

И. В. ЕГИАЗАРОВ

СЕЛЕВЫЕ ПАВОДКИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ РАСЧЕТА
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Какие паводки являются селевыми?

Вопросы классификации селей уже не могут вызывать споров. Деление на структурные, связные, реологические потоки и на турбулентные, подчиненные законам Ньютона, уже не вызывает сомнений и принято всеми.

Катастрофические паводки явление редкое. Но и среди этих редких явлений паводки, вызывающие структурные потоки, еще более редки, т. к. могут возникать только в таких бассейнах, где велика глинистая составляющая твердого стока (грязевая мелкозернистая составляющая 20—30%; содержание коллоидных частиц 2—6% [1]; когда образующаяся подвижная масса содержит очень мало воды (12—15%), причем воды не свободной, как это обычно для поровой воды наносных русел, а воды, сдерживаемой молекулярными силами воды связной.

В таких паводках твердая составляющая ок. 85% по весу является активной, несущей, и благодаря своему большому объемному весу (γ_c больше 2,0 и $\rho' < 0,30$) способна нести во взвешенном состоянии крупные тяжелые каменные включения. Если твердая составляющая $\rho'' = 85\%$, то

$$\gamma_c = \gamma_g / \gamma_n (1 - \rho'') + \rho'' = 2,15 \text{ и } \rho' = \frac{\gamma_g - \gamma_c}{\gamma_c} = 0,25.$$

Такая масса, за исключением своей лобовой части (при распространении по суку), в своем ядре не имеет перемешивания и ведет себя реологически. Не растекается, не образует веерообразного конуса выноса, а распространяется языком, не распластываясь. С уменьшением уклона русла эта масса замедляет свое движение и останавливается, застывает как лавовый поток.

Такая селевая масса не размывает своего ложа, а образует глинистую смазку, градиентный слой, над которым движется основное ядро этого структурного потока.

Условия для создания мощных структурных потоков в природе очень редки и встречаются в СССР только на юго-восточном склоне Кавказского хребта (рр. Дуруджа, Кишчай и др.). Менее мощные такие потоки создаются более часто при образовании оплывин на очень больших уклонах (например притоки лога Кокчека, который является притоком Б. Алмаатинки; оплывины в вер-

ховьях В. Алмаатинки, выше озера). При выходе таких оплывин в основное русло со значительно меньшим уклоном, такая масса быстро застывает, но ее поверхностный слой может сноситься турбулентным потоком основного русла и покрывать его поверхность массой, относительно богатой глинистыми частицами, как это наблюдается в логе Кок-Чека.

Мощных структурных селевых потоков, таких как Дуруджа и Киш-чай не наблюдалось ни в одной из горных республик Кавказа, Ср. Азии, Крыма, Карпат; не наблюдается и в Грузии на юго-западных склонах Кавказского хребта.

2. Какие турбулентные паводки являются селевыми?

Если весовая концентрация твердых частиц составляет не 85%, а 60%, то $\gamma_c = 1,6$, т. е. взвешивающая способность, определяемая величиной $\rho' = 0,7$ хотя и значительно больше, чем для чистой воды ($\rho' = 1,7$), но значительно меньше, чем для структурного потока. Даже при содержании очень небольшого количества глинистых частиц, большая часть 40% содержания воды является свободной. Такой поток несмотря на 60% твердой составляющей растекается, его ширина определяется берегами русла, и конус выноса является веерообразным. Такой поток размывает свое русло, и переносит крупные каменные и песчаные включения скачкообразно, сальтацией, благодаря подъемной силе, вырывающей зерна из русла и лобовой силе, переносящей их; в соответствии с сальтацией частиц и турбулентной пульсацией скоростей потока, частицы находятся в непрерывном обмене с дном русла.

Такой поток даже при твердой составляющей в 60% по весу, является турбулентным, и подчиняется законам Ньютоновских жидкостей, а не законам реологическим, т. к. имеет большую свободную водную составляющую, и т. к. активной несущей средой является вода, а не твердая масса. Изложенное относится и к потоку, несущему широкую по крупности смесь наносов по руслу.

