



## Литология селеформирующих отложений

**Ерохин С.А.**

Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР

**Загинаев В.В.**

Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР ([zagivit@mail.ru](mailto:zagivit@mail.ru))

МРНТИ 38.15.19

***Аннотация:** В последние годы выросло число чрезвычайных ситуаций, связанных с селями и паводками. Для жителей, проживающих в горных районах и вблизи русел горных рек сели создают большую угрозу. Для более точного и достоверного прогноза необходимо более тщательное изучение селевых процессов. В данной статье приводится анализ литологической составляющей селевого потока.*

**Ключевые слова:** Литология, селеформирование, чрезвычайные ситуации.

### Введение

Селевой поток формируется при трансформации водного потока путем насыщения последнего рыхлообломочным материалом [8, 9]. Наблюдения в горных долинах показывают, что в селеформировании принимает участие рыхлообломочный материал различных генетических типов четвертичных отложений. При этом вклад каждого типа в процесс селеформирования далеко не одинаков. Так, замечено, что активны в селеформировании гляциальные (морены), коллювиальные, пролювиальные отложения [3-6]. Значительно более инертны аллювиальные и флювиогляциальные отложения, а также отложения каменных глетчеров [2]. Причина этого кроется в составе селеформирующих отложений.

### Методы

Степень насыщения водного потока рыхлообломочным материалом зависит от ряда факторов, которые были охарактеризованы и количественно оценены известными учеными Т. Такахаша, Р. Багнольдом, А. Крошкиным и Ю. Виноградовым [1, 10]. По результатам своих исследований они вывели формулу, получившую название уравнение Такахаша–Багнольда [12]. Преобразованное относительно параметра  $C_T$ , где  $C_T$  – это весовая концентрация обломочного материала в селевой смеси, это уравнение выглядит следующим образом:

$$C_T = \frac{\rho_0 \times tg \alpha}{(\rho_T - \rho_0) \times (tg \varphi - tg \alpha)} \quad (1)$$

где  $\rho_0$  и  $\rho_T$  - плотность воды и твердой составляющей селевой массы; для практических расчетов можно принять  $\rho_0=1,0$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_T=2,65$  г/см<sup>3</sup>;

$\varphi$  - угол внутреннего трения рыхлообломочных отложений под водой;

$\alpha$  - угол наклона дна долины или селевого очага.

Согласно этому уравнению, селеформирующая активность отложений характеризуется параметром  $C_T$ , который зависит от величины угла внутреннего трения  $\varphi$ . Чем больше значение  $\varphi$ , тем больше возможно насыщение водного потока обломочным материалом. Угол  $\varphi$ , в свою очередь, зависит от состава селеформирующих отложений. Следовательно, через параметр  $\varphi$  прослеживается связь между  $C_T$  и составом отложений. Однако необходимо найти параметр, характеризующий этот состав. Известный исследователь селеформирующих грунтов В. Н. Вардугин (1977) установил, что присутствие в отложениях глинисто-пылеватых фракций даже в небольших количествах (1-2 %) придает этим отложениям специфические свойства связных отложений, например способность переходить в текучее состояние и двигаться однородной массой при определенной степени увлажнения и на уклонах, превышающих угол внутреннего трения селевой массы. Поэтому глинисто-пылеватая часть отложений в наибольшей мере отражает возможность их участия в селеформировании.

Для оценки влияния пылеватых и глинистых частиц на величину угла внутреннего трения отложений были проведены полевые исследования по определению угла внутреннего трения мелкозема под водой. Мелкоземом считаются частицы менее 10 мм, составляющие заполнитель грубообломочной части отложений. В составе мелкозема выделялись песчаные частицы размером от 2 до 0,1 мм и пылеватые и глинистые частицы размером менее 0,1 мм.

### Результаты

Определения выполнены в 14-ти горных долинах северного склона Кыргызского хребта. Количество определений составляет: Чон-Каинды – 59, Джарды-Каинды – 58, Кашкасу – 31, Янткунуш – 31, Туяк-Иссыкатынский – 50, Иша – 36, Курортная-1 – 15, Курортная-2 – 14, Адыгене – 30, Сокулук (по профилям вдоль долины) – 99, Сокулук (по устьевым участкам) – 163, Сокулук (дополнительные определения в устьевых частях опасных селеоборотов) – 26, Кара-Балта (по профилям вдоль долины) – 18, Кара-Балта (по устьевым частям селеоборотов) – 57, Кегеты – 67, Джеламыш – 45. Всего 799 определений, в том числе 478 с определением угла внутреннего трения в сухом состоянии и под водой. Результаты определений обобщены в таблице 1.

