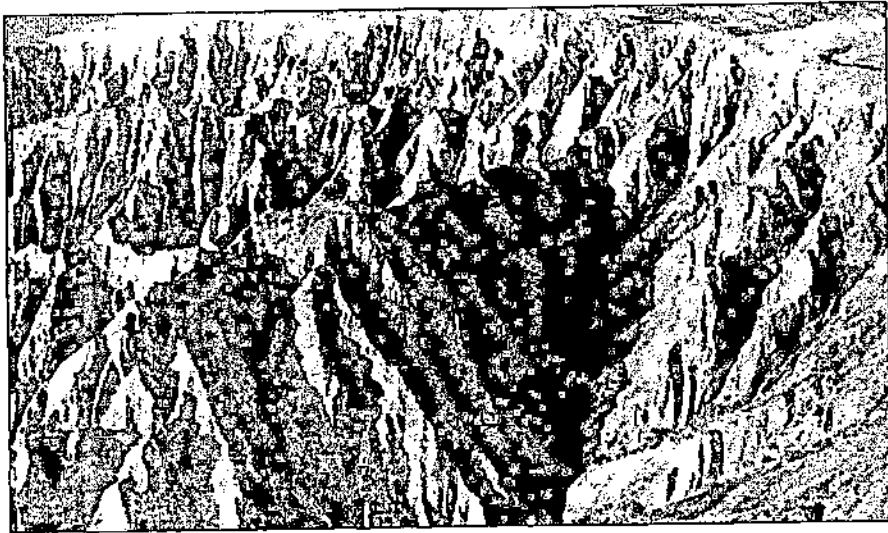
Верхняя предгорная ступень северного склона Заилийского Алатау образовалась в среднем плейстоцене в результате тектонического поднятия части предгорной равнины, на которой располагались конусы выноса основных горных рек. Ширина и амплитуда поднятия различны, наибольших значений они достигают на западе хребта в бассейнах рек Каскелен, Чемолган и Узункаргалы; ширина зоны поднятия превышает 20 км, а высота достигает 1000 м (плато Ушкунур). Образование верхней предгорной ступени привело к тому, что у ее подножия начали формироваться новые конусы выноса. Материалом для их образования служили как наносы, выносимые из верхнего яруса накопления, так и отложения, слагавшие верхнюю предгорную ступень. В период Вюрмского оледенения конусы выноса, образовавшиеся в Рисс-Вюрмское межледниковье, были перекрыты лессами. Лессовый покров на поверхности верхней предгорной ступени – основа сохранности верхней предгорной ступени от эрозионных процессов при выпадении ливней (рис. 4). Исчезновение лессового покрова превратит верхнюю предгорную ступень в бедленд – арену формирования селей дождевого генезиса в течение всего теплого периода года (рис. 5). Масштабы селевых явлений при этом настолько возрастут, что станут угрозой нормальной хозяйственной деятельности на предгорной равнине, примыкающей к верхней предгорной ступени.

Значительная часть верхней предгорной ступени освоена под сады и огороды, дачи и т. д. Это освоение носит бессистемный характер: без должного обоснования сооружаются дороги, оросительные системы, осуществляется бесконтрольный полив садово-огородных культур. Рельеф верхней предгорной ступени образовался в условиях недостаточного, по сравнению с антропогенной нагрузкой, увлажнения. Следствием этого является резкое возрастание частоты и масштабов оползневых явлений, трансформирующихся в селевые. В последние годы, в условиях относительно спокойной сейсмической обстановки, небольшие по размерам антропогенные сели привели к гибели людей. Даже 6-7 балльные землетрясения, как это наблюдалось в аналогичной ситуации в Таджикистане, могут привести к катастрофическим последствиям. Анализ возможных селевых катастроф, инициируемых землетрясениями, показывает, что в ближайшие десятилетия наибольшую угрозу, степень которой может регулироваться чело-

веком, представляют опорожнения моренных озер и оползни лессового пояса северного склона Заилийского Алатау. Для оценки состояния лессовых грунтов в условиях антропогенной нагрузки в июле 1998 г. был произведен отбор проб на влажность почво-грунтов низкогорной зоны Заилийского Алатау в интервале глубин 0,2-3,0 м. Отбор проб производился в процессе проходки скважин с помощью специально изготовленного в КазНИИМОСК почвенного бура. В районе работ пробурено 14 скважин глубиной 3,0 м на склонах северной, восточной, западной экспозиций, а также на водораздельной поверхности и в лощинах. В результате бурения выяснилось, что мощность почвенного слоя составляет в среднем 0,5-0,6 м, увеличиваясь до 3,0 м в лощинах. Наибольшей влажностью обладают грунты склонов северной экспозиции как на поливных, так и на богарных землях, причем влажность на этих склонах увеличивается с глубиной, по крайней мере до 3,0 м. Исключение составляет скважина № 11, пробуренная в теле оползня и имеющая на глубинах 1,2-1,6 м слой погребенной почвы. Причем в скважинах № 1, 10 грунты на глубине 3,0 м близки к границе текучести, а в скважине № 14, пробуренной в лощине, практически достигли этой границы.