Для однородных по крупности наносов Бегнольд показал [2], что уже при $\rho'' = 0,25—0,30$ турбулентные пульсации исчезают, но зернистая среда остается диспергированной, т. к. касательные напряжения зернистой среды во много раз больше касательных напряжений жидкой среды; при $\rho'' = 0,57$ зернистая среда образовала затор и ее движение останавливалось. Для неоднородных наносов с мелкими фракциями это состояние достигается при значительно больших величинах ρ'' , при большом содержании и глины, и при $\rho'' = 0,85—0,90$, когда вода остается в молекулярно связанном состоянии.

Является ли такой турбулентный паводок селевым?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо определить условия, при которых может образоваться столь высокое содержание (концентрация) твердой компоненты, как 60%. А это зависит от избытка влекущей мощности потска и от условий, ее определяющих (см. § 3).

Наносы, несомые реками, делятся на русловые, такие, которые находятся при движении потока в непрерывном обмене с дном русла, причем как влекаемые в придонном слое и вырываемые сальтацией так и взвешиваемые турбулентной пульсацией, за исключением нерусловых наносов ($< 0,05$ мм), которые не находятся в обмене с руслом и создаются склоновым смывом, которые зависят не от русловых условий, а от площади бассейна, интенсивности ливня и наличия на склонах мелких фракций, и переносятся в русле транзитом.

Эти нерусловые наносы могут создавать с водой довольно густую суспензию, концентрация которой, складываясь с концентрацией взвешиваемых в русле мелких фракций, увеличивает удельный вес с наносонесущей жидкой массы — суспензии, уменьшает $\rho' = \frac{\gamma_g - \gamma_c}{\gamma_c}$, т. е. уменьшает вес перемещаемых потоком более крупных, сальтирующих частиц и облегчает их перемещение.

Взвешиваемые русловые наносы определяются зависимостью d Взвешиваемое $= \varphi(v_x/\sigma_\infty)$, где $v_x = \sqrt{gRI}$, а σ_∞ является гидравлической крупностью свободного падения и зависит от размера частиц и от коэффициента лобового сопротивления, который тем больше, чем мельче частицы. При $v_x/\sigma_\infty = 5-7$ практически получается полное взвешивание. Частичное взвешивание определяется кривой $d = \rho(v_x/\sigma_\infty)$ (3—4).

§ 3. Избыток влекающей мощности потока и образование самоотмостки русла

Как показано Егназаровым [5—8] модуль концентрации русловых наносов p''/\sqrt{I} как влекаемых в придонной зоне, так и взвешенных, за исключением нерусловых, транзитных наносов ($< 0,05$ мм), определяется избытком мощности потока N (т. е. энергией в единицу времени) над мощностью сопротивления русла N_0 , т. е. величиной

$$\frac{p''}{\sqrt{I}} = K \left[\frac{N}{N_0} - 1 \right]. \quad (1)$$

Следовательно, модель концентрации определяется обобщенным критерием подвижности наносов

$$\frac{N}{N_0} = \frac{\tau(p)}{\tau_\infty} \frac{R'I}{f_0 \rho' d_{50}}, \quad (2)$$

где K — универсальный безразмерный коэффициент $= 0,15$ (может рассматриваться как коэффициент полезного действия); $\tau(p)/\tau_\infty$ — отношение скорости естественного падения частиц к скорости свободного падения, которое для частиц крупностью больше 5 мм практически равно единице; R' доля гидравлического радиуса потока, участвующая в транспорте наносов (при безгрядовом русле $R' = R$, т. е. пол- Известия, XXI, 4—6

ному гидравлическому радиусу русла; это случай горных и селевых потоков); I — уклон практически равномерного потока, ρ' — было определено выше; d_{50} — медианная крупность смеси наносов, находящихся в движении при заданном расходе воды Q_l ; f_0 — коэффициент сопротивления размываемого русла; для однородных по крупности наносов больших 5 мм:

$$f_0 = \frac{\tau_0}{(\gamma_g - \gamma) d} = 0,06 = \text{constant.} \quad (3)$$

