

6. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 207 с.
7. Назаров Н.Н. Карстовые берега Камского водохранилища: распространение, интенсивность переработки, классификация // Карстоведение XXI век: теоретическое и практическое значение. Пермь: Изд. ПГУ, 2004. С. 122–130.
8. Назаров Н.Н. Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. Пермь: Изд-во ЗАО “Полиграфкомплект”, 2008. 152 с.

Пермский госуниверситет

Поступила в редакцию
17.11.2009

EXOGENIC MORPHOLITHOGENESIS ON THE SEASONAL MUD FLATS OF THE KAMA WATER RESERVOIRS

N.N. NAZAROV

Summary

Geomorphological effect of exogenic processes on the coastal shallows of the Kama water reservoirs during the formation of seasonal mud flats is comparable in several years to activity of hydrophysical processes at normal lockup levels. Deflation-aeolian processes may cause the increase or decrease of the height of a shallow on separate sites by 0.25–0.40 m during the short periods of time (from one to three weeks). Influence of temporal melt-water currents on a surface of a coastal slope is usually leads to formation of gullies and ravines up to 1.5 m depth and more. Weathering, most notably manifested on abrasion surfaces build up by the dense low-plastic clay, results in the formation of the deep cracks, which are gradually extending under action of a deflation or up-wash and turning into crest-like forms up to 0.3–0.4 m height. The geomorphological effect of frost grounds manifests on the sandy-siltstone deposits underlaid by rocky debris. Owing to differences in a thermal capacity of large shatters and fine deposits there appear little hubbles on the surface of a shallow up to 0.3–0.5 m in diameter and 0.15–0.20 m in height. Depth of the plucking of the coastal slopes by gravitational displacement of an ice or by trash ice can reach 0.3–0.4 m and its width – 5–7 m.

УДК 551.435.1 → 556.53

© 2010 г. А.О. ПАГИН, Н.Б. БАРЫШНИКОВ, Ю.В. ДЕМИДОВА, Т.С. СЕЛИНА

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАССЕЙНА, ПОЙМЫ, РУСЛА РЕКИ И ТРАНСПОРТ НАНОСОВ РУСЛОВЫМИ ПОТОКАМИ¹

Речные наносы в основном образуются из обломков пород, слагающих речные бассейны [1–3]. Продукты разрушения переносятся водными потоками, склоновыми процессами, а иногда и ветром в русла рек. Поэтому основные морфометрические характеристики речных бассейнов (длина, ширина и др.) определяют длину пути и, в значительной степени, скорости перемещения частиц грунтов, а, следовательно, и число их соударений. Уже частично окатанные частицы наносов, поступающие в русла рек, в зависимости от их размеров и скоростей течения русловых потоков формируют либо взвешенные (очень мелкие), либо донные (относительно крупные) наносы.

Транспорт наносов осуществляется в основном в периоды паводков и половодий, т.е. при подъеме уровня воды. При этом наносы поступают в русла рек по их длине

¹ Работа выполнена по целевой программе ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.3.1. Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук.

