

УДК 551.435.172 (28)

**ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ
КОНУСОВ ВЫНОСА ГОРНЫХ РЕК**

Р.К.Яфязова

Описаны механизмы формирования конусов выноса речных и селевых потоков при отложении рыхлообломочного материала. Показано, что очертания и рельеф конусов выноса позволяют определить их генезис.

Конусы выноса основных рек северного склона Заилийского Алатау сложены пролювиальными (селевыми) и аллювиальными отложениями. Верхние и средние части конусов выноса представлены, в основном, селевыми отложениями; в нижней части конусов выноса роль аллювиальных отложений становится более заметной.

Известно, что формирование аллювиальных конусов выноса обусловлено отложениями наносов горных рек. Механизм образования аллювиального конуса выноса характеризуется сложными процессами формирования рукавов русла, отложения и переотложения наносов. Это обстоятельство осложняет математическое описание процессов конусообразования. Отсутствие строгой теории образования аллювиальных конусов выноса не позволяет сформулировать критерии подобия, необходимые для моделирования этого процесса с целью получения его количественных характеристик [1].

Наблюдения за формированием аллювиальных конусов выноса показали, что физические явления, определяющие конусообразование, не имеют каких-либо принципиальных различий в широком диапазоне изменения количественных характеристик определяющих факторов. Это позволяет утверждать, что механизмы процесса формирования конусов выноса,

потоками с относительно малыми расходами воды, могут быть перенесены на объекты, характеризующиеся большими по величине расходами воды и размерами наносов.

Значительно проще моделирование формирования конусов выноса, образуемых плотными селями. Уравнение предельного равновесия пластической среды, находящейся на наклонной плоскости, записывается в следующем виде [5]:

$$\Pi + Z \left(\frac{dZ}{dX} - 1 \right) = 0, \quad (1)$$

где $\Pi = \frac{\tau_0}{\rho_0 g z_0 \sin \alpha}$; $Z = \frac{z}{z_0}$; $X = \frac{x \operatorname{tg} \alpha}{z_0}$;

τ_0 - предельное напряжение сдвига селевой смеси, Н/м²; ρ_0 - плотность селевой смеси, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с²; z_0 - глубина потока, м; x, z - координаты поверхности селевой смеси; α - угол наклона конуса выноса.

Значения Π, Z, X являются критериями подобия состояния селевой смеси, обладающей ярко выраженными пластическими свойствами.

Механизм формирования конуса выноса аллювиальными отложениями

На конусе выноса, сложенном преимущественно аллювиальными отложениями, река, как правило, разделяется на несколько рукавов. Глубина русел этих рукавов значительно меньше их ширины. В связи с заполнением рукавов наносами, их положение на конусе выноса непрерывно изменяется. На небольших конусах выноса (10 000 м²) положение рукавов изменяется в течение нескольких суток. В результате непрерывной миграции рукавов мощность конуса выноса равномерно увеличивается.

Наблюдения за процессом формирования аллювиальных конусов выноса позволили раскрыть механизмы, приводящие к миграции рукавов реки по поверхности конуса выноса. Допустим, что на его поверхности имеется одно русло. По мере поступления наносов упомянутое русло начнет заполняться ими, причем процесс заполнения начинается с периферийной части конуса выноса. (рис.1 а, б, в).