где τ_0 — касательное напряжение потока в условиях трогания (параметр Шильдса), а для реального случая неоднородных наносов

$$f_0 = \frac{0,06 \Phi / C_x}{\left(\lg 19 \frac{d_i}{x} \right)^2} \quad (4)$$

(параметр Егiazарова), где комплекс $0,06 \Phi / C_x$ для сферических зерен равен 0,1 [3, 4], т. к. $\Phi = 2/3$, а $C_x = 0,4$, и где d_i — крупность любой фракции в смеси наносов, а d та крупность, которая определяет шероховатость русла, т. е. средне-взвешенная крупность гранулометрического состава с учетом как наносов в движении, так и остающихся неподвижными; для всей смеси наносов отношение $d_i/d = d_{50}/d$ если самоотмостка русла не нарушена (см. ниже), и $d_i/d = d_0/d$ если самоотмостка русла нарушена [3, 4], где

$$d_0 = \frac{Rl}{f_0'}. \quad (5)$$

В критерий подвижности (2) входит относительный удельный вес частиц под водой ρ' , определение которого требует оценки как взвешенных нерусловых наносов, так и взвешиваемых русловых, согласно изложенному в конце § 2.

4. Образование и разрушение отмостки русла

Если русло на рассматриваемом протяжении при неизменном уклоне находится в равновесном состоянии и поток при постоянном расходе воды несет сверху столько же наносов, сколько он может транспортировать на рассматриваемом участке согласно ур. (1), то не будет ни размыва, ни намыва наносов, но в результате сальтации частиц будет происходить равновесный обмен частицами между руслом и потоком; мелкие частицы, которые поддаются взвешиванию турбулентными пульсациями, будут вымываться. Транспортирующая способность потока влекомых и взвешенных наносов, за исключением нерусловых, будет определяться ур. (1).

Но в реальном паводке нет постоянства расхода, а имеется гидрограф паводка, с нарастанием и спадом. Для ливневого паводка, или для паводка, созданного прорывом морен, этот подъем и спад происхо-

дит в течение очень короткого времени, иногда в течение 1—2 часов, и может достичь катастрофических пиковых величин.

Согласно ур. (5) с увеличением R будут возрастать те крупности зерен, которые будут на границе движения (трогание) и все более крупные частицы будут вымываться, а еще более крупные оставаться неподвижными; получится укрупнение поверхностного слоя русла, т. е. образование самоотмостки русла. Именно d_{50} самоотмостки русла определяет транспорт наносов по ур. (1) и (2). Следовательно, с одной стороны вследствие роста R будет увеличиваться транспорт наносов, с другой стороны в результате увеличения d_{50} отмостки этот рост будет ослабляться.

Когда R на подъеме гидрографа настолько велико, что фракции отмостки составляют меньше 10% по гранулометрической кривой, т. е. при $d_0 = d_{90}$ начинается смыв, разрушение отмостки и переход к селевому состоянию потока; а при $d_0 = d_{\max}$ к полному отсутствию затенения, все фракции русла находятся в движении; отмостка разрушена и отношение d_i/d в ур. (4) будет определяться величиной d_0/d .

Происходит резкое уменьшение сопротивления и резкое увеличение концентрации наносов, которое и является переходом к селевому, лавинному, состоянию движения наносов. В ур. (4) величина под логарифмом может уменьшиться во много раз, а квадрат логарифма может уменьшиться в несколько раз.

Для горных и селевых потоков f_0 обычно около 0.02, тогда как для однородных по крупности наносов, т. е. при $d_i = d$, $f_0 = 0,06$; т. е. для селевых потоков, f_0 может быть в три раза меньше и настолько же больше будет критерий подвижности.

Если при этом учесть влияние растущей мутности (суспензии), т. е. уменьшения ρ' , то станет ясным, что переход к селевому потоку является не только количественным, но и качественным.

В зависимости от величин d , d_{50} , d_{\max} , образовавшихся в русле перед новым паводком, будет изменяться то d_0 , которое отвечает переходу от неселевого к селевому паводку и то ρ'' , а следовательно и γ_c , которое при этом образуется. Если предыдущая отмостка была слабая, то переход к селевому турбулентному потоку может произойти при значительно меньшем содержании твердой компоненты, чем 60%, и при значительно меньшем γ_c , чем 1,6. Поэтому нельзя величиной этого процента ρ'' и величиной объемного веса γ_c смеси определять переход от неселевого к селевому потоку; этот переход необходимо сделать по расчету, отвечающему условиям данного русла, его уклону и состоянию самоотмостки (как это сделано в [3 и 4] для рр. Каранкуль и Тине).

