

УДК 551.311.551.4

В.Н. Минеев¹
Доктор геогр. наук Б.С. Степанов²
Доктор техн. наук Р.К. Яфязова

НЕКОТОРЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ УРОКИ СЕЛЯ 2015 ГОДА НА РЕКЕ КАРГАЛИНКА

Ключевые слова: водный поток, паводок, селевая масса, плотина, водовыпуск, расход, скорость, твердая составляющая, жидкая составляющая

Недостаточная изученность условий формирования селей в бассейне р. Каргалинка стала причиной непредусмотренного расхода селя в нижнем бьефе плотины, что привело к вторичному селеформированию, нанёсшему большой экономический ущерб. Объясняется это различием скоростей движения крупных фракций твердой составляющей селевой массы и жидкой составляющей (вода и относительно мелкие фракции), особенностями проявления движущей и удерживающей сил при заполнении селехранилища, а также конструкцией водовыпусков плотины.

Хребет Иле (Заилийский) Алатау как по разнообразию механизмов селеформирования и селевой активности, так и ущерба, нанесенного и ожидаемого, занимает одно из первых мест на Земном шаре. Вероятно из-за молодости селеведения, а тем более опыта защиты от селевых потоков, здесь строились плотины различные по размерам и конструкции: насыпные, железобетонные, глухие, ячеистые, сквозные, арочные и др. Селехранилища имеют объем от долей миллиона кубических метров до 14,3 млн м³. К сожалению, практически все проекты этих сооружений основывались на СНиП (строительные нормы и правила), разработанных к началу 90-х годов прошлого века.

Одним из таких сооружений является железобетонная плотина на р. Каргалинка. Ее рабочий проект разработан в 1986 г., корректировка проекта была выполнена в 2003 г. Строительство осуществлялось в период 1987...1992 гг. Затем (из-за отсутствия финансирования) строительство прекращалось, но было возобновлено и закончено 15.07.2003 г. Эти и все

¹ ТОО «АрхСпецСтройПроект», г. Алматы, Казахстан

² Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

дальнейшие сведения, касающиеся исходных данных и конструкции плотины взяты из «Инструкции по технической эксплуатации противоселевого сооружения на р. Каргалинка», изданной в 2011 г. (в дальнейшем «Инструкция»). Характеристики водных и селевых потоков, принятые при проектировании плотины, приведены в табл.

Таблица

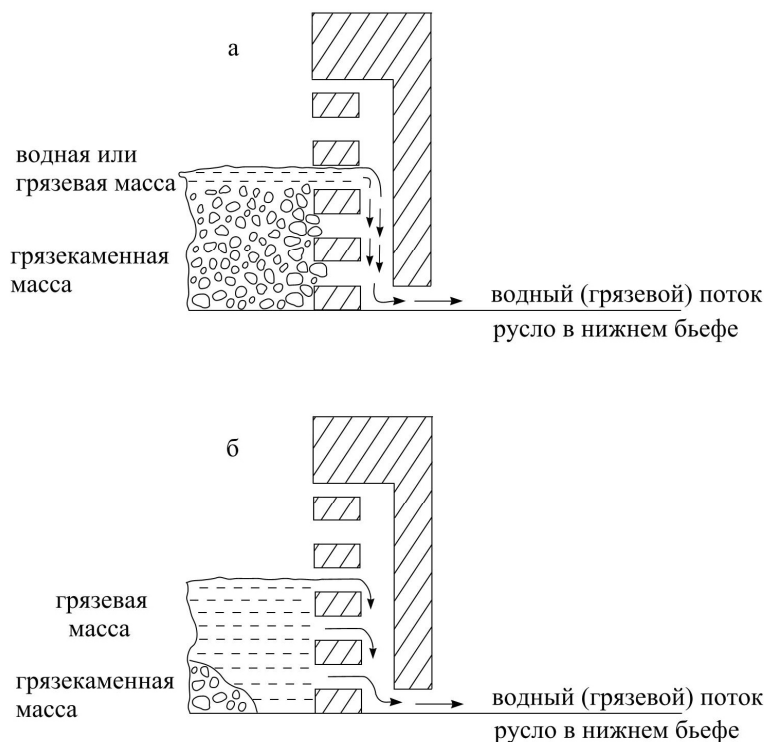
Общие сведения об объекте

Наименование	Показатель
Характеристики потоков	
Максимальный расход при ливневом паводке	
p = 0,01 %	47,5 м ³ /с
p = 1,0 %	19,8 м ³ /с
Критический расход	10,0 м ³ /с
Объем воды при паводке	
p = 0,01 %	439 тыс. м ³
p = 1,0 %	183 тыс. м ³
Возможный объем селевого потока	
p = 0,01 %	5,268 млн м ³
p = 1,0 %	1,196 млн м ³
Возможный расход селевого потока	
p = 0,01 %	1425 м ³ /с
p = 1,0 %	594 м ³ /с
Плотность селевой массы	2400 кг/м ³
Класс сооружений объекта	III
Емкость селехранилища	1,2 млн м ³

