

УДК 551.583.7 : 551.435.2 (574)

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНУСОВ ВЫНОСА  
СЕВЕРНОГО СКЛОНА ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ**

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

*Изложены основные результаты исследований формирования конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау. Приведена математическая модель, описывающая зависимость объема конуса выноса от основных селеформирующих факторов. Модель позволяет оценить роль селеформирующих факторов, оптимизировать мероприятия по снижению ущерба, наносимого селями.*

Известно, что существует три яруса накопления наносов. Верхний расположен в высокогорной зоне и представлен отложениями морен, осыпей, оползней, оплывин, озерных отложений, малых седей. Средний ярус представлен конусами, образованными наносами, вынесенными из верхнего яруса на предгорную равнину. Нижний ярус накопления наносов – дельты рек.

В данной работе изложены основные результаты исследований формирования конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау. Практическая значимость изучения конусов выноса обусловлена тем, что на конусах выноса северного склона Заилийского Алатау расположены города Алматы, Каскелен, Талгар, Есик и т.д., основные сельскохозяйственные объекты, обеспечивающие жизнедеятельность этих городов.

Рациональное использование природных ресурсов предполагает обеспечение максимальной защиты

населения и объектов хозяйственной деятельности от разрушительного воздействия катастрофических природных явлений при минимально возможном вмешательстве человека в ход природных процессов. К числу катастрофических явлений, угрожающих нормальному функционированию объектов хозяйственного и социального назначения в горных и предгорных районах Казахстана, относятся мощные сели.

Благоприятные климат и рельеф предгорья, наличие воды способствовали освоению конусов выноса горных рек, однако это освоение до сих пор носит бессистемный характер. Проекты по защите начинают разрабатываться и осуществляться после больших капиталовложений в развитие инфраструктуры территорий. При этом значительно сужается и обедняется круг мероприятий, обеспечивающих, при относительно малых затратах, надежную защиту от разрушительного воздействия селей. В значительной мере сказанное объясняется отсутствием достоверных данных о степени риска освоения территорий, так как мощные селевые явления характеризуются редкой повторяемостью; к сожалению, как известно, эти явления могут произойти в ближайшем будущем.

Уникальными хранилищами данных о мощных селях являются конусы выноса, расположенные на выходе горных рек на предгорную равнину. Изучение конусов выноса до последнего времени сдерживалось отсутствием информации о их строении. Имевшиеся единичные данные, полученные при бурении скважин на конусах выноса, не позволяли с необходимой степенью достоверности дифференцировать отложения на аллювиальные и пролювиальные. Ситуация качественно изменилась в последние десятилетия, когда на конусах выноса рек Аксай, Б.Алматинка, Талгар были проведены большие объемы работ по добыче нерудных материалов. Карьерами были вскрыты отложения на глубину более 50 м, что позволило установить генезис конусов выноса. Исследования показали, что конусы выноса, в основном, сложены пролювиальными (селевыми) отложениями. В общем объеме конусов выноса доля аллювиальных отложений не превышает 2-5 % [2].

Конусы выноса селевых бассейнов северного склона Заилийского Алатау приурочены к высотной зоне 780-1100 м. В этой зоне происходит отложение всех фракций твердой фазы смеси. Уклон зоны составляет 1-3°. Значения уклонов конусов выноса рек Каракастек, Узункаргалы и Турген значительно меньше значений уклонов всех остальных конусов. Длины образующих конусов выноса изменяются от 5 до 18 км, их площади лежат в пределах 12-180 км<sup>2</sup>.

Большую информацию о характере селевой деятельности в бассейнах можно получить анализируя данные об объемах конусов выноса. Методика определения объемов конусов выноса изложена в работе [3]. Определение объемов конусов выноса основных рек северного склона Заилийского Алатау показало, что наибольший объем имеет конус выноса р. Есик - 18,0 км<sup>3</sup>, несколько меньшие - р. р. Турген и Талгар, 11,4 км<sup>3</sup> и 10,3 км<sup>3</sup> соответственно. Наименьшие объемы имеют конусы выноса рек Чемолган (0,35 км<sup>3</sup>), Каскелен (1,16 км<sup>3</sup>), Аксай (1,32 км<sup>3</sup>).

Значительное несоответствие объемов конусов выноса и площадей водосборов упомянутых рек объясняется их относительно молодым возрастом. Становление современного горного рельефа Заилийского Алатау началось в кайнозойскую эру на границе неогена и антропогена. В результате неотектонических движений прервался процесс пенепленизации и началось формирование хребта. Хребет в процессе поднятия разрастался от центра к периферии, при этом захватывались прилегающие к подножию равнинные участки и участки, занятые отложениями конусов выноса. Поднятые участки выражены в рельефе в виде верхней и нижней предгорных ступеней, сложенных, в основном, валунно-галечными отложениями конусов выноса [1].