*Рис. 4 Лессовый покров верхней предгорной ступени, благоприятствующий хозяйственной деятельности*



*Рис. 5 Образование бедленда в бассейне р. Каратурук (Заилийский Алатау)*

В условиях аномальной по осадкам весне и обильного полива это вызывает оползневые процессы. Влажность проб верхнего горизонта (0,2-0,6 м) наиболее зависима от атмосферных осадков, поливов, а также микрорельефа поверхности, поэтому ее значения значительно колеблются, хотя тенденция наибольших значений для северных склонов сохраняется. Склоны восточной и западной экспозиций на фоне общей высокой влажности отличаются меньшими влагозапасами. Влажность склонов восточной экспозиции в среднем на 7 %, а западной - на 4-5 % меньше, чем северной.

Изучение массива лессовидных суглинков показало, что в условиях интенсивных или продолжительных атмосферных осадков и искусственного орошения на дачных участках эти грунты в течение короткого промежутка времени (в 1998 г. - около месяца) способны достичь границы текучести, особенно на склонах северной экспозиции, что в условиях сейсмического воздействия может привести к массовому сходу оползней, как правило, трансформирующихся в селевые потоки.

Глубина заложения поверхности скольжения оползней, вызываемых гидрометеорологическими факторами в лессовидных суг-

линках, согласно исследованию [6] не может превышать 5-7 м. Однако в условиях обводнения массива пород напорными водами эта глубина может быть значительно больше, что приведет к увеличению масштабов оползневых процессов.

Кроме того, в результате мощного сейсмического воздействия происходят грандиозные оползни и обвалы (определяющую роль в их возникновении играют не гидрометеорологические факторы), которые в условиях достаточного увлажнения поверхностными и подземными водами составляют основную часть твердой составляющей селевых потоков.

Если в ходе предполагаемого потепления произойдет существенное увеличение осадков, неизбежно аномальное увлажнение лесового покрова в верхней предгорной ступени, что приведет к резкой активизации сдвиговых явлений антропогенного и природного генезисов, трансформирующихся в селевые потоки. Даже при относительно небольших землетрясениях (6-7 баллов) будут формироваться селевые потоки, отложения которых будут происходить на предгорной равнине. Помимо большого ущерба, наносимого хозяйственной деятельностью на верхней предгорной ступени, селевые явления могут исключить возможность эффективного использования предгорной равнины - зоны, наиболее благоприятной для хозяйственной деятельности в настоящее время.

При научно обоснованной хозяйственной деятельности ожидаемое потепление климата не приведет к существенной активизации селевой активности на верхней предгорной ступени даже при относительно небольших капиталовложениях в превентивные мероприятия.

К наиболее эффективным превентивным мероприятиям следует отнести:

- совершенствование систем орошения и контроль за их функционированием;
- разработка и внедрение научно обоснованных норм полива;
- предотвращение аномального увлажнения и закрепление подвижного грунта путем насаждения древесных и кустарниковых растений с мощно развитой корневой системой, глубоко проникающей в грунт, а также обладающих высокой степенью транспирации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б. С., Яфязова Р. К. Особенности формирования конусов выноса северного склона Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. - 1995. - № 3. - С. 18 - 28.
2. Яфязова Р. К. Особенности механизмов формирования конусов выноса горных рек // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С. 175 - 187.
3. Яфязова Р. К. Основные закономерности формирования селевых конусов выноса (на примере северного склона Заилийского Алатау): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. - Алматы, 1998. - 21 с.
4. Степанов Б. С., Хайдаров А. Х., Яфязова Р. К. Особенности формирования катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. - Алматы: Ғылым, 1998. - С. 516 - 520.
5. Яфязова Р. К. Селевая активность в Заилийском Алатау в прошлом, настоящем и будущем // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. - Алматы: Ғылым, 1998. - С. 511 - 515.
6. Петрухина И. А. Пределы изменения прочности лессовых пород оползневых склонов горных и предгорных районов Узбекистана // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР: Материалы Среднеазиатского совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. - Душанбе: Дониш, 1968. - Вып. 12. - С. 211 - 216.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## ЛАЙЛЫ ТАСҚЫНДАРДАН ҚОРҒАУДЫҢ ЖАҢА СТРАТЕГИЯСЫ

Техн.ғыл.канд.           Б.С.Степанов  
                                  А.Х.Хайдаров  
Геогр.ғыл.канд.         Р.К.Яфязова

Климаттың болжамдық өзгеруі, соның ішінде көлемді температураның  $3-4C^{\circ}$  көтерілуі, селдік құбылыстардың гляциалдық және жаңбырлы генезистердің дүркін-дүркін қайталану жиілігіне өкеледі. Мұндай жағдайда жабық бөгеттер арқылы селден қорғану тек тиімсіз ғана емес, қауіпті болып табылады. Қуатты сел құбылыстарының жиі қайталану жағдайындағы басты роль ескерту шараларына берілуі керек. Осындай стратегия селге қарсы қолданған шаралардың шығындарын едәуір қысқартады.