Проверка на «прочность» плотины на р. Каргалинка произошла 23.07.2015 г., когда в результате прорыва моренного озера образовался грязекаменный селя. Характеристики селя (среднего по расходу и объему) претерпевали значительные изменения вследствие геологических и геоморфологических особенностей речного бассейна. Главным отличием обсуждаемого селя от катастрофических селей в бассейнах рек Есик, Киши и Улкен Алматы было то, что скорость движения твердой и жидкой составляющих селя существенно отличались. Это обстоятельство повлияло на процесс заполнения селехранилища.

Благодаря одинаковой скорости движения составляющих селевой массы (жидкой и твердой), входные отверстия водоотводящих каналов, расположенных в теле плотины забивались крупными (а затем и мелкими) фракциями. Поэтому в водоотводящие каналы плотины вода (жидкая со-

ставляющая селя) поступает только через «окна», расположенные выше остановившейся селевой массы (рис. 1а). Движение воды (жидкой составляющей селя) по каналам в теле плотины происходит в безнапорном режиме. Иная ситуация имела место при заполнении селехранилища на р. Каргалинка (рис. 1б). Фронтальная часть селя, представленная грязевой составляющей, имела расход, превышающий пропускную способность водовода плотины (в безнапорном режиме). Поэтому перед плотиной происходило ее накопление. С увеличением уровня «грязевого озера» увеличивалось гидростатическое давление на входе водоприемника, в результате чего возрастал расход грязевой составляющей, поступавшей в нижний бьеф плотины, что не было учтено при разработке конструкции плотины.



*Рис. 1. Схемы функционирования водоотводов плотины.
а – предполагавшаяся проектом схема заполнения селехранилища;
б – схема заполнения селехранилища в 2015 г.*

Когда значение расхода грязевой массы через водопропускные сооружения при напоре 12 м стало равным расходу селя на входе в селехранилище, уровень его заполнения стабилизировался. О максимальном уровне заполнения селехранилища грязевой составляющей селевой массы свидетельствуют следы на плотине (рис. 2). При уменьшении расхода се-

ля, поступавшего в селехранилище, уровень уменьшался, расход грязевой составляющей в нижнем бьефе (в створе плотины) также уменьшался. В момент максимального заполнения селехранилища расход грязевой составляющей в несколько раз превышал проектную величину.



Рис. 2. Следы максимального заполнения селехранилища грязевой массой в бассейне р. Каргалинка.

В «Инструкции по технической эксплуатации противоселевого сооружения на р. Каргалинка» постулируется, что подпор воды перед решеткой водозаборника не будет превышать 2,5...3 м (на плотине два водозаборника). При таком подпоре расход воды в нижнем бьефе не должен был превышать $10 \text{ м}^3/\text{с}$. На уклонах, типичных для конуса выноса р. Каргалинка (0,025...0,065), указанный расход воды не способен трансформироваться в грязекаменный сель, поскольку не обеспечивается условие равенства скорости воды и всех крупностей частиц горных пород, принимающих участие в селеобразовании [1]. Несоблюдение этого требования приводит к формированию отмостки и уменьшению расхода наносов до бытового значения.

В силу условий формирования и движения селя 23.07.2015 г. селехранилище заполнилось преимущественно грязевой составляющей и ее подпор перед решеткой водозаборника достигал 12 м. Следовательно, скорость движения грязевой составляющей в «водопроводящем тракте» определялась преимущественно давлением, обусловленным горизонтом забора грязевой массы в секцию шахты. Поскольку вязкость и пластичность грязевой составляющей селевой массы были относительно невелики, сопротивление ее движению по каналам в теле плотины определялось турбу-

лентным сопротивлением. Суммарный расход грязевого потока на выходе из водопроводящего тракта превышал 20...25 м³/с.

