

Трофимоз А. М., Бабанов Ю. В., Московкин В. М.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ШЛЕЙФОВ

Процесс развития делювиальных склонов Среднего Поволжья приводит к формированию у их подножья современных делювиально-пролювиальных отложений, которые сплошным чехлом окаймляют склоны Ю и ЮЗ экспозиций.

Делювиальные шлейфы имеют длину от 1—3 до 10—15 м, реже — больше (до 20—30 м). Уклоны 7—10° (порой выше). Задернованность до 50%. На поверхности их встречаются отдельные россыпи крупно- и мелкообломочного материала, принесенного водными склоновыми потоками различной интенсивности. Мощность делювиальных шлейфов от 0,5—1 до 2—3 м.

В строении принимает участие тонко-, мелко- и крупнообломочный материал пылевато-суглинистый и щебневый, снесенный со склона дождевыми и тальными водами. Залегание его образует некоторую слоистость, которая часто нарушается более мелкими прослоями крупнообломочного материала, формирующегося в результате выноса частиц обильными дождями. Расстояние, на которое распространяется обломочный материал, зависит от диаметра обломков, скорости склонового стока, его водности, уклона и геологического строения склона, и т. д.

Распределение обломков по поверхности делювиальных шлейфов

Размеры делювиальных шлейфов находятся в прямой зависимости от характера и особенностей распределения в них обломочного материала, который в свою очередь

зависит от интенсивности и продолжительности водного потока, действующего на склон, размеров обломков, их состава, морфологических и морфометрических характеристик всего склона в целом. Определяющую же роль играет интенсивность и продолжительность водного потока. Поскольку интенсивность и продолжительность водного потока являются показателями, изменяющимися свои характеристики по мере продвижения потока, то по поверхности склона возникает дифференциация в расположении обломочного материала.

В склоновом потоке на каждую взвешенную частицу действуют следующие силы:

— турбулентная подъемная сила, направленная вверх и поддерживающая частицу во взвешенном состоянии (F);

— вес частицы (с учетом силы Архимеда), направленный вниз (P), причем

$$P = A(\gamma_r - \gamma_b) d^3, \quad (1)$$

где γ_r , γ_b — удельный вес частицы и воды.

d — диаметр частицы,

A — const, зависящая от формы частицы.

При $P > F$ происходит оседание частицы. Оно происходит обычно при перенасыщении потока взвешенными частицами (т. е. при достижении потоком предельной транспортирующей способности). С точки зрения физики процесса объясняется это положение тем, что из-за увеличения вязкости потока уменьшается его скорость, а значит и турбулентность (F). Падение скорости потока, текущего по склону, связано также с уменьшением уклона и наличием инфильтрации.

Для определения пути осаждения частицы (при определенной интенсивности потока) воспользуемся схемой, согласно которой выпадение частицы происходит по прямой в направлении равнодействующей средней продольной скорости потока (v_{np}) и гидравлической крупности (u) (надо отметить, что здесь мы не учитываем турбулентность потока). Путь осаждения частицы по этой схеме находится по зависимости (Урлапов, 1975)

$$S = \frac{h}{u} v_{np}. \quad (2)$$

Положим, что начальный створ, откуда частица начинает выпадать из потока, находится в области транзита, а поверхность аккумулятивной области близка к прямой (рис. 1).

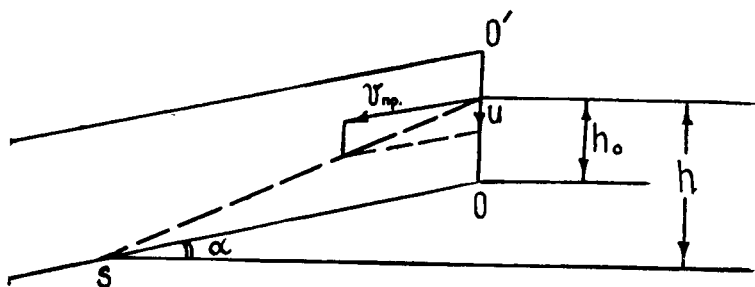


Рис. 1. Схема осаждения частицы (OO' — начальный створ, с которого начинаем рассматривать осаждение частицы; h_0 — высота, с которой начинает осаждаться частица).