Все изложенное вносит ясность в теоретически обоснованную классификацию турбулентных паводков с делением их на селевые и неселевые.

Приведенные выше теория и уравнения охватывают как селевые,

так и неселевые потоки; для горных рек исходим из $\sigma(p)/\sigma_{\infty} = 1$ и из $R' = R$.

Для потоков, не отвечающих этим условиям, необходимо введение влияния скорости стесненного падения зерна и влияние грядообразования, что было выполнено автором [3, 4] для р. Монеикрик и для ирриг. каналов США с переходом к рекам и каналам, несущим мелкие наносы (мельче 1 мм).

Основы изложенной теории опубликованы в [3—10], апробированы 11 и 12 конгрессами МАГИ, в заключении проф. Богарди—Венгрия [11], и в решении специального Комитета Общества ASCE [12].

5. Возможность грядообразования и влияние деградации русла

Сильная деградация русла происходит при поступлении на рассматриваемый участок несколько осветленной или полностью осветленной воды.

Например, верхний участок русла имеет меньший уклон, а нижний участок значительно больший уклон. Тогда верхний участок по ур. (1) и (2) в состоянии транспортировать значительно меньший расход наносов, чем нижний участок.

Следовательно поток с наносами, поступающий на нижний участок, будет иметь концентрацию меньшую, чем поток способен нести на втором участке. Начнется резкий размыв русла и усиленная его деградация.

Еще более резко произойдет такая деградация, если рассматривается русло реки ниже водохранилища.

Как показали опыты Кнороза [13], Магомедовой [14], Комура и Симонса [15] и др., при такой деградации и даже при относительно мелких наносах, происходит грядообразование, но оно быстро затухает, гряды срабатываются и образуется безгрядовое русло. Такое положение характерно и для селевых потоков, которые при росте расхода наносов скачком, в результате срыва отмытки, приводят к резкому увеличению расхода наносов и к деградации русла. Это обстоятельство упрощает селевые расчеты, также как дает возможность при расчете расхода и концентрации наносов исходить не из энергетической концепции $(N - N_0)$, а из силовой концепции $(\tau - \tau_0)$, т. е. считать $\sigma(p)/\sigma_{\infty} = 1$ и $R' = R$, что нельзя сделать при мелких фракциях и при отсутствии деградации

Переход к мелким фракциям и к энергетической концепции был опубликован автором в 1956 г. [5], в 1960 г. был принят акад. Бегнольдом [16], а теперь, после 11 и 12 Конгрессов МАГИ (1965 и 1967 гг.), является общепринятым.

6. Влияние гранулометрии русла

Из вышензложенного вытекает большое влияние гранулометрии русла, т. к. проведение расчетов для неселевого турбулентного потока

требует наличия интегральной гранулометрической кривой для рассматриваемого русла при разных расходах паводка, и вместе с тем и гранулометрической кривой для полных отложений русла; для селевого потока требуется только гранулометрическая кривая полных отложений русла.

Анализ большого числа кривых для разных рек (Крошкин [17], Егизаров [18]) показал, что для их сравнения и типизации необходимо эти интегральные кривые выражать в относительных единицах d_i/d , а не в абсолютных d_i , где, как показал Крошкин, d —средне взвешенное является основной репрезентативной величиной.

Изложенное выше показывает, что основными соотношениями гранулометрических данных являются отношения d_{\max}/d и d_{50}/d , для определения f_0 , величина d_{50} принимается для наносов в движении (абсолютное), для рассматриваемых расходов воды.

Произведенная в первом приближении типизация (для большого числа рек) для наносов в отложениях показала, что можно приближенно принимать $d_{\max}/d \cong 10$. Менее определенным является отношение d_{50}/d , которое в сильной степени зависит от наличия мелких фракций и может колебаться в широких пределах от 0,1 до 0,75, т. к. при малых Q_i , d_0 может быть мало, а d , зависящее как от наносов в движении при заданном Q_i , так и от наносов, остающихся неподвижными, будет, значительно больше, чем d , отвечающее гранулометрической кривой для R .

Этим соотношением d_{50}/d выявляется для неселевых потоков резкое влияние затеняющего действия крупных наносов на мелкие (sheltering effect), т. к. чем меньше d_{50}/d , тем больше f_0 .