Поток воды с таким расходом привел бы к деформации существовавшего русла, однако существенного увеличения расхода (вследствие вовлечения в движение наносов) не произошло. По-иному развивался процесс в нижнем бьефе плотины, когда из нее изливалась грязевая масса с плотностью около 2000 кг/м³ и расходом 20...25 м³/с: при таком расходе и плотности грязевой поток способен не только в ходе эрозионного процесса углублять и расширять русло в селевых отложениях, но и вовлекать в селевой процесс и переносить во взвешенном состоянии крупные фракции пород, слагающих русло. Это, в свою очередь, за счет увеличения плотности селевой массы (до 2250...2300 кг/м³) создавало условия для самостоятельного движения частиц с размерами более одного метра. Наиболее крупная глыба, обнаруженная среди глыб, остановившихся на пойменном участке р. Каргалинка, имела размеры 2500×1500×500 мм. В ходе углубления русла и разрушения габионов в селеформирование вовлекалось и их содержимое (рис. 3).



Рис. 3. Остатки габиона после прохождения «вторичного» селя на р. Каргалинка.

Относительно большой объем и расход грязекаменной массы, образовавшейся в нижнем бьефе плотины, наличие поймы в верхней части конуса выноса и извилистость русла, его малая пропускная способность и наличие объектов, препятствовавших продвижению селевой массы (мосты общего пользования, мостики частных владельцев и даже глухие заборы, нижняя часть которых возвышалась над уровнем бытовых вод реки (среднегодовой

расход $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$), приводило к заторам, следствием которых являлась остановка крупных фракций, растекание жидкой составляющей селя по улицам города, ее накопление в квартирах первых этажей, во дворах и подвалах, садах и огородах. Глубина грязевых потоков на городских улицах могла достигать полуметра. Средняя мощность отложений во дворах – $20 \dots 30 \text{ см}$.

Все это привело к тому, что уже в средней части конуса выноса р. Каргалинка грязевая составляющая селя помещалась в русле реки и дальнейший ущерб был в основном обусловлен неадекватностью средств защиты русла от воздействия потока с расходом $5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{с}$ и плотностью грязевой массы, близкой к $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Анализ условий формирования и движения селя 23.07.2015 г., процесса заполнения селехранилища и вторичного формирования грязекаменного потока на конусе выноса р. Каргалинка показал ущербность использования «осредненных» (даже для одного горного хребта) данных о минералогическом и гранулометрическом составах селеформирующих пород при оценке характеристик селей и расчете емкости селехранилища, прогноза процессов в нижнем бьефе плотины, обусловленных пропуском через плотину грязевой составляющей селевой массы и водных паводков. Столь же важными являются объем и расход селеформирующих паводков, морфометрия пути движения, их изменение во времени и пространстве.

На протяжении почти 50 лет после прохождения дождевого селя 1969 г. р. Каргалинка формировала русло. В этом процессе принимали участие и жители населенных пунктов Каргалы и Каменка (в 2015 г. они вошли в состав г. Алматы), жилые и подсобные строения которых располагались в водоохраной зоне. В последние годы, по инициативе местных органов власти, русло укреплялось габионами. Все это привело к тому, что на некоторых участках русла его пропускная способность могла оказаться ниже $10 \text{ м}^3/\text{с}$.

Человеческий фактор сказался и на величине расхода воды и грязевого потока в нижнем бьефе плотины. В разделе «Технические решения объекта» «Инструкции» указано, что «... конструкции водовыпусков представляют собой железобетонные двухсекционные башни высотой 17,7 м. На всю высоту башни запроектировано водоприемное устройство размером $17,7 \times 1,2 \text{ м}$, перекрытое решетками из полосовой стали сечением $160 \times 20 \text{ мм}$ ». В том же разделе сообщается, что плотина имеет два водовыпуска, расчетный расход каждого водоприемника $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Горизонты забора воды в секцию шахты первого водовыпуска – с отметки 1609,3 м до 1621,0 м, второго водовыпуска – с отметки 1622,0 м до 1627 м.

Согласно приведенным данным, один из водоприемников имеет высоту 11,7 м (при заполнении селехранилища до отметки 1633,3 м максимальный напор – 24 м), другой – 5 м (при заполнении селехранилища до отметки 1633,3 м максимальный напор – 11,3 м).

