

УДК 551.311.21:627.141.1

Доктор геогр. наук Б.С. Степанов<sup>1</sup>  
Доктор техн. наук Р.К. Яфязова

### ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕВЫХ ПРОЦЕССОВ 23 ИЮЛЯ 2015 г. В БАССЕЙНЕ Р. КАРГАЛИНКА

**Ключевые слова:** водный поток, наносы, лёсс, концентрация, твердая составляющая, селевая масса, движущая и удерживающая силы

*Сель 23 июля 2015 г., в силу особенностей основных факторов селеформирования и пути его движения по долине р. Каргалинка, коренным образом отличался от селей, типичных для Иле Алатау. Расход селя не превышал 100...150 м<sup>3</sup>/с. Резкое расширение долины в зоне, примыкающей к створу плотины, и низкое значение пластичности селевой массы привели к тому, что скорость «жидкой» части селевой массы опережала скорость крупных фракций. Частичное заполнение селеохранилища грязью стало причиной непредусмотренного расхода селя в нижнем бьефе плотины, что привело к вторичному селеформированию, нанёсшему большой экономический ущерб.*

Селевая активность в бассейне р. Каргалинка в голоцене, как и в других речных бассейнах северного склона Иле Алатау, была незначительной [1]. На поверхности конуса выноса р. Каргалинка местами сохранился лёссовый покров, формировавшийся в вюрмскую ледниковую эпоху (125...12 тыс. лет назад) (рис. 1). На рис. 1 показан участок местности, расположенной в средней части конуса выноса. Отсутствие на его поверхности крупных фракций рыхлообломочных отложений (валунов, глыб) свидетельствует о том, что в последние 10...12 тыс. лет по этому участку сели не проходили. Наличие слоя селевых отложений в лёссе указывает на то, что небольшие сели в данном речном бассейне в упомянутую ледниковую эпоху формировались.

Наиболее крупные дождевые сели в 20 веке на р. Каргалинка формировались 08.07.1921 г. и 23.05.1969 г. Их характеристики, судя по рельефу прирусловой зоны реки, значительно уступали селю 23.07.2015 г., образовавшегося в результате прорыва моренного озера. Вследствие геоло-

---

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

гических, геоморфологических и гидрогеологических условий формирования, этот селя также имел относительно небольшие расход, объем и плотность селевой массы.



*Рис. 1. Фрагменты лёссового покрова и селевых отложений на конусе выноса р. Каргалинка.*

В бассейне р. Каргалинка имеются 7 ледников, одно моренное озеро и 3 периодически пустующих котловины. Ледник Каргалинский – самый большой ледник бассейна, площадь открытой части близка к 1 км<sup>2</sup>. Расстояние между озером, расположенном на моренно-ледниковом комплексе ледника Каргалинский (прорыв которого привел к формированию селя 23 июля), и створом плотины около 16 км.

По данным аэровизуального рекогносцировочного обследования, выполнявшегося подразделениями КЧС МВД РК, объем озера составлял 40 тыс. м<sup>3</sup>, расход прорывного паводка – 5 м<sup>3</sup>/с, озеро опорожнилось на 80 %. Опорожнение происходило по внутриморенным каналам стока.

Бассейн р. Каргалинка находится в непосредственной близости от зоны максимальной деформации горных пород (Акжарского обвала), вызванной землетрясением 1887 г. В составе селеформирующих пород значительная доля представлена крупными обломками при дефиците пылеватоглинистых фракций. Следствие этого – незначительное предельное напряжение сдвига селевой массы в створе «плотина», что не характерно для селевой массы селей, формирующихся в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы, Талгар, Есик и др.

Геоморфологические характеристики бассейна р. Каргалинка также не благоприятствуют формированию селей большой плотности: на среднем, наиболее крутом участке долины, имеющем V-образную форму, запасы селеформирующих пород незначительны. На верхнем и нижнем участках долины, где объем рыхлообломочных пород велик, – уклон долины относительно мал. Все это привело к тому, что вязкость и пластич-

ность суспензии (на выходе селя в нижнюю часть долины) оказались недостаточными для поддержания крупных фракции (валунов и глыб) селевой массы в квазивзвешенном состоянии.

Из-за небольшого расхода селевого потока (100...150 м<sup>3</sup>/с), его глубина, при выходе селя в относительно широкую долину, была соизмерима с размерами крупных фракций твердой составляющей селевой массы. Взаимодействие этих фракций с породами русла приводило к торможению селевой массы, обусловленного возрастанием силы трения кулоновской природы из-за того, что верхняя часть крупных фракций, возвышавшихся над уровнем селевой массы, содержавшей более мелкие фракции, оказывалась вне зоны воздействия архимедовой силы.