Определение абсолютной величины d_{50} для расчета критерия подвижности, может быть, для данного расхода Q и следовательно данного R, I , произведено по гранулометрической кривой полных отложений, если принять $d_0 = \frac{R, I}{f_0'} = d_{100}$, и выделить эту часть из общей кривой отложений.

Таким же образом, для селевых потоков, если можно оценить d_0 по $(RI)_{\max}$ и определить d средне-взвешенное для отложений по натурным гранулометрическим кривым, то f_0 определяется по отношению d_0/d , а d_{50} , определяется по кривой для наносов в движении; для селевых потоков это единая кривая всех отложений русла и расчет можно довести до конца без построения кривой для наносов в движении.

Для неселевых потоков такой расчет осложняется необходимостью определения d_{50} , отвечающему расходу Q_i и необходимостью определения d как по наносам в движении, так и по неподвижным.

7. Критерии подобия и моделирование турбулентных селевых и неселевых горных потоков

Уравнение автора (1) для концентрации n , следовательно, для расхода наносов является критериальным и приведет к зависимости между двумя критериями, критерием концентрации или модулем концентрации

p''/\sqrt{l} и обобщенным критерием подвижности N/N_0 , который для крупных фракций превращается практически в

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{RI}{f_0 \rho' d_{50}} \quad (6)$$

Следовательно, для подобия модели и природы должно быть

$$\frac{RI}{f_0 \rho' d_{50}} = \text{idem}, \quad (7)$$

а расход воды Q радиус R , d_{50} моделируются геометрически по Фроуду.

В состав критерия подвижности входят четыре безразмерных соотношения: l , R/d , $f_0 = \varphi(d_0/d)$ и ρ' .

Для подобия модели и природы или все эти безразмерные соотношения должны быть удовлетворены в отдельности, или при искаженном моделировании должен быть удовлетворен критерий подвижности в целом.

Но искажение масштабов моделирования не может быть произвольным.

В случае искажения уклона на модели, искажается RI и следовательно d_0 , а соотношение d_0/d и f_0 должно отвечать натуре, и d_{50} должно быть в том же масштабе, что d_0 .

Поэтому можно искажать только отдельные составляющие полного критерия с сохранением его величины. d_{50} должно определяться крупностью, обеспечивающей автомодельность обтекания зерна, чтобы можно было на модели не учитывать влияния $\tau(p)/\rho_\infty$. Поэтому даже для натуральных селевых потоков с $d_{50н} = 50$ мм геометрический масштаб модели $d_n = \frac{h_n}{h_n}$ не должен быть больше 25 и $d_{50м}$ должно быть > 2 мм.

Если этого обеспечить нельзя, то для сохранения произведения $\rho' d_{50} = \text{idem}$ (8) необходимо перейти на модели к более легким наносам, и тогда, задаваясь возможной величиной, ρ' необходимо определить d_{50} из условия (8). Но этот масштаб должен быть сохранен для всей гранулометрической кривой; тогда не будет нарушено f_0 и $d_0/d = \text{idem}$. При этом, так как сохраняется $\rho' = \text{idem}$, то несмотря на то, что γ_c и ρ' изменяются, в результате сохранения $\rho' d_{50} = \text{idem}$ подобие критерия подвижности будет обеспечено.

Если форма зерен природы не сферическая, то такой же формы должны быть зерна модели для того, чтобы в ур. (4):

$$\Phi_m = \Phi_n \text{ и } C_{xм} = C_{xn}.$$

Гранулометрические кривые гидравлических крупностей должны быть подобны, что обеспечивает подобие и $\Phi_n C_x$.

8. Характеристика современного состояния научных исследований по турбулентным селевым потокам

На селевой конференции 1962 г. в г. Баку было констатировано [20] недостаточное развитие теории селевого потока, даже полуэмпирической, и наличие только знания отдельных эмпирических соотношений между селевыми параметрами.

Поэтому для конференции, созываемой в 1968 году в Ереване, была составлена программа подлежащих освещению вопросов по теории селевого потока, доведенной до расчета, по сопоставлению с измерениями в натуре, по натурному определению селевых параметров и по сопоставлению гранулометрических кривых русловых отложений для ряда рек и районов.

