

УДК 556.535.6

ПЕРЕНОС НАНОСОВ НА ГОРНЫХ РЕКАХ В ПОСТСЕЛЕВЫЕ ПЕРИОДЫ

Э.А. Турсунов

Рассмотрены механизмы перемещения крупных песчано-гравелистых массивов, образующихся в русле реки после прохождения селя.

Особенностью твердого стока рек северного склона Заилийского Алатау является высокая скорость течения воды, обусловленная морфологическим строением русел. Режим транспорта наносов зависит от скорости течения реки и гранулометрического состава наносов. Мелкие фракции переносятся во взвешенном состоянии, а более крупные образуют влекомые наносы. При этом транспортирующая способность горных рек, как правило, много больше того количества наносов, которое наблюдается на реках в бытовых условиях [2, 6]. Исключения составляют сели и постселевые явления, когда количество наносов, поступающих в русла в течение короткого промежутка времени, значительно больше транспортирующей способности потока при бытовых расходах реки.

Наглядным подтверждением служат, наблюдавшиеся в ходе Чемолганского эксперимента, постселевые явления. После прохождения селя в русле реки Чемолган образовывался песчано-гравийный массив, имеющий следующие геометрические размеры: длину 3300...3500 м, ширину 4...5 м и толщину 0,1...0,2 м. Гранулометрический состав этого массива представлен достаточно большим спектром частиц с крупностью от 0,1 мм до 10 – 20 мм. При этом около 50 % приходится на фракции крупностью от 1 до 5 мм [8]. Движение таких массивов, длиной в несколько километров, со скоростями около 2,3...2,6 км/сут в постселевые периоды наблюдалось также при проведении экспериментов на Чемолганском полигоне в 1972...1978, 1988, 1991 годах [7].

На относительно пологих участках реки перенос наносов осуществлялся в основном во влекомом состоянии, при этом русло реки полностью перекрывалось слоем песка толщиной от 20 до 50 см. Течение реки становилось близким к характеру течения на равнинных участках. При

этом наблюдалось кратковременное формирование грядового режима движения наносов, которое вследствие высокой турбулентности потока способствовало образованию антидюн [5].

Описание отдельных этапов формирования и разрушения антидюн показано на рис. 1. На ровной поверхности песчаных отложений, по которым течет слой воды толщиной около 10 см, начинают формироваться гряды. Расположение их осей близко к нормальному, относительно направления течения воды, расстояние между грядами от 1,5 до 2 м.