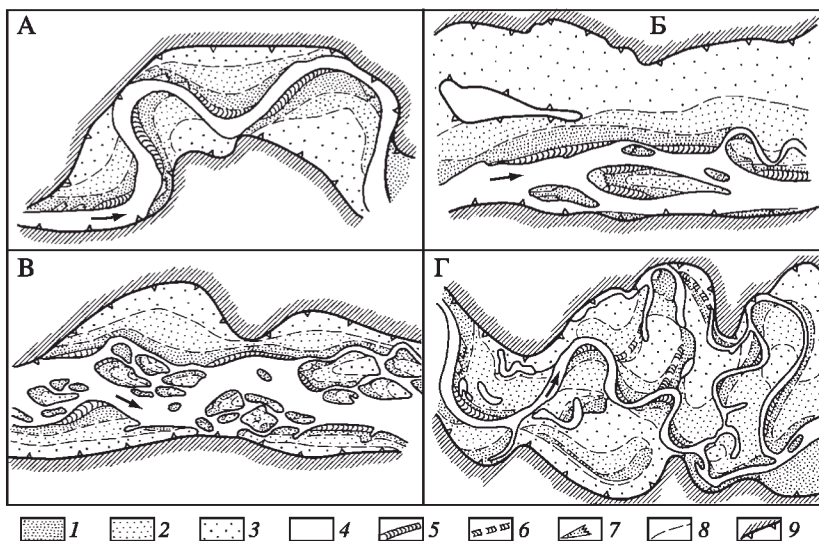


Рис. 1. Некоторые типы пойм (А–Г), обуславливающие различное расположение пойменных зон относительно русла (по [6])

Пойменные зоны: 1 – прирусловая, 2 – центральная, 3 – притеррасная; 4 – русло и направление течения; наложенные прирусловые валы: 5 – современные, 6 – реликтовые; 7 – языки песка; 8 – границы зон; 9 – уступы надпойменных террас

крайне неравномерно, т.к. основное их количество приносят притоки и временные водотоки овражно-балочной сети. Довольно часто поступление наносов в этот период превышает транспортирующую способность руслового потока, и наносы оседают либо на выпуклых формах рельефа (перекаты, побочни, осередки и др.), либо формируют в устьях оврагов и притоков конусы выноса или своеобразные бары. Последние часто могут существовать в течение нескольких лет, пока особенно мощные паводки их не размоют. В качестве примера можно привести бар на Дону, образованный наносами повышенной крупности, вынесенными из оврага, который размывался в течение 10 лет [4, 5].

Морфометрические характеристики русла и поймы весьма значительно изменяются по длине реки. При этом характер такого изменения во многом зависит от типа русел и пойм. Изменение ширины различных типов пойм по длине реки изучалось А.В. Черновым [6] (рис. 1). Средняя глубина и площадь поперечного сечения, как правило, резко, иногда скачкообразно изменяются при повышении уровня воды, когда происходит затопление различных выпуклых форм рельефа, сопровождающееся присоединением дополнительных участков пойм. Особенно важны морфометрические характеристики пойм меандрирующих рек в начальной стадии их затопления, когда течение между прирусловыми валами и гривами может иметь направление противоположное направлению течения в основном русле.

Особенно большое влияние морфометрические характеристики русел и пойм оказывают на транспортирующую способность русловых потоков при пропуске паводков и половодий по затопленным поймам. Как показали исследования [4, 7–9], под действием пойменного потока происходит трансформация скоростного поля руслового потока. При этом в зависимости от морфометрических характеристик русла и поймы скорости руслового потока могут как увеличиваться, так и уменьшаться. Действительно, при расширении поймы и русла ниже рассматриваемого створа значительно увеличивается уклон водной поверхности и скорость руслового потока под воздействием пойменного. При сужении поймы, массы пойменного потока вторгаются в русловой,

тормозят его, что приводит к уменьшению уклонов водной поверхности, а следовательно, и скоростей руслового потока. Установлено, что величина таких изменений скорости руслового потока находится в прямой зависимости от его глубины и угла α между динамическими осями взаимодействующих руслового и пойменного потоков. В данном случае угол α можно рассматривать как интегральный показатель, характеризующий соотношение морфологических особенностей русла и поймы. Учитывая, что для определения величины угла α необходимы сложные дорогостоящие натурные измерения, было решено приравнять его к углу между геометрическими осями русла и поймы. К сожалению, точность определения угла α при этом уменьшается и составляет величину равную 2–3°.

Наиболее распространенная в России группа формул для расчета транспортирующей способности русловых потоков в общем виде может быть представлена как

$$G = \beta \left(\frac{V}{V_k} \right)^m, \text{ т.е. транспортирующая способность руслового потока } (G) \text{ пропорцио-}$$

нальна его средней скорости (V) [4, 10, 11]. Здесь $\beta = f(h, d)$ – коэффициент пропорциональности, d – крупность наносов, V_k – средняя критическая скорость, m – показатель степени, который по данным различных авторов изменяется от 2 до 7 при среднем значении ≈ 4 [4, 11]. Исходя из этого, можно констатировать, что транспортирующая способность руслового потока значительно (в степени близкой к 4) меняется при изменении скоростей руслового потока.