Получены данные и зависимости для определения средневзвешенного размера неоднородной смеси наносов в зависимости от уклона потока и от селевого руслоформирующего расхода, который грубо определяется как $Q - 10\%$ обеспеченности, и который определяется изложенным в разделе 6 статьи условием $d_0 \cong d_{\max}$, когда все крупности русла в движении.

Получены данные о мутности турбулентных селевых потоков, о концентрации той суспензии, которая является несущей для турбулентного селевого потока. И эта концентрация оказалась доходящей до 500—600 граммов на литр. Получены данные для суждения об изменении этой мутности с расходом гидрографа селевого паводка.

Получили подтверждение зависимости (4) и (5).

Представляет большой интерес полученная для больших шероховатостей горных русел зависимость постоянной Кармана от этой шероховатости с ее увеличением вплоть до 1,4, тогда как влияние концентрации наносов сказывается на уменьшении этой постоянной до 0,2.

Приводятся данные по расчету ливневого и селевого гидрографа.

Интересны данные по расчету связных грунтов, образующих отдельности агрегата, размер которых довольно постоянен и сделаны предложения по расчету склонового смыва.

Выявлено совершенно недостаточное развитие лабораторных исследований по турбулентным селевым потокам, и недостаточность соответственно оснащенных лабораторий. Отчасти это объясняется ошибочным представлением о невозможности обобщения модельных русловых исследований на селевые потоки. Как показано в разделе 7 это представление неверно, и имеется возможность моделирования, в свое время использованная для проверки последствий селевого паводка 1946 года на р. Гедар (Арм. ССР).

Получены селевые параметры рек Крыма, Карпат, рек Армянской и Азербайджанской ССР, Прибайкалья, бассейна р. Варзоб, рек Закавказья. Уточнены ливневые параметры Армянской и Азербайджанской ССР, коэффициенты стока рек Прибайкалья, в зависимости от сезонной мерзлоты, региональные формулы для ливневых расходов, селевые скорости в зависимости от уклонов и максимальных крупностей

трогания. Получены некоторые количественные данные о выветривании горных пород и об объеме образований рыхлообломочных очагов.

Рассмотрены вопросы инфильтрации и склонового эрозионного смыва на базе специально поставленных опытов и составлены карты склонового смыва и коэффициентов ливневого стока. Составлена методика геоморфологического анализа на базе натуральных данных подробно обследованного бассейна горной реки (Арм. ССР) по специально организованным створам и составленным картам.

Полученный для конференции материал показал, что до сих пор не произведен систематический, многосторонний анализ селебросных и селезащитных сооружений, основанный на их расчете и на анализе — данных эксплуатации, несмотря на решения Тбилисской Селевой конференции 1961 года; а также совершенно недостаточно то, что до сих пор сделано по прогнозу ливневных и селевых паводков. В докладах конференции отражена разработанная в 1960—1967 гг. теория наносонесущего потока в русле неоднородной крупности и влияние образования и разрушения естественной самоотмостки русла.

Представленные для Ереванской конференции индивидуальные доклады обобщены в трех генеральных докладах, и разумеется, необходимо, чтобы эти генеральные доклады были также изданы заблаговременно и послужили базой и направлением для обсуждения на конференции вопросов, связанных с турбулентными селевыми и неселевыми потоками.

АН Армянской ССР

Поступила 8.II.1968.

Summary of paper:

„TORRENTIAL SEDIMENT FLOWS AND THE POSSIBILITY OF THEIR CALCULATION AND LABORATORY RESEARCH ON MODELS“

by I. EGIAZAROFF

In the first two articles of the paper the following theoretically grounded classification of torrential sediment flow* is given:

1. Structural (reological) torrential sediment flow or mud flow.
2. Turbulent non torrential sediment flow, when the self-pavement (armouring) of the river channel is not destroyed.
3. Turbulent torrential sediment flow when the channel self-pavement is destroyed and channel degradation follows.

In § 3 the forming of nonuniform sediment channel bed selfpavement (armouring) is analyzed, on the base of mobility criterion (2) generalized by the author, and using the theoretically determined coefficient

* Torrential sediment flow is called in USSR; sel, selav (a word of arabish origin).

of resistance of the movable bed f_0 (4); In § 4 and 5 conditions of the forming and the destruction of bed armouring is investigated. The possibility for channels with great slope and coarse sediments to neglect the influence of the hindered settling of grains and to neglect the forming of granular bed configurations, such as dunes. The degradation of the channel at torrential flows has as consequence the disappearance of dunes.