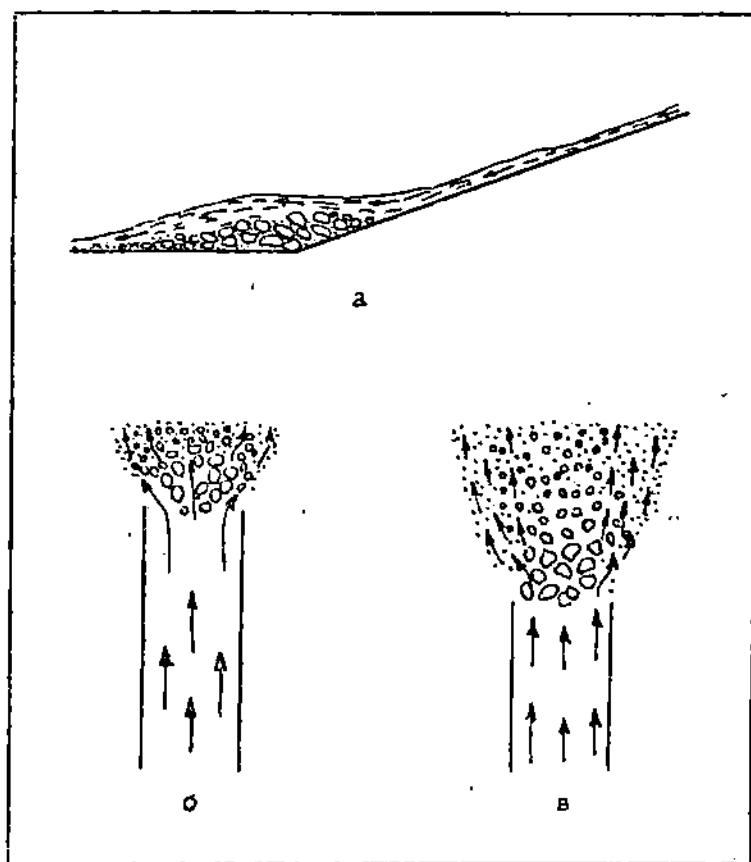


Рис.1. Процесс заполнения русла аллювием.
а - сечение русла (продольное), б - русло до заполнения наносами (в плане), в - русло и прилегающие к нему области после заполнения наносами (в плане).

В процессе заполнения русла наносами его дно на участке отложения частиц повышается и выполаживается. Это способствует дальнейшему отложению частиц. По мере движения потока по участку, на котором происходит отложение частиц, поток перестает помещаться в русле и выходит за его пределы, продолжая свое движение как по поверхности русловых отложений, так и по поверхности конуса, прилегающей к руслу. По мере уменьшения энергии потока в результате уменьшения скорости, вызванного увеличением его ширины, на поверхности конуса выноса осаждаются и относительно мелкие частицы. Наносы, характеризующиеся большой гидравлической крупностью, останавливаются в пределах русла, формируя полосу отложений, относительно устойчивую к размыву. Остановка наносов в русле приводит к его заполнению от периферии конуса выноса к его вершине. В этих условиях отметки русла и прилегающих участков становятся выше, чем их значения для конуса выноса, в котором было сформировано русло.

Миграция русла на конусе выноса иллюстрируется рис. 2. На рис. 2 а изображена верхняя часть конуса выноса с одним сформировавшимся руслом. На рис. 2 б показано то же русло после заполнения его наносами. Очевидно, что превышение высотных отметок наносов в русле по сравнению с их значениями на конусе выноса приводит к тому, что поток сместится в ту или другую сторону. В результате формируется новое русло, изображенное на рис. 2 в. Оно, будучи ограничено с одной стороны бортом долины, а с другой - отложениями предыдущего русла, будет иметь отметки дна более высокие, чем отметки дна старого русла. После заполнения наносами нового русла картина приобретает вид, изображенный на рис. 2 г. Естественно, поток переместится туда, где отметки будут низкие (рис. 2 д) и сформирует новое русло. После его заполнения русло вновь сформируется в центральной части рассматриваемого участка (рис. 2 е) и т.д.