Работы, проведенные на кафедре гидрометрии РГГМУ, показали, что в условиях нестационарной задачи (а именно таковой и является пропуск паводков по затопленным поймам) в период подъема уровня, вода по руслу движется быстрее, чем по пойме [5]. Это приводит к растеканию масс руслового потока по пойме и, как следствие, к существенному увеличению уклонов водной поверхности и скоростей руслового потока, а также его транспортирующей способности. В периоды спада уровней наблюдается противоположное явление, т. е. массы пойменного потока, вторгаясь в русловую, тормозят его движение. Это приводит к уменьшению уклонов водной поверхности, скоростей руслового потока и, как следствие, транспортирующей способности [4, 8].

Первые исследования в этом направлении были проведены в начале 1960-х гг. в ЛГМИ [4, 12] на малом лотке с переменным уклоном (длиной 2.8 м и шириной 0.4 м). В нем была смонтирована модель русла шириной 0.2 м с поймой такой же ширины. Эксперименты выполнялись по принятой в ЛГМИ методике на основе сравнения результатов. Сначала измерения проводились в изолированном от поймы русле, а затем при взаимодействии руслового и пойменного потоков. Анализ результатов экспериментов показал, что при взаимодействии потоков с параллельными осями наблюдается резкое уменьшение транспортирующей способности руслового потока [12] (рис. 2). Несколько позднее в МИИТ под руководством Г.В. Железнякова на модели русла с двухсторонней поймой были выполнены аналогичные эксперименты [13].

Позднее в РГГМУ на лотке большего размера инженером К.В. Немчиновым были проведены эксперименты на модели русла с поймой, оси которых сходились под углом 20°. Размеры модели: длина 6.0 м, ширина русла 0.25 м, максимальная ширина поймы 0.35 м. Анализ экспериментальных данных позволил установить, что транспортирующая способность руслового потока под действием пойменного уменьшается в десятки раз, т.е. транспорт наносов в этом случае почти прекращается.

При этом возникает очень важный (и для практики, и для науки) вопрос, насколько приемлемы имеющиеся формулы для расчета транспортирующей способности руслового потока в указанных выше условиях. Для решения этой проблемы в РГГМУ были проведены экспериментальные исследования на малой русловой площадке размерами 11.0×2.52 м. На ней из бетона была смонтирована модель русла шириной 0.3 м с поймой шириной до 2.10 м. На этой модели, где оси русла и поймы расходились

под различными углами, были выполнены эксперименты, целью которых стало выявление влияния угла расхождения динамических осей потоков на транспортирующую способность русла. Эксперименты выполнялись при четырех значениях угла α : 5, 10, 15 и 20°. В каждом случае измерения скоростей потоков осуществлялось на трех створах, расположенных на расстоянии соответственно 3, 5 и 7 м от входного. Расход наносов определялся объемным способом, для чего в конце модели была установлена специальная ловушка.

Анализ результатов экспериментов позволил установить прямую зависимость расходов донных наносов от глубины и угла α . При расширении поймы в условиях расходящихся осей взаимодействующих руслового и пойменного потоков транспортирующая способность руслового потока увеличивалась при увеличении глубины и угла α (рис. 3). В то же время при углах $\alpha = 15$ и 20° на расстоянии ≈ 5.0 м от входа на установку формировался

перекат, создававший подпор русловому потоку. В результате часть донных наносов стала поступать на пойму и перемещаться по ней в виде донных гряд. Причина отложения наносов в русле и формирования переката в том, что при постоянном расходе воды, подаваемом на установку, все большая его часть поступает на расширяющуюся пойму и, как следствие, скорости и расходы воды руслового потока по длине установки уменьшаются, а, следовательно, уменьшается и его транспортирующая способность.