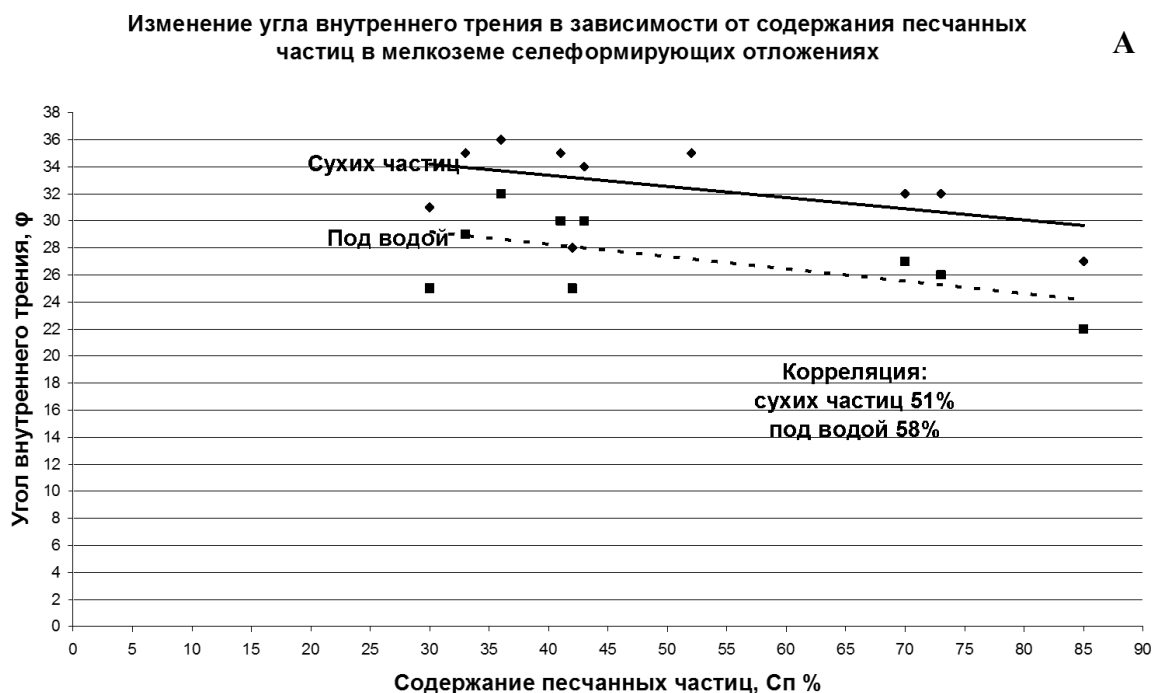
Таблица 1 – Результаты определений

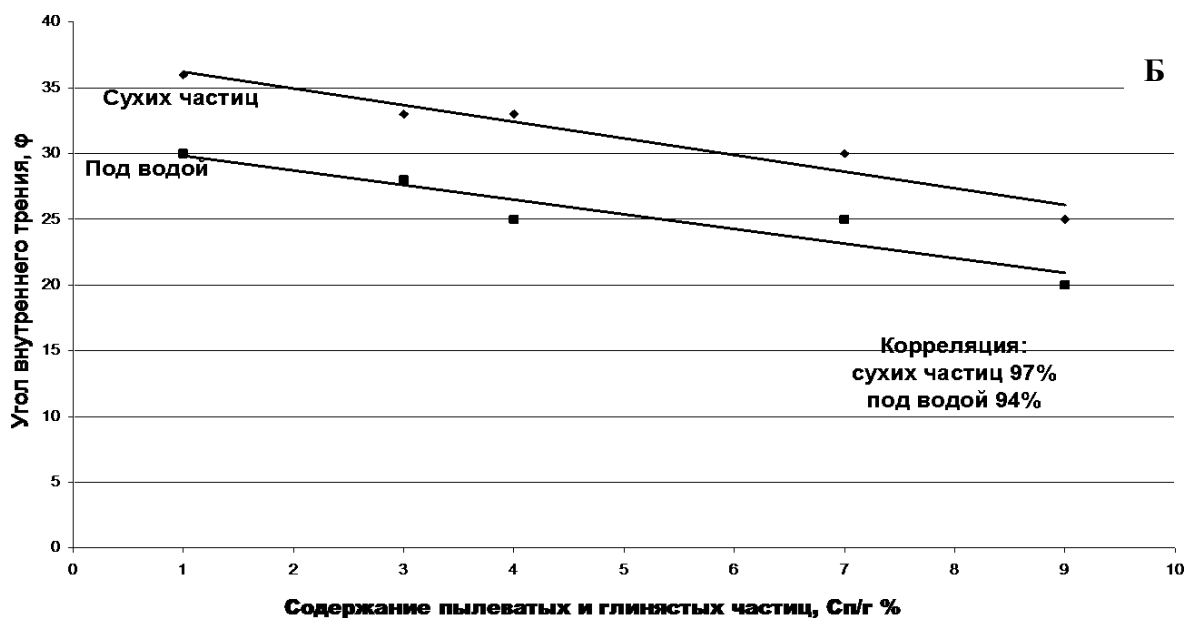
Среднее содержание %:	Голоценовый аллювий aIV	Селевые отложения	Селеформирующие отложения (гляциальные, селевые, склоновые)	Проллювиальные голоценовые отложения
песчаных частиц	51	40	31	47
пылеватых и глинистых частиц	2	3	5	3

Количество песчаных частиц при селеформировании увеличивается с 31 до 40 %, затем при размыве селевых отложений водными потоками их содержание еще более увеличивается – до 47 % в пролювии и аллювии.

Количество пылеватых и глинистых частиц уменьшается при переходе селеформирующих отложений в селевые – с 5 до 3 %, а затем еще более уменьшается при размыве селевых отложений водными потоками – до 2 % в аллювии на днище горной долины.

Результаты полевых исследований представлены в виде графиков зависимости (рисунок 1):  $\varphi \sim \varphi \sim f(C_{п})$  и  $\varphi \sim f(C_{п/г})$ , где  $C_{п}$  и  $C_{п/г}$  – это содержание в мелкоземе песчаных ( $C_{п}$ ) и пылеватых и глинистых ( $C_{п/г}$ ) частиц.





**Рисунок 1** — Графики зависимости угла внутреннего трения от содержания пылеватых и глинистых частиц в составе мелкозема селеформирующих отложений

На графиках прослеживается четкая зависимость угла внутреннего трения отложений от содержания пылеватых и глинистых частиц в составе их мелкозема. Особенно тесная связь наблюдается между углом внутреннего трения и  $C_{п/г}$ , где коэффициент корреляции достигает 94-97,5 %. Следовательно, можно заключить, что селевая активность отложений во многом зависит от содержания в их мелкоземе пылеватых и глинистых частиц.

Однако эта зависимость имеет определенные границы. Как показывают наблюдения за селевыми потоками в горных долинах Тянь-Шаня, селеформирующая активность отложений по мере увеличения содержания в них пылеватых и глинистых частиц возрастает до какого-то предела, за которым она начинает уменьшаться. При значительном (возможно более 30 %, см. таблицу 2) содержании в составе мелкозема глинистых и пылеватых частиц отложения не могут формировать селевые потоки. Наиболее ярким примером этого свойства рыхлообломочных отложений является отсутствие селевых потоков на площадях развития палеоген-неогеновых пород. При выветривании и разрушении этих пород образуются рыхлообломочные отложения со значительным содержанием глинистых и пылеватых частиц, которые формируют только наносоводные потоки плотностью до  $1,4 \text{ г/см}^3$ . Разрез палеоген-неогеновых пород венчают грубообломочные отложения так называемой шарпылдакской свиты верхнеплиоценового-нижнеплейстоценового возраста. Содержание пылеватых и глинистых частиц в составе мелкозема отложений этой свиты находится в границах селеформирования, поэтому на площади развития шарпылдакских отложений наблюдаются следы прохождения типичных селевых потоков.