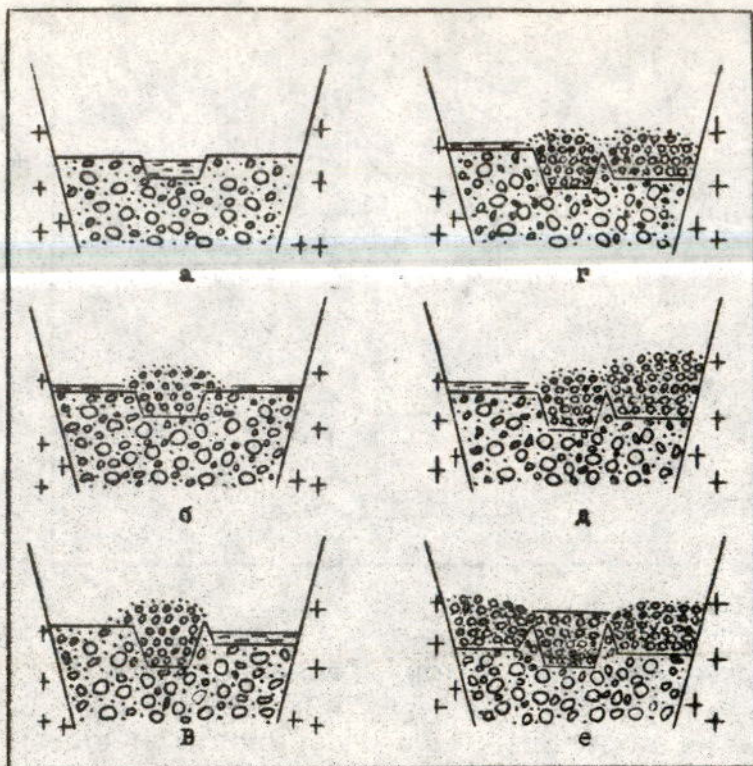


Рис.2. Миграция русла по поверхности конуса выноса (поперечное сечение).

а - конус выноса и первичное русло; б - первичное русло, заполненное аллювием; в - смещение потока вправо после заполнения русла; г - заполнение правого русла аллювием; д - смещение русла влево; е - заполнение левого русла аллювием.

Описанный механизм приводит к тому, что высотные отметки конуса выноса на равных удалениях от его вершины оказываются близкими по величине, а горизонтали на конусе выноса близкими по форме к дугам окружностей (рис. 3).

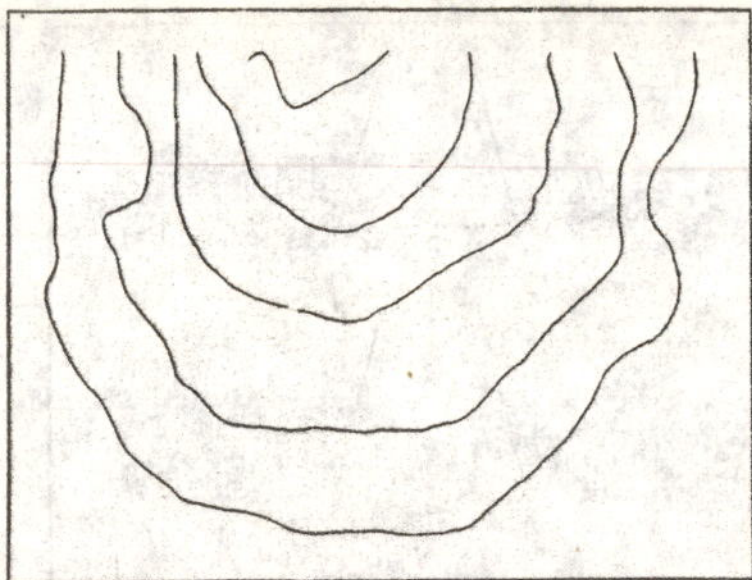


Рис. 3. Аллювиальный конус выноса (в плане)

Таким образом, если горизонтали имеют вид, близкий к дугам окружностей, можно утверждать, что конус выноса сформирован речными отложениями или наносоводными селевыми потоками.

Механизм формирования конуса выноса селевыми отложениями

Механизм формирования конуса выноса наносоводного селя (с плотностью до 1800 кг/м^3) практически не отличается от механизма формирования конуса выноса речного потока. Существенно отличается от них механизм формирования конуса выноса при прохождении селей большой плотности. Особенностью движения селей большой плотности является сохранение его направления, приобретенного на выходе из горной долины; ширина потока при этом мало изменяется.

В работе [5] показано, что величина максимального растекания потока в поперечном направлении может быть оценена с помощью выражения:

$$y_{\max} = \frac{\rho_c g z_0^2}{2\tau_0}, \quad (2)$$

Очевидно, что ширина потока на конусе выноса в зависимости от ширины потока в горной долине (B) может быть определена с помощью следующего выражения:

$$y_{к.в} = B + 2y_{\max}. \quad (3)$$

Дальность селевого выброса, определяется по формуле [5]:

$$X_{\max} = \frac{W\rho_c g \sin\alpha}{\tau_0 y_{к.в}}, \quad (4)$$

где W - объем селя на выходе из горной долины, m^3 ; α - угол наклона конуса выноса.