Особенностью верхней предгорной ступени, образование которой относят к началу среднего антропогена, является неоднородность поднятия вдоль хребта, обусловленного наличием древних и относительно молодых тектонических разломов. Поднятие предгорной равнины в западной части происходило на всем участке вдоль хребта, а поднятие в центральной и восточной частях хребта - в междуречь-

ях. В результате водные и селевые потоки на западном участке были вынуждены прорезать верхнюю предгорную ступень, при этом образовались достаточно глубокие ущелья, а выносимый материал отлагался на предгорной равнине, примыкающей к верхней предгорной ступени, образуя новые конусы выноса. В центральной и восточной частях хребта рыхлообломочные отложения, выносимые реками и селевыми потоками, отлагались в пределах сформированных конусов выноса. Возраст конусов выноса рек восточной и центральной части составляет 1-1,2 млн. лет, а возраст конусов выноса западной части - 400-500 тыс. лет. Поэтому объемы вторичных конусов выноса рек Аксай, Каскелен и Чемолган примерно в 2,5 раза меньше, чем можно было ожидать, исходя из физико-географических условий этих бассейнов.

В принципе зависимость объемов выноса от селеформирующих факторов должна носить детерминированный характер, осложненный стохастичностью расходных и объемных характеристик селей и их повторяемости, т.е. если характеристики селевых бассейнов идентичны, объемы выноса наносов, осредненные за большие промежутки времени, также не должны существенно отличаться. В действительности селевые бассейны Заилийского Алатау имеют существенно отличные характеристики. Различны площади водосборов и оледенения, модуль стока, орография очагов селеобразования, геологическое строение и т.д.

Уровень развития теории селевых процессов позволяет качественно и количественно оценить вклад селеформирующих факторов в общий баланс выноса наносов на средний уровень накопления. Этому благоприятствует и то обстоятельство, что достаточно продолжительный период формирования конусов выноса (около одного миллиона лет) привел к осреднению влияния случайных составляющих селеформирующих факторов, таких как, например, неоднородность выпадения осадков, различный объем озер, формирующихся даже на одинаковых по площади ледниках, характер прорыва упомянутых озер, степень увлажнения селеформирующих грунтов и т.д.

Вышесказанное позволило разработать математическую модель, описывающую зависимость объема конуса выноса, расположенного на предгорной равнине, от основных селеформирующих факторов. В основу модели положена концепция, согласно которой конус выноса формировался в результате отложения селей гляциального и дождевого генезисов. Объем селей дождевого генезиса ставился в зависимость от слоя годового стока и площади бассейна, за исключением той площади, которая покрыта льдом.

Гипотеза об участии всей площади, которая не покрыта льдом, в селеформировании не противоречит наблюдениям, так как время добегания паводковых вод из частных бассейнов, где сели могут и не формироваться, до основного русла реки не превышает первых десятков минут, и, следовательно, смешиваясь с селями, они принимают участие в процессе формирования селевой смеси в основном русле. В селеформировании принимает участие лишь незначительная доля годового слоя стока, однако, выделить ее, на современном уровне знаний практически невозможно.

Известно, что сели гляциального генезиса формируются при прорыве моренных озер и внутриморенных емкостей, образующихся на ледниках с площадью более  $0,5 \text{ км}^2$ , поэтому объем селей гляциального генезиса ставился в зависимость от площади оледенения бассейна за исключением ледников с площадью  $0,5 \text{ км}^2$  и менее.

Анализ условий формирования мощных селей, сформировавшихся за последние десятилетия, показал, что их характеристики в значительной степени зависят от орографии речной долины в зоне высот 2200-3500 м (область селеформирования). В тех речных долинах, где длина троговых долин незначительна; сели, формирующиеся на современных моренах, продолжают свое движение на древних моренах. Если длина троговой долины значительна, то твердая фаза (частично и жидкая), сформировавшаяся на современной морене, отлагается в троговой долине и в селеформировании на древней морене принимает участие, в основном, водная составляющая расплавшейся селевой смеси. Поэтому в формуле для расче-

та объема конуса выноса учитывается уклон русла в высотном интервале 2200-3500 м.

Геологический фактор учитывается уклоном конусов выноса. Уклоны конусов выноса в восточной и западной частях хребта имеют значительно меньшие значения, чем в центральной части. Это объясняется геологическим строением хребта. Восточная и западная части северного склона Заилийского Алатау в большей степени сложены порфирами и порфиритами, а центральная часть - гранитами. Сели, формирующиеся в восточной и западной частях хребта, обладают более выраженными пластическими свойствами. Наличие пластических свойств позволяет перемещаться частицам в квазивзвешенном состоянии на десятки километров на малых уклонах ( $0^{\circ}30' - 1^{\circ}$ ).