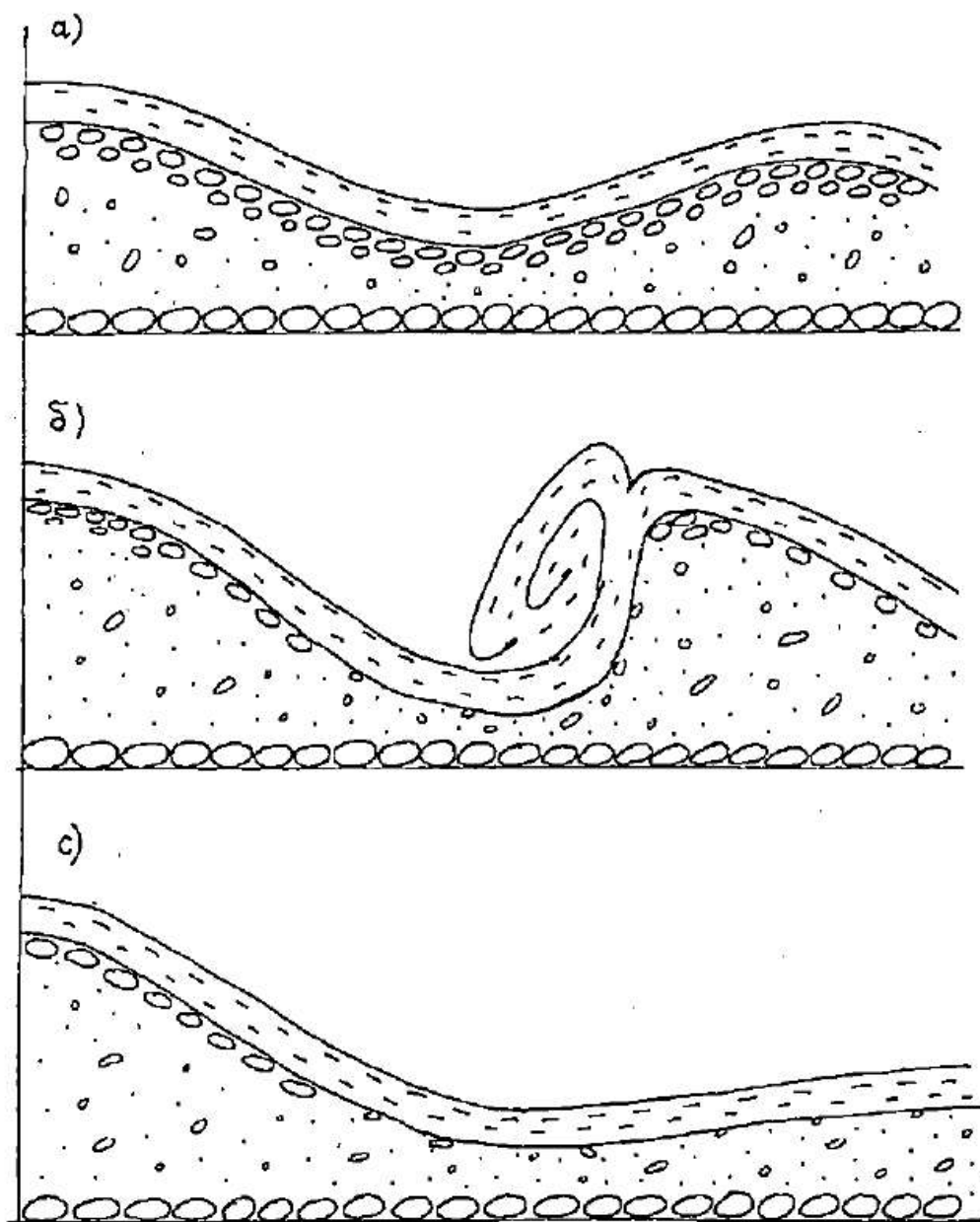


Рис. 1. Стадии развития и разрушения грядового перемещения наносов.
а) начало формирования антидюн; б) стадия максимального развития антидюн; в) стадия разрушения антидюны и переход наносов во взвешенное состояние.

В течение 1...1,5 мин высота гряд увеличивается до 25...30 см, после чего на грядах, расположенных ниже по течению, спокойное обтекание их вершин гряд водным потоком нарушается. Внешне это напоминает опрокидывание волны. При разрушении гряды частицы наносов переходят во взвешенное состояние, а мощность песчаного массива в этом месте уменьшается на 5...10 см [9]. Происходящий процесс разрушения распространяется на вышележащие гряды. Процесс разрушения гряд длится около 10...15 с и охватывает участки русла длиной 150...200 м. После чего наступает временное затишье, затем процесс повторяется. Так происходит до тех пор, пока весь массив песка не сдвинется вниз по руслу. Весь процесс формирования и последующего разрушения гряд длится от 2...3 до 7...10 мин.

Таким образом, движение массива происходит практически при его неизменных размерах подобно «гусенице трактора» [8]. Песок перемещается вдоль тела массива и при достижении головной части происходит оседание песка в виду резкого увеличения шероховатости. Поступающие с верхней части наносы имеют широкий спектр гранулометрического состава: от мелкого песка с частицами менее 1 мм, до гальки и щебня с размерами от 10 до 100 мм. Поскольку транспортирующая способность на этом участке меньше чем на предыдущем, происходит частичное отложение наносов, имеющих также широкий спектр размеров. Так как скорость потока выше днообразующей, то относительно мелкие частицы, опустившиеся на дно русла, имеют возможность вновь перемещаться скачкообразно или во взвешенном состоянии вниз по течению за пределы рассматриваемого участка. Более крупные частицы перемещаются качением с меньшей скоростью. По мере увеличения мощности отложившихся наносов происходит рост концентрации относительно крупных частиц как в толще наносов (в верхнем слое) так и вдоль русла (рис 1а).

Увеличение концентрации гальки (щебня) на нижнем участке приводит к увеличению шероховатости русла. В результате скорость течения воды уменьшается до значения, при котором начинается процесс формирования грядового режима перемещения наносов в виде антидюн. По мере увеличения концентрации крупных фракций наносов на вышерасположенных участках, на них также начинается процесс формирования антидюн. Их размер уменьшается снизу вверх из-за различного времени начала формирования.

При формировании и росте антидюн происходит изменение свободной поверхности потока, который огибает растущие гряды до тех пор, пока кинетическая энергия падающей с гребня воды не начинает размывать

верхний откос гряды находящейся ниже по течению. Это способствует дальнейшему росту дюны, которое происходит до тех пор, пока образовавшаяся воронка размыва не приведет к неустойчивому состоянию самой гряды (рис 1б). В результате происходит её опрокидывание и, как следствие, интенсивное разрушение, сопровождающееся переходом большинства частиц, образующих гряду, во взвешенное состояние и их интенсивный вынос с рассматриваемого участка русла на нижележащий участок (рис 1в). В свою очередь, на этом участке происходит накопление материала и повторение происходящих выше по течению процессов.