С другой стороны, если количество пылеватых и глинистых частиц в составе мелкозема отложений будет незначительным, меньше нижней границы селеформирования, то селеформирующая активность этих отложений резко уменьшается. Поэтому грубообломочные отложения коллювиального типа, отложения «каменных потоков» или «курумов» в селеформировании почти не участвуют. Если селевой поток встречается на своем пути «курум», он упирается в него как в плотину, отклоняется к противоположному борту долины, а затем погибает его в своем дальнейшем движении. Для определения селеформирующей способности отложений различных генетических типов было проведено полевое обследование их состава в долине реки Аксай (бассейн реки Ала-Арча на северном склоне Кыргызского хребта). Селеформирующая способность отложений оценивалась по плотности формируемых ими селевых потоков. Плотность селевой массы в потоке определялась по формуле:

$$\rho_c = (1 - C_T)\rho_o + C_T\rho_T \quad (2)$$

Обозначения в формуле те же, что и в формуле (1).

В таблице 2 приведены результаты расчетов по формулам (1) и (2) параметров  $C_T$  и  $\rho_c$  для селеформирующих отложений различных стратиграфо-генетических комплексов. При этом значение  $tg\alpha$  принимаем равным среднему уклону селевого очага Аксай – 0,27 [7]. Содержание пылеватых и глинистых частиц, а также угол внутреннего трения  $\varphi$  отложений различных генетических типов приведены в таблице как средние значения результатов анализов проб, взятых из селеформирующих отложений горных долин Северного Тянь-Шаня.

**Таблица 2** – Результаты расчетов по формулам (1) и (2)

№ п/п	Стратиграфо-генетический комплекс	Число проб	Среднее содержание пылеватых и глинистых частиц, %	Среднее значение угла внутреннего трения, град.	Возможная концентрация селевых потоков	Плотность селевых потоков, г/см <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	аллювий Q <sub>IV</sub>	30	4.7	34	0.41	1.68
2	аллювий Q <sub>III</sub>	30	8.9	29	0.58	1.96
3	аллюво-пролювий Q <sub>IV</sub>	36	5.8	32	0.47	1.78
4	аллюво-пролювий Q <sub>III</sub>	30	4.6	34	0.41	1.68
5	коллювий Q <sub>IV</sub>	50	6.9	30	0.53	1.87
6	делювий Q <sub>IV</sub>	38	5.8	32	0.47	1.78
7	гляциальный Q <sub>IV</sub>	60	9.4	28	0.63	2.04
8	гляциальный Q <sub>III</sub>	30	24.1	24	0.91	2.50
9	гляциальный Q <sub>II</sub>	30	23.9	24	0.91	2.50
10	коллювиально-гляциальный Q <sub>IV</sub>	30	8.5	29	0.58	1.96
11	пролювиальный Q <sub>III-IV</sub>	30	15.8	25	0.82	2.35

Значения селеформирующих параметров, приведенные в таблице 2, весьма наглядно свидетельствуют, что селевые потоки высокой, почти предельной плотности ( $2,50 \text{ г/см}^3$ ) образуются при размыве гляциальных отложений средне-верхнечетвертичного возраста. Содержание пылеватых и глинистых частиц в составе их мелкозема превышает 20 %. Менее активную роль в селеформировании играют современные гляциальные и пролювиальные отложения ( $2,04\text{-}2,35 \text{ г/см}^3$ ). Еще менее активны коллювиально-гляциальные и верхне-четвертичные аллювиальные отложения. По активности к ним приближаются коллювиальные отложения ( $1,87\text{-}1,96 \text{ г/см}^3$ ). Наконец, наименее селеактивными являются аллювиально-пролювиальные, современные аллювиальные и делювиальные отложения. Плотность селевой суспензии при размыве этих отложений составит всего  $1,68\text{-}1,78 \text{ г/см}^3$ .

В соответствии с положением «Руководства селестоковыми станциями и гидрографическими партиями» (1990) горные паводковые потоки по своей плотности разделяются на следующие типы: 1) наносоводные – плотностью от  $1100 \text{ кг/м}^3$  до  $1400 \text{ кг/м}^3$ ; 2) грязевые – плотностью от 1.4 до  $1.8 \text{ кг/дм}^3$ ; 3) грязекаменные – плотностью от 1.8 до  $2.5 \text{ кг/дм}^3$ .