Так как путь осаждения частицы предполагаем прямолинейным, то будем считать, что v_{np} не изменяется вдоль склона, т. е. $v_{np} = \text{const}$. Из рис. 1 найдем h : $h = \sin \alpha \cdot S + h_0$ (3), где h — высота, с которой начинает осаждаться частица. Подставляя уравнение (3) во (2), получим расстояние, проходимое частицей по склону

$$S = \frac{h_0 v_{np}}{u - \sin \alpha v_{np}} \quad (4)$$

Отсюда видно, что конечное расстояние (S) будет при $u > \sin \alpha v_{np}$, т. е. когда гидравлическая крупность больше вертикальной составляющей средней скорости потока. При $u \leq \sin \alpha v_{np}$ осаждения не происходит. v_{np} можно оценить по формуле Шези, с учетом формулы Маннинга.

$$v_{np} = \frac{1}{n} H^{2/3} \sqrt{\sin \alpha} \quad (5)$$

где n — коэффициент шероховатости, H — мощность потока, или через расход потока ($v_{np} H = Q = \text{const}$) по формуле

$$v_{np} = \frac{1}{n^{0.6}} (\sin \alpha)^{0.3} Q^{0.4} \quad (6)$$

Гидравлическая крупность пропорциональна квадрату диаметра частицы, т. е.

$$u = \beta d^2 \quad (7), \text{ где } \beta = \text{const.}$$

Подставляя (7) в (4), получим

$$S = \frac{h_o v_{np}}{\beta d^2 - \sin \alpha v_{np}}, \quad (8)$$

где v_{rp} можно взять по (5) или (6), причем $h_o \leq H$.

Формула (8) показывает, что с увеличением диаметра частиц (d) расстояние, пройденное ими, убывает. Действительно, используя формулы (8), (6) и (5), можно, принимая единичные значения коэффициентов шероховатости (u) и β , для условного склона при $\alpha = 10^\circ$: $H = h_o = 10$ см показать, что характер распределения обломков по величине их диаметров находится в прямой зависимости от их продвижения по поверхности делювиального шлейфа (рис. 2). На рисунке 2 показано местоположение обломков диаметром 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 см

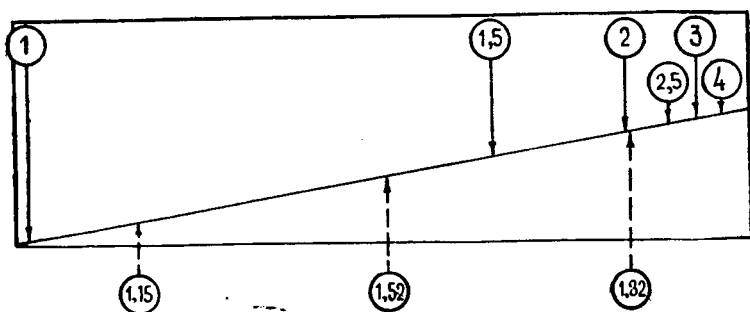


Рис. 2. Характер распределения обломков по величине их диаметров в см. по поверхности делювиального шлейфа (сплошные стрелки — для расчетного, пунктирные — для природного склона).

для условного склона. Используя полевые данные (Трофимов, 1972) по делювиальным шлейфам выпукло-вогнутых склонов Среднего Поволжья, где в результате определения положения Md обломков по поверхности 21 метрового шлейфа с уклоном в $7-10^\circ$, было найдено наиболее вероятное значение Md обломков 1,15; 1,52; 1,82 в определенных точках. На рис. 2 показано их место-

положение и сопоставление теоретических и природных данных.