Анализ имеющихся экспериментальных данных свидетельствует о том, что угол α , являющийся интегральной характеристикой особенностей морфологического строения поймы и русла, вполне может быть использован в формулах для расчета транспортирующей способности руслового потока. В то же время он лишь частично характеризует особенности морфологического строения поймы и русла. Поэтому необходима разработка и других интегральных параметров, отражающих, в частности, тип поймы, вид и густоту растительности на ней и другие ее характеристики.

Имеется много разновидностей пойм, которые типизированы различными авторами. Наиболее совершенными из них, по нашему мнению, являются типизации ГГИ и МГУ им. М.В. Ломоносова, в основу которых положена связь пойм с русловыми процессами [10, 14]. Учитывая сложность строения различных типов пойм и особенности процессов их затопления, а также прохождение паводочных вод по ним, по-видимому,

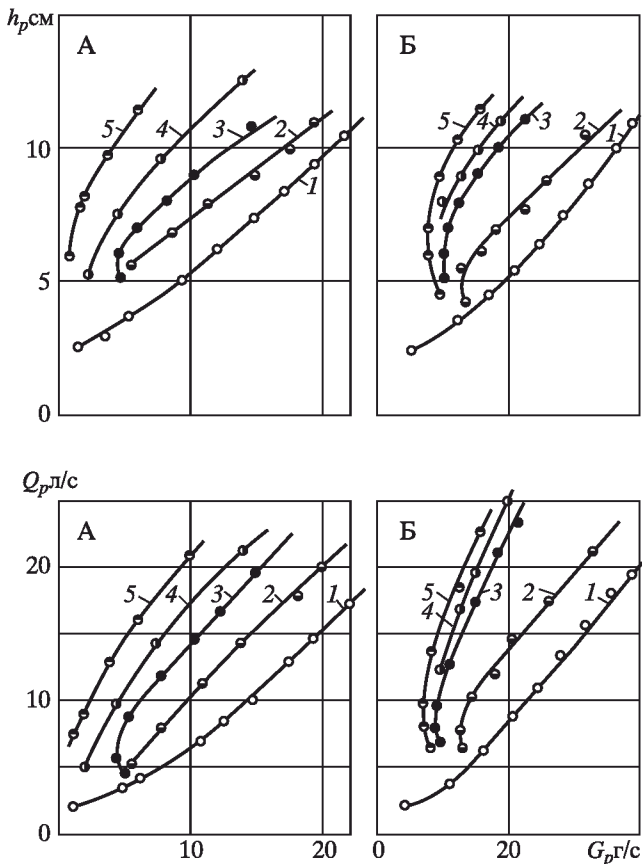


Рис. 2. Зависимость транспортирующей способности потока от глубины и от расхода воды (А – $I = 3\text{‰}$, Б – $I = 9\text{‰}$)

Русло: 1 – изолированное, с поймой шероховатостью (см): 2 – 0.5, 3 – 1.0, 4 – 2.0, 5 – 3.0

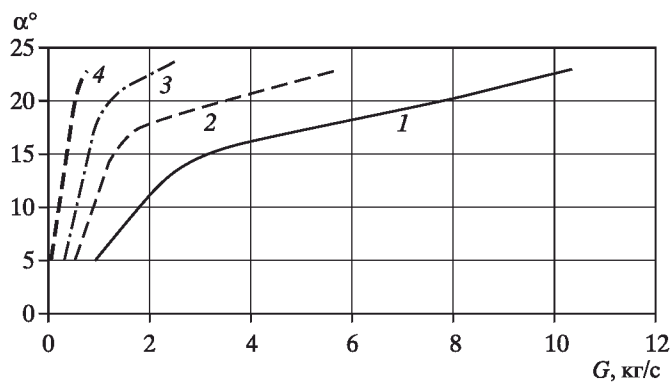


Рис. 3. Зависимость транспортирующей способности потока от угла между динамическими осями потоков (α) и глубины (h)

Глубина, см: 1 – 10, 2 – 8, 3 – 7, 4 – 6

целесообразна разработка критериев, учитывающих особенности морфологии различных типов пойм.