Плотина на р. Каргалинка должна обеспечивать безопасное задержание паводков и селей. В разделе «Режим работы гидроузла» «Инструкции» указывается, что «В случае прохождения расчетного паводка селехранилище заполняется водой до отметки, не превышающей нормальный горизонт (до отметки 1633,3 м) и затем в течение примерно суток происходит его опорожнение через водовыпуск неселеобразующими расходами; тем самым предотвращается формирование селевого потока ниже створа плотины. В нерасчетном, катастрофическом случае происходит перелив воды через водосброс, при этом обеспечивается неразрушимость плотины». Реальная плотина (см. рис. 2) снабжена двумя водовыпусками с горизонтами забора воды в секции шахты с отметками от 1609,3 м до 1631 м (максимальный напор – около 24 м).

В разделе «Организация службы эксплуатации. Противоселевые сооружения на р. Каргалинка и правила технической эксплуатации» «Инструкции» указывается, что «Отверстия водосброса позволяют автоматически сбрасывать в нижний бьеф меженные и паводковые расходы с любых отметок плотины с подпором перед ними не более 2,5...3 м». Что же мешает «автоматически сбрасывать» воду, если подпор будет превышать указанные выше значения?!

Из данных, приведенных в «Инструкции» и характеристик реальной плотины следует, что при превышении значения подпора 2,5...3 м расход воды, поступающей в нижний бьеф плотины будет увеличиваться до значений, определяемых величиной подпора, т.е. может значительно превышать «критическое значение». Это подтверждается селом 23.07.2015 г.

Согласно разделу «Техническое решение объекта» «Инструкции» емкость селехранилища 1,2 млн м³. Судя по всему, это значение получено для расчетного значения уравнильного уклона поверхности отложения селя в селехранилище на момент перелива селя через селесброс (отметка 1633,3 м). Исследования, выполненные в РГП «Казгидромет», показали, что уравнильный уклон зависит от плотности и предельного напряжения сдвига селевой массы, мощности отложений. При задержании воды емкость селехранилища на р. Каргалинка не превысит 0,5 млн м³. Если, в бу-

дущем, свойства селевой массы будут близки к таковым селя 2015 г., емкость селехранилища также будет не 1,2 млн м³, а близка к 0,5 млн м³.

Важная роль в оптимизации функционирования плотины селехранилища принадлежит водовыпускам. Их пропускная способность должна обеспечивать пропуск воды в естественном гидрологическом режиме. Как правило, водовыпуски работают в безнапорном режиме. При паводке уровень воды в селехранилище повышается. Это приводит к тому, что водовыпуск работает в напорном режиме, что может вызвать аварийную ситуацию в нижнем бьефе плотины. Следовательно, водовыпуск должен иметь устройство, обеспечивающее безаварийный пропуск воды (жидкой составляющей селя).

Пропуск жидкой составляющей селевой массы в нижний бьеф плотины, в ходе заполнения селехранилища, эквивалентен увеличению его емкости. Однако увеличение расхода воды (жидкой составляющей селя) через водовыпуск влечет за собой увеличение затрат, необходимых для безаварийного пропуска паводковых вод (части селевой массы) в нижнем бьефе плотины. Следовательно, при оценке пропускной способности водовыпуска необходимо учитывать максимальные значения расхода и объема паводковых вод, объем и расход селевой массы, ее плотность, вязкость, гранулометрический состав, объем селехранилища, а также стоимость изменения его объема (при заполнении на уровне селесброса) и сооружения канала в нижнем бьефе при различной его пропускной способности.

Пропуск воды (селевой массы) по территории Наурызбайского района г. Алматы связан со значительными трудностями. Это обусловлено большим уклоном русла реки, его извилистостью, застройкой водоохранной зоны капитальными (частными) сооружениями.

В обустройстве русла реки в межселевой период принимали участие жители различного достатка. Это позволяет (в определенной мере) оценить степень надежности различных методов укрепления берегов русла в экстремальных ситуациях. Из опыта прохождения селя по территории Наурызбайского района г. Алматы следует, что наиболее устойчивыми к разрушению являются железобетонные конструкции (рис. 4). Судя по всему, устойчиво и глыбово-бетонное сооружение (рис. 5)

Габийонные сооружения разрушаются под действием центробежной силы на криволинейных участках русла (рис. 6), порового давления при недостаточной гидроизоляции грунта, сопрягающегося с габийонами (рис. 7), углублении русла (рис. 8), движении селя по поверхности габийонов (рис. 9).



Рис. 4. Левый (орографически) борт канала – железобетонная конструкция.



Рис. 5. Глыбово-бетонное сооружение.



Рис. 6. Разрушение габрионов под действием центробежной силы.



