

*Е.М. Коринец (Скоморохова), Н.Б. Барышников*

### ДОННЫЕ НАНОСЫ

*E.M. Korinets, N.B. Baryshnikov*

### STREAM LOAD

*Выполнен анализ методов измерений и расчетов расходов донных наносов. Установлено, что при использовании различных формул, погрешности расчетов значительно превышают допустимые пределы. Основными причинами этих погрешностей является эффект пространственности, возникающий при использовании данных лабораторных экспериментов выполненных в узких лотках, а также неучет эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков. На основе данных экспериментальных исследований получены зависимости расходов донных наносов от угла между взаимодействующими потоками и глубинами в русле. Эти зависимости могут быть использованы для коррекции расчетных формул.*

*Ключевые слова: донные наносы, транспортирующая способность, река, пойма, русловые процессы, эффект взаимодействия.*

*An analysis of stream load measurement technique has been made. As is known the usage of different formulas of quantification of deposit transportation causes a lot of errors due to neglect of spatial effect occurred in narrow trays and effect of interaction between river bed and flood plain. The relations between deposits transportation and interaction axis angle between the streams are found, which are required for correction of the formulas.*

*Key words: stream load, deposit transportation, river, flood plain, stream, interaction effect.*

Речные наносы формируются за счет распада грунта в бассейнах рек. Они поступают в реки с помощью водного или эолового факторов. Наибольшее их количество, как правило, поступает в периоды половодий и паводков из оврагов, притоков и за счет склонового стока. Измерения расходов наносов постоянно выполнялись на сети Гидрометслужбы. При этом по методике отбора проб наносы подразделялись на взвешенные и донные, хотя четкая граница их деления на эти составляющие отсутствовала. Наибольшую сложность представляли измерения расходов донных наносов. Из-за несовершенства методики их измерений, приводящей к большим погрешностям, превышающим допустимые пределы, в середине шестидесятых годов прошлого столетия было принято решение о прекращении их измерений на сети Гидрометслужбы.

Большая потребность в сведениях о расходах и стоке донных наносов, в частности, при проектировании различных гидротехнических сооружений и проведении различных водохозяйственных мероприятий привела к интенсивной разработке различных расчетных методик. При этом они, как правило, были основаны на ограниченном объеме экспериментальных данных, полученных в узких гидравлических лотках, где большое воздействие на донные скорости потоков, а, следовательно, и на расходы

донных наносов, оказывал «эффект пространственности» [3, 5]. Большое количество полученных формул (свыше трехсот) для расчетов расходов донных наносов привело к необходимости оценки их эффективности и надежности. Такие исследования выполнялись неоднократно различными учеными [3, 5], но в довольно узком диапазоне изменения определяющих параметров, и только в начале текущего столетия коллектив сотрудников ГГИ под руководством З.Д. Копалиани [4, 5] выполнил комплексную оценку большого количества наиболее распространенных формул. При этом все формулы и методы расчетов расходов донных наносов по форме их перемещения были подразделены на две основные группы — к первой отнесены расчетные формулы при структурной, т.е. донногрядовой форме их перемещения, ко второй — при безгрядовой, т.е. в виде качения, влечения или сальтации. Уместно отметить, что в обозначении форм перемещения наносов отсутствует однозначность. Так Н.Б. Барышников [1, 2] к влекомым наносам относит те, которые перемещаются в придонном слое в безгрядовой форме, а к донным — в донногрядовой. В ГГИ [4] все наносы, перемещающиеся в придонном слое называют влекомыми.

Используя натурные данные измерений на р.Полометь и на реках Северного Кавказа, а также данные, полученные по измерениям в широких потоках (отношение ширины к глубине  $> 10$ ) исследователи [4, 5] пришли к выводу, что при грядовой форме перемещения наносов вполне удовлетворительные результаты расчетов могут быть получены по формуле Сниценко–Копалиани вида:

$$G_d = 0,011\Delta\gamma VFr^3,$$

где  $G_d$  — расход донных наносов;  $V$  — средняя скорость;  $Fr$  — число Фруда.