Наблюдаемый механизм переноса наносов существенно отличается от грядового перемещения наносов на равнинных реках. В первую очередь отличия обусловлены бурным потоком и высокой скоростью течения воды. Кроме того, наблюдаемое развитие и разрушение гряд происходит при глубинах потока, соизмеримых с размерами самих гряд. Механизм развития и последующего разрушения гряд неизбежно приводит к рассмотрению структуры потока в пространстве, образованном соседними грядами. В начале процесса имеем поток воды, сходящий с гребня гряды со скоростью V и глубиной H , равных скорости и глубине потока в естественном режиме. Сходящий с гребня гряды поток как бы скользит по склону гряды, при этом сам склон сложен из несвязных частиц и интенсивно размывается под действием потока. Размыв склона гряды происходит до тех пор, пока он не примет форму очертания свободной струи совершенного водослива [3]. Это происходит при условии, что скорость движения воды по склону гряды больше размывающей скорости для частиц песка, из которых эта гряда сложена. Продолжая рассматривать склон гряды как водослив практического профиля, можно сделать вывод о том, что в нижней части склона струя воды будет вести себя как на выходе с водослива [4]. Соответственно, в нижней части склона гряды поток воды будет обладать повышенной кинетической энергией, это приводит к интенсивному размыву как поверхности между грядами, так и нижней части расположенного вверх по течению откоса следующей гряды. При этом в подвалье между грядами образуется водоворотная зона, на образование которой тратится большая часть кинетической энергии потока [1]. Эта водоворотная зона способствует интенсивному размыву и взвешиванию частиц, которые затем перемещаются вместе с потоком на гребень следующей гряды и, в зависимости от их размеров, либо уносятся дальше, либо, откладываясь в верхней части гряды, способствуют росту последней. По мере увеличения высоты антидюн происходит увеличение площади соприкосновения дна и потока воды, в результате чего слой крупных час-

тиц уменьшается, наконец, происходит «вторжение» струи в слой отложений, в котором содержание крупных частиц незначительно. Скорость размыва резко возрастает, размеры гряд быстро увеличиваются. Всё это происходит до тех пор, пока струя не выйдет на уровень шероховатости русла в естественном состоянии. Деформация переднего склона гряды приводит к опрокидыванию волны, что приводит к резкому увеличению перемешивания и взвешиванию большей части наносов и их перенос на нижерасположенные участки. После выхода нисходящей струи на уровень бытовой шероховатости русла начинается разрушение наиболее низко расположенной по течению гряды. К моменту окончания разрушения нижней гряды, начинается процесс разрушения следующей гряды и т.д. В результате все антидюны на участке разрушаются, наносы перемещаются в основном во взвешенном состоянии вниз по течению, где аккумулируются, после чего процесс повторяется.

Описанный процесс позволяет реке избавиться от большого количества наносов за короткий промежуток времени. Действительно, на равнинных реках скорости перемещения донных наносов находятся в прямой зависимости от скорости перемещения гряд, которая определяется значениями от первых сотен метров до первых километров в год. В нашем случае разрушение антидюн приводит к тому, что наносы, из которых слагаются гряды, переходят во взвешенное состояние и перемещаются вниз по руслу со скоростью, близкой к скорости течения реки. Дальность такого перемещения определяется гидравлической крупностью каждой фракции наносов. Это и позволяет двигаться всему песчано-гравелистому массиву со скоростью 2,5...3 см/с или около 2,5 км /сут.

Автор приносит благодарность Б.С. Степанову за оказанную помощь и конструктивные предложения, высказанные им в процессе подготовки настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедов Т.Х. Размыв скального русла. - Алма-Ата: Изд-во Наука Казахской ССР, 1982. - 108 с.
2. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 455 с.
3. Богомолов А.И. Михайлов К.А. Гидравлика. - М.: Строиздат, 1972. - 648 с.
4. Векслер А.Б. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 624с.

5. Коган Л.Д., Углов В.П. Формы транспорта и расход наносов: Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. - М.: Наука, 1985. - С. 131-136.
6. Маковеев Н.И., Чалов Р.С. Эрозионные процессы. - М.: «Мысль» 1984. - 256 с.
7. Мочалов В.П., Ким А.К., Хайдаров А.Х. Результаты эксперимента «Чемолган – 91» // Селевые потоки. - М.: Гидрометеиздат, 1992. - № 12. - С. 101 – 109.
8. Светляков Е.И. Постселевые явления в русле р. Чемолган 12-22 сентября 1991 г. // Селевые потоки – М.: Гидрометеиздат, 1992.- № 12. – С. 110-112.
9. Степанов Б.С. Об особенностях переноса песчаных массивов водными потоками в постселевой период // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1992. - №. 12. – С. 113-116.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

СЕЛДЕН СОҢҒЫ КЕЗЕНДЕ ТАУ ӨЗЕНДЕРІНДЕГІ ҚОҚЫСТАРДЫҢ КӨШУІ

Э.А.Түрсүнов

*Сел өткеннен соң өзен арнасында пайда болатын құм-
тасты ірі массивтердің көшуі механизмдері қарастырылған.*