В процессе обработки модели использовались данные по нескольким бассейнам. Бассейн р.Каракастек характерен отсутствием оледенения, бассейн р.Талгар - наиболее мощным оледенением; бассейн р.М.Алматинки, как бассейн, наиболее изученный в плане селевой деятельности. Это позволило оценить роль гляциальных и дождевых селей в процессе накопления наносов.

Математическая модель, описывающая зависимость объема конуса выноса от основных селеформирующих факторов, имеет вид:

$$V_{к.в.} = \frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_{cp}} \frac{tg\beta_{cp}}{tg\beta_1} \left[ 2,4 \cdot 10^{-5} C_T (F_0 - \sum_{i=1}^n F_1) + 0,29 (\sum_{i=1}^n F_1 - \sum_{j=1}^m F_j <_{0,5} )^{0,7} \right], \quad (1)$$

где  $tg\alpha_1$  - уклон русла в высотном интервале 2200-3500 м (область селеформирования);

$tg\alpha_{cp} = 0,147$  - среднее значение  $tg\alpha_1$ ;  $tg\beta_1$  - уклон

конуса выноса;  $\text{tg}\beta_{\text{ср}}=0,031$  - среднее значение  $\text{tg}\beta_1$ ;  $C_T$  - слой годового стока (мм);  $F_6$  - площадь бассейна ( $\text{км}^2$ );

$\sum_{i=1}^n F_i$  - сумма площадей всех ледников бассейна;

$\sum_{j=1}^m F_j < 0,5$  - сумма ледников бассейна с площадью  $0,5 \text{ км}^2$  и менее.

Результаты сопоставления расчетных и фактических значений объемов конусов выноса приведены на Рис. Коэффициент корреляции  $r=0,94 \pm 0,03$ ; абсолютное значение средней относительной ошибки составляет  $|\varepsilon|=18\%$  [4].

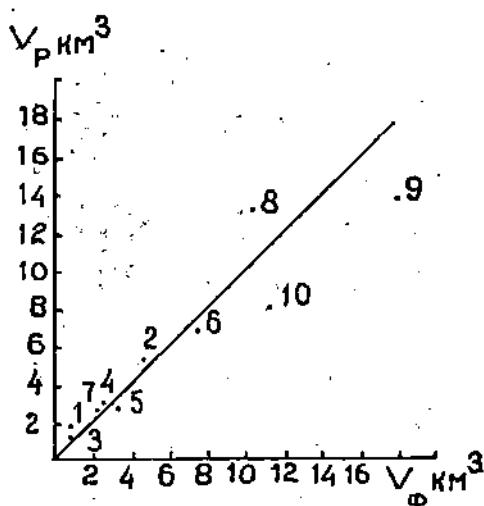


Рис. Соотношение расчетных ( $V_p$ ) и фактических ( $V_\phi$ ) значений объемов конусов выноса рек Заилийского Алатау, с учетом значений первичных объемов конусов выноса рек Аксай, Каскелен, Чемолган.

1-Каракастек; 2-Узункаргалы; 3-Чемолган;  
4-Каскелен; 5-Аксай; 6-Б.Алматынка; 7-М.Алматынка; 8-Талгар; 9-Есик; 10-Турген.

Изучение строения конусов выноса позволяет проследить историю селевой деятельности на протяжении многих сотен тысяч лет. Степень разрушенности лессового покрова, сформировавшегося на

границе среднего и верхнего антропогена на конусах выноса, расположенных на предгорной равнине, свидетельствует об относительной интенсивности селевой деятельности в верхнем антропогене и голоцене. Практически полностью уничтожен лессовый покров в бассейнах рек Турген, Есик, Талгар, Малой и Большой Алматинок; до 50 % и более площадей лессовых отложений сохранилось на конусах выноса рек Аксай, Каскелен, Чемолган, Узункаргалы и Каракастек. Однако, необходимо помнить, что мощность лессовых отложений уменьшалась с запада на восток.

Интересно отметить, что практически все вершины современных конусов выноса вложены в пролювиальные отложения верхнего и даже среднего антропогена, что свидетельствует о том, что голоцен - активная фаза селевой деятельности.

Состав и характер отложений в пределах конусов выноса говорит о преимущественном распространении грязекаменных селей в бассейнах северного склона Заилийского Алатау.