Вышеизложенная схема относится к потокам, селевая смесь которых при остановке практически не распадается.

В ситуациях, когда пластические свойства селевой смеси не обеспечивают поддержание крупных фракций в квазивзвешенном состоянии, происходит частичный распад смеси; при этом крупные фракции останавливаются, а значительная часть смеси, представленная более мелкими фракциями вытекает из порового пространства, образуемого крупными частицами [3, 4].

Таким образом, если бы конус выноса до прохождения селя имел геометрически правильную форму, то после его прохождения на нем остались бы отложения, форма распределения которых, определяется свойствами селевой смеси, ее объемом и укло-

ном конуса выноса. Последующие сели лишь в верхней части конуса выноса имеют возможность перекрывать отложения предыдущих селей. В естественных условиях, из-за неоднородности тела потока (наличие группы камней, либо неровностей рельефа, образованных предыдущими селями) поток смещается в ту или другую сторону.

Таким образом, при прохождении селевых потоков конус выноса последовательно перекрывается их отложениями; при этом происходит увеличение объема конуса выноса.

Особенности формирования конуса выноса селевых потоков исследовались на лабораторной установке. В качестве селевой массы использовалась смесь, состоящая из гипса и воды. Смесь при помешивании доводилась до состояния, когда она приобретает пластические свойства ($\tau = 3-10 \text{ Н/м}^2$). Далее смесь выливалась равными порциями, причем скорость ее подачи поддерживалась постоянной. Для удобства наблюдения окраска смеси изменялась от эксперимента к эксперименту.

На рис. 4 приведен конус выноса, образовавшийся в результате первого эксперимента. На рисунке видно, что конус выноса в плане имеет форму, близкую к полуокружности, а в сечении - форму, аналитическое выражение которой приведено в работе [5]

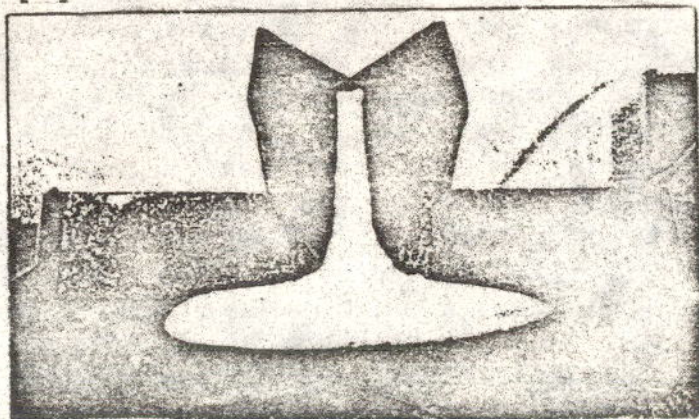


Рис. 4. Конус выноса, образованный вязкопластической смесью (первый эксперимент)

Конусы выноса, образовавшиеся в результате проведения 2-9 экспериментов, приведены на рис. 5. Во всех экспериментах, кроме первого, форма конуса выноса в плане далека от окружности.