Недостатком этой формулы является включение в нее высоты гряды  $\Delta\gamma$ , так же определяемой по эмпирическим формулам вида:

$$\Delta\gamma = 0,25h, \quad \text{при } h \leq 1 \text{ м}$$

и

$$\Delta\gamma = 0,2 + 0,1 h, \quad \text{при } h > 1 \text{ м.}$$

Анализ методов и формул для расчетов расходов влекомых наносов, т.е. перемещающихся в безгрядовой форме, выполненный З.Д. Копалиани и А.А. Костюченко [4, 5], привел их к выводу о том, что практически все исследованные расчетные формулы и методы либо недостаточно надежны, либо применимы в ограниченном диапазоне изменения гидравлических характеристик русловых потоков и морфометрических параметров русел. В то же время, они рекомендовали для расчетов несколько формул, таких как формулы К.В. Гришанина, Г.И. Шамова, В.Н. Гончарова и других авторов.

Выполнив анализ большого количества формул, они пришли к выводу, что основными причинами такого положения являются: отсутствие рекомендаций о том, что рассчитывается по формулам, расход наносов или транспортирующая способность потока; неучет эффекта пространственности, из-за которого происходит трансформация

эпюры скоростей, что приводит в свою очередь к резкому изменению соотношения между донной и средней скоростями. По нашему мнению, дополнительным фактором, неучтенным в этом перечне является эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Действительно, реки РФ в основном равнинные и паводки и половодья, особенно катастрофические, как правило, проходят при затопленных поймах. Как показали наши исследования [1, 3], основанные на экспериментальных данных, за счет этого эффекта транспортирующая способность руслового потока под воздействием пойменного, в зависимости от особенностей морфологического строения участка, расположенного ниже расчетного створа, может либо увеличиваться в десятки и более раз, либо наоборот, значительно уменьшаться в стационарных условиях.

При пропуске этих паводков и половодий, когда в русла рек поступает очень большое количество донных наносов, система русловой поток — русло перестраивается таким образом, что транспортирующая способность руслового потока увеличивается в десятки и более раз. Но даже такого ее увеличения часто оказывается недостаточно, и излишние наносы откладываются на выпуклых формах рельефа речных русел, в основном на перекатах. На спаде половодья, когда в русла рек поступает вода, содержащая ограниченное количество наносов, так называемые осветленные потоки, система поток—русло снова перестраивается. Поступающий в русло пойменный поток, тормозит русловой поток, уменьшая его скорости, а, следовательно, и его транспортирующую способность. Если же она все-таки больше поступления наносов в русловой поток, то последний обогащается наносами, размывая гребни перекатов и другие выпуклые формы рельефа речного русла, стремясь, таким образом, восстановить равенство транспортирующей способности и расхода донных наносов руслового потока. Именно в этом сказывается один из аспектов процесса саморегулирования в подсистеме речной поток—русло.

Для оценки воздействия эффекта взаимодействия потоков в лаборатории Водных исследований при кафедре гидрометрии РГГМУ были выполнены экспериментальные исследования на моделях русел с односторонними поймами при четырех углах  $\alpha$  ( $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ) схождения или расхождения взаимодействующих потоков. При глубинах затопления поймы от 1 до 12 см. Все измерения проводились при уклонах дна установки в 1‰ и включали в себя измерения скоростей течения и расходов наносов при различных видах их перемещения. Эксперименты производились при спокойном режиме движения потока, характеризуемым числом Фруда меньшим единицы. Для уменьшения погрешности измерений и расчетов был применен, разработанный на кафедре гидрометрии, метод сравнения, при котором эксперименты сначала проводились в изолированном русловом потоке, а затем повторялись уже при взаимодействующих потоках. В процессе работы осуществлялись измерения уровней и глубин потоков с помощью шпигел-масштаба. Расходы воды измерялись методом скорость—площадь и определялись по треугольному водосливу. Также производились измерения расходов донных наносов с помощью специальной ловушки.

Результаты измерений были представлены в виде графических зависимостей расходов донных наносов от углов схождения (слева) и расхождения (справа) и глубины руслового потока (рис. 1).