In § 6 the importance of granulometric size composition studies (sediment grading) is emphasized, as d_{50} is entering the mobility criterion (2) and relations d_{50}/d and d_0/d , are entering in equation (4) for f_0 (d — is the bed roughness size).

The influence of the immobile sediment particles at a given discharge Q_i , as well as the mobile ones, is also emphasized.

The importance of the grain form factor Φ and its influence on the drag coefficient C_x in eq (4) is mentioned.

Criterial eq (1) and eq (2) allow the determination of similarity conditions for laboratory model experiments (§ 7), and the use of models for non torrential as well as for torrential sediment flow investigations, for the protection of structures against torrential sediment floods and their damage.

The possibility of scale exaggeration as to weight and size of model grains is brought to light.

In § 8 a general characteristic of the state of torrential sediment flow investigations is given based on reports presented for the Erevan (Armenian SSR) torrential flow conference of 1968.

A bibliography of 20 names is given.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гагошидзе М. С. Способы защиты от селевых потоков. Труды ГрузНИИГиМа, вып. 23, 1965.
2. R. Bagnold. Some flume experiments on large grains. Proceedings Institution Civil Engineers, London, 1955 April.
3. Егиазаров И. Влияние широкой смеси наносов и самоотмостки русла на движение и расход наносов. Известия АН Арм. ССР, серия техническая, Сообщение 1, 1964, № 2, стр. 39, рис. 4; сообщение 2, 1964, № 3.
4. I. Eguiasaroff. Calculation of nonuniform sediment concentrations. Proc. ASCE Hy 4, 1965, p. 237 and frg. 3. Closure Hy 4, 1967. Hydraulic resistance of a movable channel bed and sediment grading influence. Proc. IAHR 12 th Congress 1967 Report A 9.
5. Егиазаров И. Транспортирующая способность открытых потоков. Известия ОН АН СССР, 1956, № 2.
6. Егиазаров И. К решению задачи о транспорте наносов с учетом концентрации в слое придонной мутности. Известия ОН АН СССР, 1959, № 5.
7. I. Eguiasaroff. L'equation générale du transport des alluvions. Proc. 7-th Congress IAHR. 1957, Rapport D 43.
8. I. Eguiasaroff. Calcul du débit solide et influence de la couche de grand concentration du fond. 1959, № 3, Houille Blanche.

9. I. Eguiasaroff. Stable channels and a generalized criterion of sediment mobility. 1966. Poona Symposium.
10. I. Eguiasaroff. Discussion on Acxers paper № 3959. Proc. ASCE Hy 5, 1965.
11. I. Bogardi. European concepts of sediment transportation. Proc. ASCE Hy 1, 1965 and closure, Hy 6, 1967.
12. Task Committee on preparation of sedimentation. Manual. Initiation of sedimentation. Proc. ASCE, Hy 5, 1968.
13. Кнороз В. С. Естественная отмостка размываемых русел. Труды Тбилисского совещания по водозаборам. 1961, т. 1, стр. 337.
14. Магомедова А. В. Исследование общего размыва русел сложенных неоднородными несвязными грунтами. Кандидатская диссертация, 1967 г. ТНИСГЭИ и ГрузНИИГиМ.
15. S. Komura and D. Simons. Rivet-bed degradation below dams. Proc. ASCE Hy 4, 1967.
16. R. Bagnold. Sediment transport and stream power. Circular 421 U. S. Geological Survey, 1960.
17. Крошкин А. Н. О фракционном составе русловых отложений горных рек. Труды Киргизского института Водного хозяйства. 1967.
18. Егназаров И. В. Значение гранулометрических кривых для русловых расчетов и их эмпирическое построение. Доклад для Ереванской селевой конференции, 1968 г.
19. Егназаров И. В. Моделирование горных русловых и турбулентных селевых потоков. Доклад см. № 18. Моделирование русловых процессов. Сборник АН СССР, 1958.
20. Егназаров И. В. Критический обзор опубликованных материалов V селевой конференции в Баку (1962 г.). Селевая комиссия АН Арм. ССР, 1966. Изд-во «Айастан».