Рис. 7. Разрушение габриона в результате оползания грунта.



Рис. 8. Разрушение габионов при углублении русла.



Рис. 9. Разрушение габионов в результате движения селя по их поверхности.

В настоящее время берегоукрепление на р. Киши Алматы (г. Алматы) осуществляют с помощью габионов (рис. 10). При прохождении селя, подобного селю 1999 г. (а тем более селя 1956 г.), габионы будут разрушены, а их содержимое увеличит расход и объем селя.

Габионы «украшают» или будут «украшать» русла рек Киши и Улкен Алматы, а также их притоков: Кимасар, Бедельбай, Батарейка, Бутаковка, Есентай и др.



Рис. 10. Габионы на р. Киши Алматы.

Выводы

1. Геолого-геоморфологическое строение бассейна р. Каргалинка таково, что селевая масса селей обладает плотностью и пластичностью, при которых скорость движения грязевой составляющей селей больше скорости движения крупных фракций селеформирующих пород (средний размер 0,5...2 м и более). При заполнении селехранилища это приводит к тому, что при относительно небольшом расходе селевой

массы крупные фракции отлагаются, не достигая плотины. Вследствие этого водоприемные устройства не перекрываются упомянутыми фракциями и при расходе селей, превышающих пропускную способность водовыпусков в безнапорном режиме, уровень отложений увеличивается. Водовыпуски работают в напорном режиме, при этом расход воды (жидкой составляющей селя) в нижнем бьефе плотины может в несколько раз превышать критическое значение, как это имело место в 2015 г.

2. Плотина должна иметь автоматическое устройство, позволяющее обеспечить пропуск воды (грязевой составляющей селя) в нижний бьеф плотины с суммарным расходом $10 \text{ м}^3/\text{с}$. Снабжение плотины таким устройством считать задачей первостепенной важности.

3. Предложение об **укреплении дна русла габионами требует экспериментальной проверки**. Если это и целесообразно, то только при отсутствии в потоке камней, валунов и глыб, перемещающихся скольжением и сальтацией. В противном случае контейнер габиона будет разрушен за короткий промежуток времени.

Наличие в потоке даже песка приведет к разрушению слоя, препятствующего ржавлению стальной сетки в агрессивной среде, представленной водой и продуктами жизнедеятельности человека (так как канализационная система в домах, расположенных в водоохраной зоне, отсутствует). Габионные сооружения малоэффективны при наличии проявления центробежных сил, вызванных изменением направления движения потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б.С., Степанова Т.С. Механика селей. – М.: Гидрометеиздат, 1991. – 379 с.

Поступила 25.06.2016

В.Н. Минеев
Б.С. Степанов
Р.К. Яфязова

Геогр. ғылымд. докторы
Техн. ғылымд. докторы

2015 ЖЫЛДЫҢ ҚАРҒАЛЫ ӨЗЕНІНДЕ ӨТКЕН СЕЛДІҢ КЕЙБІР ИНЖЕНЕРЛІК САБАҚТАРЫ

Түйін сөздер: су ағыны, су тасқыны, сындағы сел массасы, бөгеті, су шығару, шығыны, жылдамдығы, қатты бөлігі сұйық бөлігі

Қарғалы өзен бассейніндегі сел қалыптастырушы жағдайларының жеткіліксіз зерттелуі бөгеттік төменгі бьефіндегі болжанбаған сел шығынына себеп болып үлкен экономикалық зардап

келтірген қайта қалыптасуына әкелді. Бұл селдің қатты құраушысының ірі фракцияларының және сұйық құраушыларының (су мен ұсақ фракциялары) жылдаледықтарының айырмашылықтары мен сел қорының, толықтыру кезіндегі қозғалтқыш пен ұстап тұру күштерінің ерекшеліктерімен және бөгеттің су шығару құралысымен түсіндіріледі.

Mineev V.N., DSc. Stepanov B.S., DSc. Yafyazova R.K.

SOME LESSONS OF ENGINEERING OF 2015 DEBRIS FLOW ON THE KARGALINKA RIVER

Keywords: water flow, flood, debris-flow mass, dam, culvert, discharge, velocity, solid component liquid component

Incomplete study of formation conditions of debris flows in the Kargalinka River basin 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. The off-design debris-flow discharge occurrence is explained by the difference of velocities between coarse grains of the solid component and the liquid component (water and fine particles) of debris-flow mass, features of moving and confining forces during filling a storage reservoir with debris-flow mass, as well as the design of culverts in the dam.