Вследствие относительно небольшой вязкости и пластичности грязевой составляющей селевой массы, последняя имела большую скорость движения, нежели валуны и глыбы. По этой причине фронтальная часть селя представляла собой поток грязи (из-за больших значений вязкости и пластичности селевой массы, образующихся в речных бассейнах большинства рек северного склона Иле Алатау, подобная трансформация места не имеет, скорость движения грязевой составляющей и крупных обломков горных пород одинаковы), которая начала заполнять селехранилище. Не доходя 70...100 м до плотины, часть селевой массы, содержавшей крупные фракции, останавливалась (рис. 2). При этом из порового пространства, образованного крупными фракциями, происходило излияние грязевой составляющей, которая продолжала заполнять селехранилище.



*Рис. 2. Отложения грязекаменной массы в верхнем бьефе плотины. Сохранность молодых деревьев в пойме реки – свидетельство малой скорости селя. Пустоты в поровом пространстве валунно-глыбовых отложений – результат истечения грязевой составляющей селевой массы после ее остановки.*

Поскольку пропускная способность двух водовыпусков, расположенных в теле плотины, была меньше расхода грязевого потока, поступавшего в селехранилище, уровень его заполнения возрастал. Стабилизация уровня заполнения селехранилища наступила на отметке, близкой к 12 м. Наличие в верхнем бьефе «грязевого озера» и привело к тому, что грязекаменная составляющая потока, не достигнув плотины, отложились в ее верхнем бьефе. Объясняется это тем, что если поверхность потока параллельна руслу (или пойме), движущая сила, действующая на единичный объем селевого потока, равна

$$F_1 = [\rho_T C + \rho_o (1 - C)] g \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\rho_T$  и  $\rho_o$  – плотность горной породы и воды соответственно;  $C$  – объемная концентрация твердой составляющей в селевой массе;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha$  – угол наклона русла.

Поверхность грязевой составляющей селя, накопившейся в верхнем бьефе плотины до подхода грязекаменной массы селя, была практически горизонтальной из-за малой величины предельного напряжения сдвига грязевой составляющей. Грязекаменная масса (имевшая плотность большую по сравнению с ее грязевой составляющей) продолжала движение в придонной части селехранилища внутри грязевой составляющей.

В такой ситуации движущая сила, действующая на единичный объем грязекаменного потока, определяется по формуле

$$F_2 = (\rho_T - \rho_S) C_T g \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $\rho_S = \frac{\rho_T k C + \rho_o (1 - C)}{1 - C + k C}$ ,  $k C = C_S$ ;  $C_T = C - k C$ ;  $\rho_S$  – плотность грязевой составляющей;  $C_T$  – объемная концентрация твердой составляющей, за исключением таковой, входящей в состав грязевой составляющей;  $k$  – доля частиц, входящих в грязевую составляющую, в полном гранулометрическом составе твердой составляющей селевой массы;  $C_S$  – объемная концентрация твердой составляющей «грязевого озера».

Синус угла наклона пути движения селя (для единичного объема селя), при котором происходит его остановка в ситуации, при которой поверхность потока параллельна пути его движения, может быть определен из равенства сдвигающей и удерживающей сил

$$F_1 = F_{y\partial}, \quad (3)$$

$$F_{y\theta} = C_T(\rho_T - \rho_S)gf \cos \alpha + \tau_o, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $\tau_o$  – предельное напряжение сдвига грязевой составляющей.

В ситуациях, когда пластичностью селевой массы можно пренебречь, минимальное значение тангенса угла наклона русла, на котором движение селя возможно, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{C_T(\rho_T - \rho_S)f}{\rho_T C + \rho_o(1 - C)}. \quad (5)$$

На рис. 3 приведены графики зависимости угла наклона  $\alpha$  от концентрации твердого компонента в селевой массе  $C$  при различных значениях  $k$ .

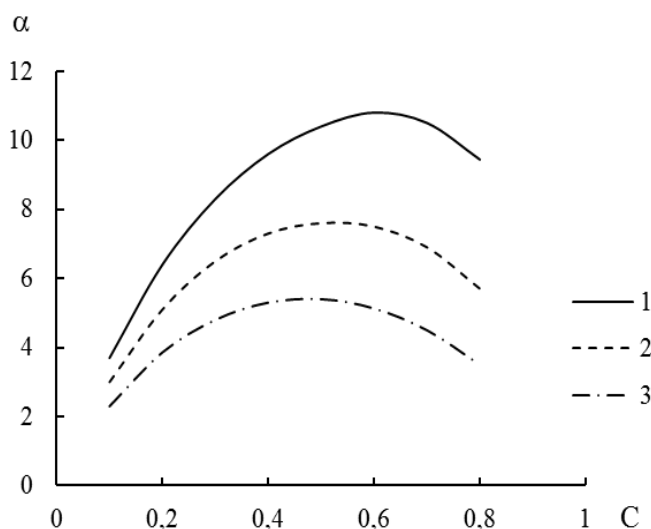


Рис. 3. Зависимость угла наклона  $\alpha$  от концентрации твердой составляющей в селевой массе  $C$  при различных значениях  $k$ : 1 – 0,15; 2 – 0,3; 3 – 0,45.