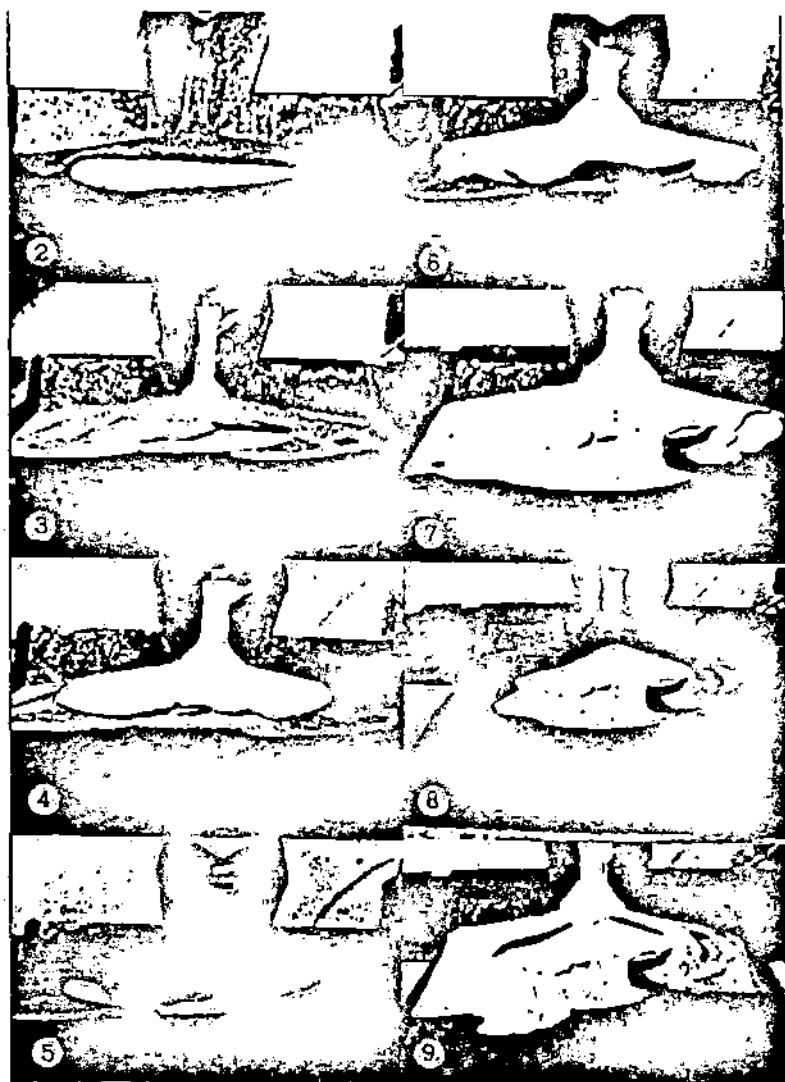


Рис. 5. Конусы выноса, образованные вязкопластическими смесями (2-9 эксперименты)

Результаты экспериментов показывают, что в верхней и средней частях конуса выноса горизонтали имеют форму, близкую к дугам окружностей. Периферийные горизонталы, если их аппроксимировать окружностями, имеют радиусы большие, чем расстояние от вершины конуса выноса до соответствующей горизонтали в его нижней части (в осевом направлении).

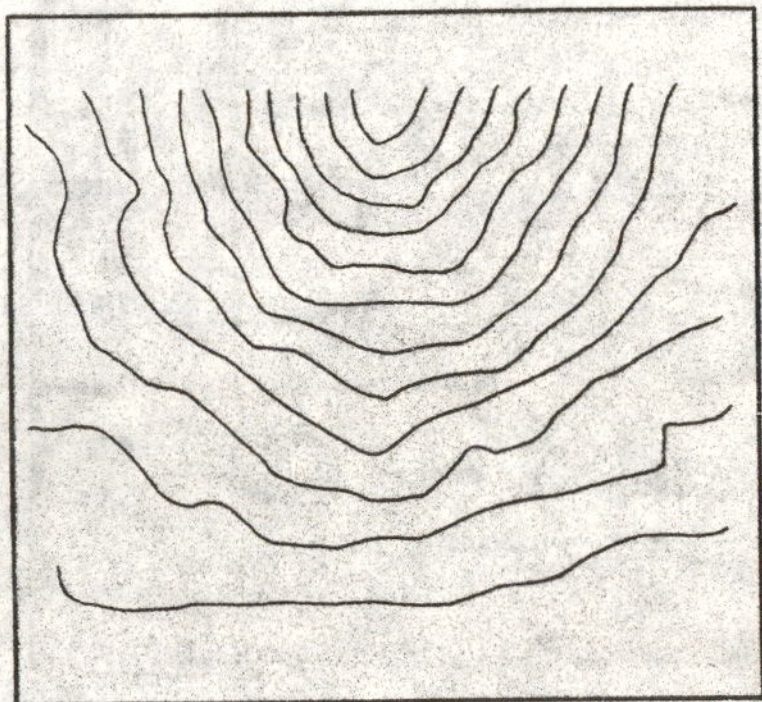


Рис. 6. Селевой конус выноса (в плане)