Необходимо также отметить, что русло с поймой – часть саморегулирующейся системы бассейн – речной поток – русло. Действительно, речные бассейны служат как бы “фабрикой” формирования наносов, поступающих в русла рек в основном в периоды подъема уровней при паводках и половодьях, причем нередко количество наносов превышает транспортирующую способность потока. Чтобы русловой поток мог транспортировать такое большое количество наносов, он под действием пойменного потока перестраивает свою структуру таким образом, что его скорости резко увеличиваются. Учитывая, что транспортирующая способность потока пропорциональна его средней скорости (в степени m), это вызывает резкое увеличение транспорта наносов и размыв русла, а также его углубление. Несмотря на это, не все наносы транспортируются по длине потока, часть их откладывается на выпуклых формах рельефа речного русла (перекатах, осередках, островах и др.).

При спаде же уровней, когда в русло из бассейна поступает ограниченное количество наносов, система перестраивается так, что скорость руслового потока резко уменьшается, а, следовательно, еще более значительно уменьшается и транспортирующая способность руслового потока. Если же последняя все-таки достаточна, а количество привнесенных наносов невелико, то русловой поток размывает выпуклые формы руслового рельефа, стремясь установить баланс между расходом наносов и своей транспортирующей способностью. Если скорость мала, то наносы аккумулируются и русло мелеет.

Таким образом, регулирование стока наносов осуществляется как в результате взаимодействия руслового и пойменного потоков, так и за счет роста либо размыва перекатов и других русловых форм рельефа.

Выводы

1. Особенности морфологического строения пойм и русел оказывают определяющее воздействие на транспортирующую способность руслового потока.

2. Практически все известные формулы для расчета транспортирующей способности руслового потока не учитывают воздействия эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков. Поэтому необходима разработка методов и формул для расчета расходов и стока донных наносов, в которых бы учитывался эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков, зависящий от морфологического строения пойм, их морфометрических характеристик, с одной стороны, и русел, с другой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 202 с.
2. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
3. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. М.: Высш. шк., 2005. 463 с.
4. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 456 с.
5. Великанов М.А. Гидрология суши. Л.: Гидрометеониздат, 1948. 550 с.
6. Чернов А.В. Морфологические следствия взаимодействия пойменного и руслового потоков // Уч. зап. РГГМУ. 2007. Вып. 5 (спец.). С. 45–47.
7. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеониздат, 1962. 374 с.
8. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 310 с.
9. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеониздат, 1984. 280 с.
10. Гришанин К.В. Гидравлические сопротивления естественных русел. Л.: Гидрометеониздат, 1992. 184 с.
11. Graf W. Hydraulics of sediment transport. N.Y.: McGraw – Hill Book Company, 1971. 548 p.
12. Барышников Н.Б. Транспорт русловых наносов в прямолинейных потоках с поймой // Тр. ЛГМИ. 1967. Вып. 25. С. 50–73.
13. Алтунин В.С., Барышников Н.Б., Железняков Г.В. Влияние кинематического эффекта безнапорного потока на транспорт наносов // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука, 1970. С. 78–81.
14. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.

РГГМУ, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
после доработки 28.01.10

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE RIVER BASIN, FLOOD-PLAIN, AND CHANNEL, AND SEDIMENT TRANSPORT BY STREAMS

A.O. PAGIN, N.B. BARYSHNIKOV, Yu.V. DEMIDOVA, T.S. SELINA

Summary

The morphology of design stream section has a predominant impact on the transport of bottom sediments. The estimation of the validity of the basic formulas for calculation of sediment discharge, fulfilled on the basis of experimental data, showed that errors in calculations exceed hundreds of percent on the average with the maximum up to thousand of percent. The main reason of this – disregard of the effect of interactions of river-bed and floodplain flows and of specific features of these landforms. The authors suggest entering into these formulas the correction indexes, which correct the results by the factors of section morphology.