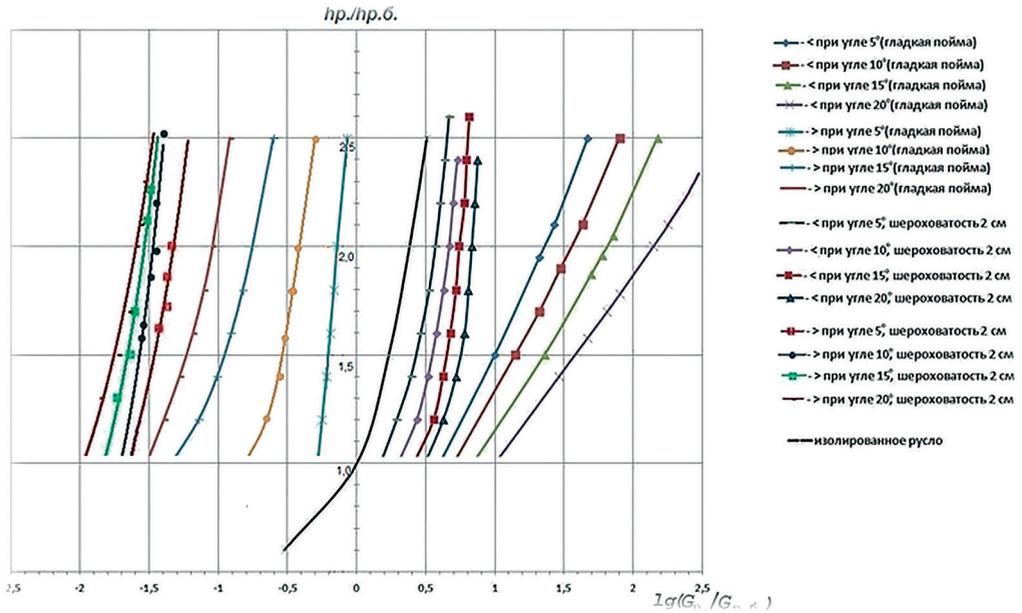


Рис. 1. Зависимости  $\lg G_p/G_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$  в полулогарифмических координатах

Как видно на рис. 1, кривые зависимостей  $G_p/G_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$  при расходящихся осях потоков располагаются на значительном расстоянии от кривой для изолированного руслового потока вправо, т.е. в сторону увеличения соответствующих расходов донных наносов. Особенно оно велико при угле  $\alpha$ , равном 20 градусам.

Противоположный процесс наблюдается при схождении динамических осей взаимодействующих потоков. При малых глубинах затопления поймы даже наблюдались случаи, когда средние скорости руслового потока под воздействием пойменного уменьшались до критических значений, что приводило к прекращению движения наносов.

Проведенный анализ экспериментальных данных и расчеты [3, 7] позволяют сделать следующие выводы:

- установлено, что под воздействием эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков существенно изменяется скорость руслового потока и, как следствие, его транспортирующая способность;
- при расхождении динамических осей потоков наблюдается значительное увеличение скоростей руслового потока. Следствием этого увеличения является резкое увеличение транспортирующей способности руслового потока;
- увеличение транспортирующей способности руслового потока при расходящихся динамических осях потоков тем больше, чем больше угол  $\alpha$  и относительная глубина;
- при схождении динамических осей взаимодействующих потоков наблюдается торможение руслового потока пойменным. Следствием этого является резкое (в разы) уменьшение транспортирующей способности руслового потока;

- величина этого уменьшения находится в прямой зависимости от величины угла  $\alpha$  и относительной глубины;
- при больших углах  $\alpha$ , близких к  $90^\circ$ , скорости руслового потока уменьшаются до критических значений, и транспорт наносов русловым потоком прекращается.

### Литература

1. *Барышников Н.Б.* Русловые процессы. — СПб.: РГГМУ, 2006. — 438с.
2. *Барышников Н.Б.* Проблемы морфологии гидрологии и гидравлики пойм. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 426 с.
3. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова Е.М.* Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на гидравлику руслового потока и транспорт донных наносов. // Учёные записки РГГМУ, 2011, № 19, с. 5–13.
4. *Клаев А.Б., Копалиани З.Д.* Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и русловых процессов. — СПб.: изд. Нестор-История, 2011. — 504 с.
5. *Копалиани З.Д., Костюченко А.А.* Расчеты расхода донных наносов в реках. // Расчеты по гидрологии, 2004, № 27, с. 25–40.
6. *Любимов В.Е.* О способах учета стока донных наносов на реках. // Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, № 5. — Л.: Гидрометиздат, 1960, с. 366–370.
7. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова Е.М.* Морфометрические характеристики русел и пойм и их использование в гидрологических расчетах. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 30, с. 36–39.