Как видно из таблицы 2 грязекаменные потоки могут образоваться в тех долинах, где есть отложения гляциальных комплексов. Пролувиальные отложения также способны формировать селевые потоки плотностью более  $2 \text{ кг/дм}^3$ , но эти пролювиальные отложения представляют собой переотложенные гляциальные комплексы.

### **Заключение**

Таким образом, по степени селеформирующей активности рыхлообломочных отложений, горные и предгорные долины разделяются на три группы:

1. Долины, в которых возможно формирование всех трех типов селевых потоков. Это горные долины с современным оледенением или останцами древнего оледенения, с мощной толщей моренных отложений в верховьях. Это крупные горные долины первого и второго порядка. Причиной формирования селевых потоков здесь могут быть прорывы горных озер и внутриледниковых емкостей, а также ливневые дожди с дополнительным увлажнением селеформирующих отложений талыми снеговыми водами.
2. Долины, в которых могут формироваться потоки первого и второго типов. Это горные долины третьего и четвертого порядков со следами древнего оледенения в верховьях. В эту же группу долин входят некоторые предгорные долины, в верховьях которых залегает мощная толща грубообломочных отложений шарпылдакской свиты. Как уже было сказано выше, литологический состав отложений этой свиты способствует формированию селевых потоков второго типа. Причиной формирования селевых потоков в этих долинах являются ливневые дожди и дополнительное увлажнение отложений талыми снеговыми водами.

3. Долины, в которых формируются только наносоводные потоки. Это предгорные долины, борта и днище которых выполнены палеоген-неогеновыми заглинизированными отложениями. Большое содержание глинистых частиц в их составе препятствует формированию селевых потоков большой плотности. Под действием ливневых дождей заглинизированные отложения легко размываются, образуя наносоводные потоки.

### Список использованной литературы

- [1] Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках. Л. Гидрометеиздат 1980, 144 с.
- [2] Герасимов Ю.В., Диких А.Н. Особенности эрозионной деятельности гляциальных селей в областях с развитыми древнеморенными отложениями. В сб. «Динамика и режим современного и древнего оледенения Тянь-Шаня». – Фрунзе: Илим, 1977. С. 131-139.
- [3] Ерохин С.А. Отчет о результатах работ по инженерно-геологическому изучению плотин высокогорных селеопасных озер Киргизии в 1988-1992 гг. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 1992. – 289 с.
- [4] Ерохин С.А. Инженерно-геологическое изучение плотин высокогорных селеопасных озер на территории Таласской, Нарынской, Чуйской и Иссыккульской областей Кыргызской Республики. Отчет Инженерно-геологической партии Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции по работам 2000-2008гг. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 2008. – С. 174+192.
- [5] Ерохин С.А. Отчет о результатах работ по инженерно-геологическому изучению плотин высокогорных селеопасных озер Киргизии в 1988-1992 гг. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 1992. – 289 с.
- [6] Ерохин С.А. Инженерно-геологическое изучение плотин (моренно-ледниковых комплексов) высокогорных селеопасных озер, селевых очагов и селеопасных горных долин Киргизии. Отчет по работам 1991-2000 гг. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 2000. – С. 131+151.
- [7] Ерохин С.А., Диких А.Н. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка. Известия национальной Академии наук Кыргызской Республики. Илим, №4. Бишкек, 2003. – С. 130-139.
- [8] Ерохин С.А., Мангельдина Н.Г., Загинаев В.В. Оценка селевой опасности горных долин Кыргызстана и прогноз селевой активности в 2010 году. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание седьмое с изменениями и дополнениями. Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. Бишкек, 2010. – С. 594-606.
- [9] Ерохин С.А., Загинаев В.В. Прогноз активности селевых и паводковых потоков Кыргызстана в 2011 году. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание восьмое с изменениями

- 
- и дополнениями. Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. Бишкек, 2011. – С. 601-604.
- [10] Крошкин А.Н. Условия образования и некоторые расчетные характеристики селя на р. Ала-Арча. Тр. ИЭиВХ Киргиз. ССР, вып. 5 (VIII), Фрунзе, 1959.
- [11] СП КР 22-102:2001. Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики.
- [12] Степанов Б. С. Транспортно-сдвиговый и сдвигово-эрозионный селевой процессы. Селевые потоки. Сб.9. Гидрометеоиздат, М., 1985. – С. 3-16.