Анализ процессов, приводящих к появлению описанных эффектов, показал, что уменьшение радиусов аппроксимирующих окружностей в вершинной части конуса выноса обусловлено стремлением селевых потоков сохранять направление движения. В результате этого интенсивность отложений в вершин-

ной части конуса выноса в направлении, совпадающем с направлением потока в горной долине (осевое движение), становится выше, чем в любом другом направлении. Увеличение радиусов аппроксимирующих окружностей в периферийной части конуса выноса объясняется тем, что в условиях движения потоков в направлениях, отличных от осевого, при встрече с преградой (неровности рельефа и т.п.) поток не останавливается, а продолжает движение вдоль преграды к периферии конуса выноса. В связи с этим интенсивность отложений в боковых периферийных частях конусов выноса увеличивается, что и приводит к увеличению радиусов аппроксимирующих окружностей.

Описанные особенности формы рельефа конусов выноса селевых потоков, могут служить их дешифрирующими признаками на топографических картах. При этом следует иметь в виду, что если за последние десятки тысяч лет селевые явления не имели место, то селевые конусы выноса могут быть перекрыты аллювиальными отложениями; изогипсы конусов выноса аллювиальных отложений имеют, как показано выше, форму, близкую к окружностям и в периферийной зоне. Неучет указанного обстоятельства может привести к серьезным ошибкам при определении генезиса конусов выноса.

На конусе выноса, сложенном, в основном, грязекаменными селями, образуется, как правило, одно крупное русло, глубина которого соизмерима с его шириной. Объясняется это тем, что при прохождении селя высокой плотности существовавшее русло постоянного водотока исчезает, а новое русло образуется постселевым паводком. Особенностью постселевых паводков являются их относительно высокая плотность и большие расходы. В процессе формирования русла постселевым паводком выносятся частицы практически всех фракций, кроме валунов и глыб, из которых и формируется самоотмостка.

В наиболее типичных ситуациях размеры крупных частиц находятся в пределах 0,5-2 м, а их

процентное содержание в полном грансоставе твердой фазы селевых смесей таково, что для образования самоотмостки русло должно углубиться на 2-3 диаметра упомянутых частиц [2]. Учитывая, что скорость движения селей на конусе выноса составляет 2-3 м/с, нетрудно показать, что при расходе 100-150 м³/с (постселевой паводок) и глубине потока 5-6 м, ширина его должна составлять 10-15 м. Таким образом, формируется русло, глубина которого соизмерима с его шириной. Такие русла формируются в течение очень короткого времени (не более суток). Их характеристики сохраняются практически постоянными до прохождения нового селевого потока. Последующим селем русло полностью уничтожается, а постселевым паводком формируется новое русло, как правило, на другом месте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д.Л. Изучение геоморфологических процессов экспериментальным методом // Тр. ИГАН СССР. - 1950. - Вып.47. - С. 5-76.
2. Степанов Б.С. Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных условиях // IV Всесоюзная научная конференция. Москва, 24-26 декабря 1987 г.: Тезисы докладов. - М.: МГУ, 1987. - С. 290.
3. Степанов Б.С. Заполнение селехранилищ вязкопластическими селевыми смесями // Селевые потоки. - 1989. - Сб.11. - С. 23-27.
4. Степанов Б.С., Степанова Т.С. О физической природе и математической модели процесса трансформации селевых потоков // Селевые потоки. - 1989. - Сб.11. - С.6-22.
5. Степанов Б.С., Цукерман И.Г. Оценка дальности продвижения селевых потоков на конусе выноса // Селевые потоки. - 1984. - Сб.8. - С. 39-42.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

ТАУ ӨЗЕНДЕРІНДЕГІ ҚҰМ-ҚАЙЫРЛЫ КОНУСТАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУ
МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Р.К. Яфязова

Мақалада ағыстар мен сел түзілімдері әсерінен қалыптасқан құм-қайырлы конустың механизімі айтылады, талдап-таратудың (дешифрирующие) көрініс беретіндігі анықталған. Құм-қайырлы конустардың түрлері олардың генезисін анықтауға мүмкіндік беретіндігі атап көрсетіледі.