Тангенс угла наклона пути движения твердой составляющей селя (принимающей участие в создании силы, имеющей кулоновскую природу), на котором происходит ее остановка при движении в селехранилище, частично заполненном его грязевой составляющей, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{C_T(\rho_T - \rho_S)f}{(\rho_T - \rho_S)C_T} = f. \quad (6)$$

Нетрудно видеть, что  $\operatorname{tg} \alpha_1 \ll \operatorname{tg} \alpha_2$ . В такой ситуации механизм отложения твердой составляющей селевой массы в селехранилище будет близок к механизму отложения наносов в водохранилище.

Образование «грязевого озера» в верхнем бьефе привело к тому, что водовыпуски работали в напорном режиме, что не было предусмотрено при проектировании плотины. Поэтому максимальный расход грязевой составляющей селя, прошедшей по водовыпускам в нижний бьеф плотины, значительно превышал расчетное значение –  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Несмотря на то, что наклон русла в нижнем бьефе не превышал  $5^\circ$ , большая плотность грязевой составляющей  $1800...2000 \text{ кг/м}^3$  привела к дальнейшему развитию селевого процесса.

Возможность более быстрого движения грязевой составляющей селя, относительно крупных фракций селеформирующих горных пород, входивших в состав селевой массы, не предусматривалась при проектировании плотины. Объясняется это недостаточно полным изучением, как динамики селевых процессов, так и геологических и геоморфологических особенностей бассейна р. Каргалинка.

На километровой участке ниже створа плотины грязевой поток, взаимодействуя с рыхлообломочными отложениями селей прошлых лет, трансформировался в грязекаменный поток с плотностью  $2350...2400 \text{ кг/м}^3$ .

На конусе выноса, застроенном жилыми и производственными сооружениями западной части г. Алматы, грязекаменный селя, не поместившийся в русло р. Каргалинка, растекался по улицам и дворам. Последствия разрушения домов (находившихся в непосредственной близости от русла) под ударами валунов и глыб были похожи на то, что происходит при бомбардировке или артобстреле.

Большая доля объема вторичного селеобразования отложилась на городской территории в средней части конуса выноса, часть грязевой составляющей селя, поместившаяся в русло реки, вытекла за его пределы.

События, произошедшие в бассейне р. Каргалинка в 2015 г., ущерб от которых оценивается в 2 млрд тенге, а также прогноз многократного увеличения селевой активности уже в ближайшие десятилетия, свидетельствуют о настоятельной необходимости активизации научных исследований по селевой проблеме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Климат и ландшафты центральной части северного склона Заилийского Алатау / Современные проблемы геоэкологии и созологии. – Алматы, 2001. – С. 138-142.

Поступила 25.06.2016

Геогр. ғылымд. докторы      Б.С. Степанов  
Техн. ғылымд. докторы      Р.К. Яфязова

### ҚАРҒАЛЫ Ө. БАССЕЙНІНДЕГІ 23 ШІЛДЕ 2015 Ж. СЕЛ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Түйін сөздер:** су ағыны, наносы, лесс, концентрация, қатты бөлшегі, сел массасы, қозғалтқым және үйкеліс күштері

*23 шілде 2015 ж. Қарғалы ө. Аңғары бойынша өткен сел өзінің жылжу боғаты мен сел қалыптастарушы негізгі факторларының ерекшеліктерімен, Іле Алатау тән селдерден мүлдем басқаша болды. Сел шығыны 100...150 м<sup>3</sup>/с аспады. Плотинағатақап тұратын жерде ақғардыңқурт кеңеуі мен селмассасының төмен ырғақтылығы сел массалының «сұйық» бөлігінің жылдамдығы ірі фракцияларынан озып кетуіне шалдырды. Селқорының жартылай балшықпен толтырылуы плотинаның төменгі бьефіндегі болжанбаған сел ағынына себеп болып, үлкен экономикалық зардап келтірген қайта сел қалыптасуына әкілді.*

DSc. Stepanov B.S., DSc. Yafyazova R.K.

### DEBRIS-FLOW PROCESSES FEATURES IN THE KARGALINKA RIVER BASIN 23 JULY 2015

**Keywords:** debris flow, water flow, sediment, loess, solid concentration in debris-flow mass, moving and confining forces

*23 July 2015 debris flow differed from debris flows typical for the Ile Alatau due to the features of the main factors of debris-flow forming and debris-flow path in the Kargalinka River valley radically. The debris-flow discharge does not exceed 100...150 m<sup>3</sup>/s. The sharp broadening of the valley in the dam site and the low value of debris-flow mass plasticity led to that the velocity of «liquid» part of the debris-flow mass ahead of the velocity of coarse grains. Partial filling a storage reservoir by mud induced the off-design debris-flow discharge in the tail-water of the dam. It led to secondary formation of a debris flow, which caused great economic damage.*