К настоящему времени все значительные по площади конусы выноса в той или иной мере подвержены хозяйственному освоению, в результате чего уничтожены крупные фракции селевых отложений, которые заселяются лишайниками, позволяющими осуществлять датировку отложений. В такой ситуации для определения объемов выноса из бассейнов, по которым не имеется сведений о прохождении селей за последнее столетие, правомерно использование соотношения

$$V_B = \frac{V_{к.в.}}{V_{к.в.(э)}} \cdot V_{B(э)} \quad (2)$$

Здесь  $V_B$  - рассчитываемый объем выноса,  $\text{км}^3$ ;  $V_{к.в.}$  - объем конуса выноса бассейна, для которого рассчитывается объем выноса,  $\text{км}^3$ ;  $V_{к.в.(э)}$  - объем конуса выноса бассейна, который принят в качестве эталона,  $\text{км}^3$ ;  $V_{B(э)}$  - объем выноса за расчетный период на эталонный конус выноса,  $\text{км}^3$



Для Заилийского Алатау в качестве эталонного объекта целесообразно использовать бассейн реки М.Алматинки, как наиболее изученный в плане селевой деятельности.

Если бассейн реки М.Алматинки принять за эталонный объект при оценке селевой деятельности в створах, соответствующих вершинам конусов выноса, то возможные объемы выноса из бассейнов рек северного склона Заилийского Алатау за 100 лет приведены в таблице 1 (объем выноса из бассейна реки М.Алматинки за последнее столетие принят равным 10 млн.м<sup>3</sup>).

Таблица 1

Расчетные значения объемов выноса за 100 лет

Название реки	Объем выноса, тыс.м <sup>3</sup>	Расчетная емкость возведенных и строящихся селехранилищ, тыс.м <sup>3</sup>
Узункаргалы	19300	14600
Каскелен	11300	2208
Б.Алматинка	29700	8200
М.Алматинка	10000	12600
Талгар	41200	3700
Есик	70500	12800

Из данных табл.1 можно сделать вывод о значительном несоответствии объемов выноса потенциально возможных селей объемам соответствующих селехранилищ в бассейнах рек Каскелен, Б.Алматинка, Талгар и Есик, если даже учесть, что в этот период времени селевые выбросы из бассейнов рек Есик и Б.Алматинка будут уменьшены за счет перехвата селеформирующих паводков и селей высокогорными озерами Акколь, Музколь, и Б.Алматинским примерно в два раза.

В конструкции селехранилищ перечисленных бассейнов не предусмотрена возможность сброса селевой смеси в нижний бьеф плотин в случае пере-

полнения селехранилищ, поэтому их нормальное функционирование в экстремальных ситуациях не гарантировано.

Анализ уравнения (1), результаты которого приведены в табл.2, позволяет дать некоторые рекомендации по увеличению эффективности защитных мероприятий, направленных на снижение ущерба, наносимого селями.

Таблица 2

Объемы отложений селей различного генезиса  
на конусах выноса

Название реки	Объем отложений, км <sup>3</sup>		
	суммарный	дождевого генезиса	гляциального генезиса
Каракастек	1,09	1,09	-
Узункаргалы	5,28	3,39	1,88
Чемолган	1,06	0,82	0,25
Каскелен	3,1	2,07	1,03
Аксай	2,72	1,25	1,47
Б.Алматинка	7,04	3,55	3,49
М.Алматинка	2,66	1,34	1,32
Талгар	12,9	5,52	7,40
Есик	13,9	6,15	7,79
Турген	8,12	4,60	3,51

Из данных табл.2 следует, что более 50 % наносов на конусах выноса бассейнов рек Талгар и Есик - отложения селей гляциального генезиса. Следовательно, проведение профилактических работ на моренно-ледниковых комплексах этих бассейнов, связанных с искусственным опорожнением поверхностных и внутриледниковых водоемов, способно значительно снизить селевую активность.

Мощные сели дождевого генезиса в изучаемом районе формируются в высокогорной зоне в исключительно редких случаях, когда интенсивные осадки в интервале высот 3000-4000 м выпадают в жидкой фа-

зе. Поэтому есть основание считать, что разработанные к настоящему времени способы активного управления фазой выпадающих осадков могут оказаться реализуемыми в горных условиях и иметь приемлемую экономическую эффективность. Дополнение существующих противоселевых защитных сооружений методами активного управления гидрометеорологическими факторами селеформирования будет способствовать повышению защищенности населения и объектов хозяйственного назначения от селей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломонович М.И. Илийская долина, ее природа и ресурсы. - Алма-Ата: Изд.АН КазССР, 1963. - 341 с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

#### ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БОЙЫНДАҒЫ ҚҰМ-ҚАЙЫР ЖИЫНТЫҒЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Техн. г. канд. Б.С. СТЕПАНОВ  
Н.К. ЯФЯЗОВА

Іле Алатауының солтүстік бойындағы құм - қайыр жиынтығының негізгі ерекшеліктерінің зерттеу қорытындысы баяндалады. Құм-қайыр жиынтығының конустық сипатының сел қаупін тудыратын себептерінің математикалық моделі ұсынылған. Аталмыш модель - сел қаупін анықтауға, сел келтіретін шығынды кемітуге, сақтық шараларын жасауға мүмкіндік жасайды.