Рассматривая более детально уравнение (8), необходимо сказать, что на самом деле на аккумулятивной части склона нельзя считать, что $v_{np} = \text{const}$. Процесс инфильтрации дает уменьшение v_{np} до нуля в момент выклинивания потока (исчезновения). При инфильтрации вместо u нужно рассматривать иную вертикальную скорость. Все это дает более сложное, чем выражение (2) и несколько заниженные, по сравнению с (8) значения S .

Максимальная длина делювиального шлейфа

При практической деятельности часто встает вопрос о морфометрических характеристиках делювиальных шлейфов. Одной из них является максимальная длина.

Длину делювиального шлейфа можно оценить расстоянием, на котором выклинивается поток. Для этих целей можно записать уравнения для расхода воды при инфильтрации (стационарный случай)

$$\frac{dq}{ds} = -i, \quad (9)$$

где i — интенсивность водопоглощения (при отсутствии дождя — просто инфильтрация). Считая, что в начальном створе области транзита $q = q_0$ (при $S = 0$), из (9) получим

$$q(s) = q_0 - is. \quad (10)$$

Выклинивание потока произойдет при $q(S) = 0$, т. е. при

$$l = q_0 / i. \quad (11)$$

Формула (11) подтверждает положение о том, что чем больше интенсивность потока (расход в начальном створе) и меньше инфильтрация, тем больше длина шлейфа.

Оценка смыва по объему твердого стока

Если в точке делювиального шлейфа, разделяющей область сноса от аккумуляции, измерять по времени или вычислять расход твердого стока $p(t)$, то путем интегрирования

$$v = \int_0^{\tau} p_0(t) dt \quad (12)$$

можно получить объем материала, отложившегося в области аккумуляции или же равное ему количество смытого материала в области сноса за время воздействия воды на склон (τ).

Расход $p(t)$ можно вычислять либо в весовых единицах, либо в объемных единицах. Показатель $p(t)$ в начале воздействия потока мал, но затем возрастает и далее, достигая максимума, убывает до нуля:

$$p_o(0) = p_o(\tau) = 0. \quad (13)$$

Вместо функции $p_o(t)$ можно рассматривать также и средний по времени расход p_o в точке; тогда формула (12) упростится

$$v = p_o \tau. \quad (14)$$

Представим расход твердого стока в виде

$$p_o(t) = Q_o(t) \rho_o(t), \quad - \quad (15)$$

где Q_o — расход воды в $m^3/сек$ — для плоской задачи), а ρ_o — мутность. [Если ρ_o выражен в объемных единицах $m^3/сек$, то ρ_o — безразмерная величина (объем взвеси в единице объема воды)]. Вычисление ρ_o облегчается тем, что она соответствует предельной транспортирующей способности потока (так как ρ_o — рассматриваем в точке, с которой начинается аккумуляция). Если эта характерная точка находится на расстоянии l от точки, в которой начинает формироваться сток во время дождя, то расход воды в установившемся случае можно найти по формуле (без учета инфильтрации)

$$Q_o = r l, \quad (16)$$

где r — интенсивность дождя.

Таким образом, можно измерять смыв по изменению расхода твердого стока только в одной точке склона (формулы (12) или (14)). Такая методика будет проще, чем определение смыва в каждой точке склона, с последующим интегрированием, для определения смыва для всего склона (например, Мирцхулава, 1970; Foster, Wischmeier, 1974). Формула (12) или (14) дает также объем материала, снесенного и отложенного в области аккумуляции.

ЛИТЕРАТУРА

Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. Изд. «Колос», М., 1970.

Трофимов А. М. О современной переработке плейстоценовых склонов (на примере правого коренного склона долины р. Свяга). «Экзогенные процессы в Ср. Поволжье», Изд. КГУ, Казань, 1972.

Урлапов Г. А. К вопросу гидравлики водохранилищ. «Метеорология и гидрология», № 9, 1975.

Foster G. R., Wischmeier W. H. Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction. «Trans ASAE», vol. 17, № 2, 1974.