

УДК 551.482.212 (470.343+282.247)

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ РУСЛООБРАЗОВАНИЯ НА РЕКЕ БОЛЬШАЯ КОКШАГА**

А.И. Толстухин

Переформирования речного русла и поймы рек осуществляются в ходе деформаций морфологических образований: микро-, мезо- и макроформ (сползание побочня, развитие излучины и др.), которые, несмотря на разнообразие природных условий, имеют некоторые закономерности, определяемые типом руслового процесса [3]. В результате натурных работ было установлено, что преобладающим типом руслового процесса участка р. Б. Кокшага в пределах заповедника является побочневый, о чем свидетельствует слабая извилистость русла реки, наличие перекошенных в плане гряд и затонов у оснований гряд. На отдельных участках побочневый тип руслового процесса переходит в различные типы меандрирования:

- незавершенное: наличие старичных образований симметричной формы, имеющих двухстороннее сообщение с основным руслом;
- свободное: наличие излучин с большим углом разворота асимметричной формы, разделение плесовой ложбины на несколько участков;
- ограниченное: наличие слаборазвитых излучин, отсутствие затонов, характерных для побочневого типа руслового процесса.

Ленточно-грядовой тип руслового процесса не обуславливает значительных русловых деформаций, вызывая лишь образование и смещение микроформ. Расчет элементов донных гряд, выполненный по существующим рекомендациям [1], показал, что скорость смещения гряд в русле р. Б. Кокшага не превышает 0,1 м/год, а в большинстве случаев близка к нулю. Высота гряд также мала и достигает 1 м для участков с максимальной скоростью и глубиной более 5 м.

При побочневом типе руслового процесса вследствие размыва одних участков и намыва других форма дна приобретает вид побочня, который характеризуется высотой и длиной (шагом). В специальной литературе [4] выделяют следующие характерные участки для классических побочней: верхняя плесовая ложбина, нижняя плесовая ложбина, верхний побочень переката, нижний побочень переката, подвалье вала переката, вал переката, затонная часть (рис. 1). Проведенные измерения и расчеты, выполненные по рекомендациям [2], показали, что высота побочней русла р. Б. Кокшага в пределах заповедника составляет 1,2...2,0 м, а шаг

побочня - 160...280 м. Скорость смещения побочней не превышает 3,5 м/год. Расход влекомых донных наносов значительно увеличивается по мере увеличения скорости и уменьшения глубины и достигает  $5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м})$ .

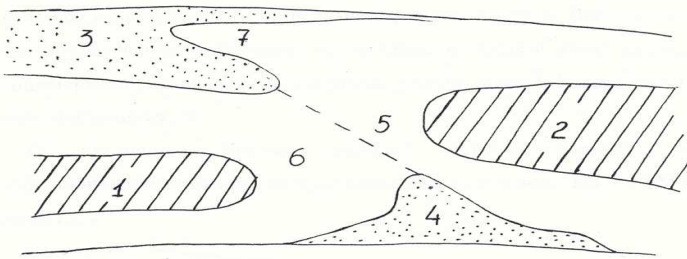


Рис. 1. Морфологические элементы побочня переката: 1-верхняя плесовая ложбина; 2-нижняя плесовая ложбина; 3-верхний побочень переката; 4-нижний побочень переката; 5-подвалье вала переката; 6-вал переката; 7-затонная часть.

Однако такая классическая картина для р. Б. Кокшага, как и для большинства подобных равнинных рек, протекающих в лесотаяжных зонах и имеющих пониженную пойму, наблюдается крайне редко. Причиной этого является периодическое повышение уровня воды (в половодье, в период летне-осенних паводков), затопление части поймы. В это время затоны (элемент 7 на рис. 1.) по сути, превращаются в полноправный приток основного русла, и процессы руслообразования происходит по иному.

Для исследования закономерностей руслообразования при побочнем типе руслового процесса в 2001-2004 гг. проведена тахеометрическая съемка 33 устьевых участков старичных образований с составлением их планов в изобатах (рис. 2). Из анализа построенных планов выявлено, что морфология русловых форм для обследованных участков весьма различна, но имеются некоторые общие закономерности их развития по длине реки (рис. 3). Условно выделены пять характерных областей.

I – верхняя, расположенная выше узла слияния потоков; потоки четко разграничены.

II – участок слияния потоков, расположенный ниже ухвостья. Его характерный элемент – коса, распространяющаяся от ухвостья на некоторое расстояние вниз по течению. Коса затоплена, но имеет повышен-

ные отметки, достаточно четко разделяя общее русло на два отдельных, хотя уже и имеющих общую свободную поверхность, русла.

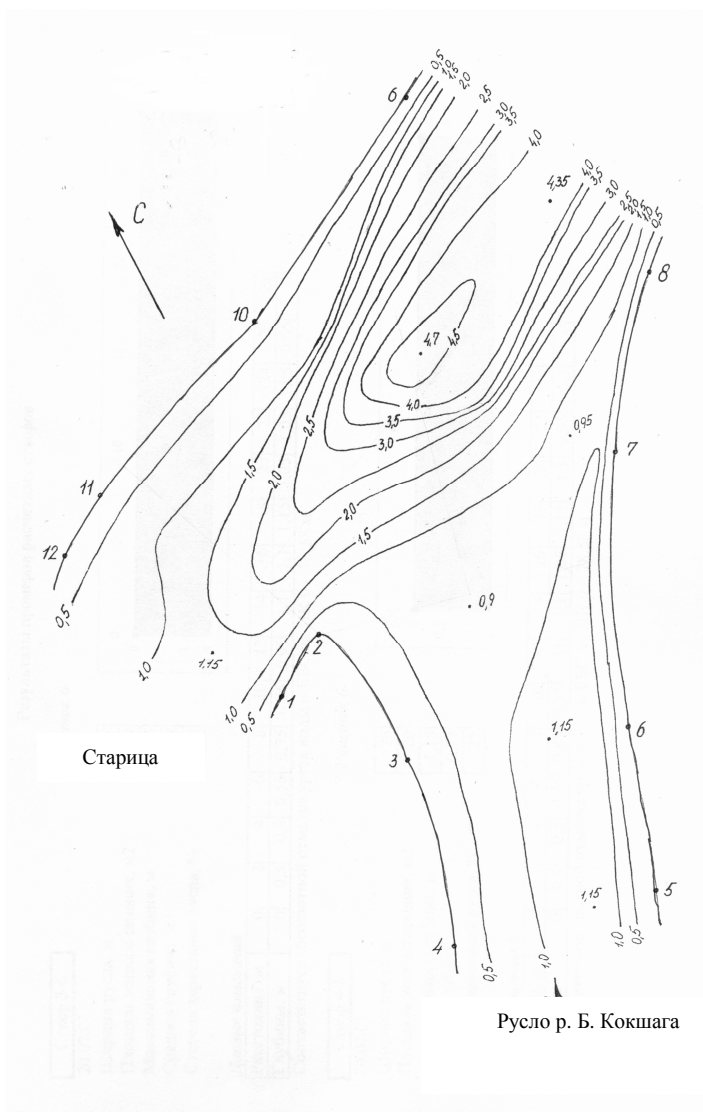


Рис. 2. План устьевую участка старичного образования

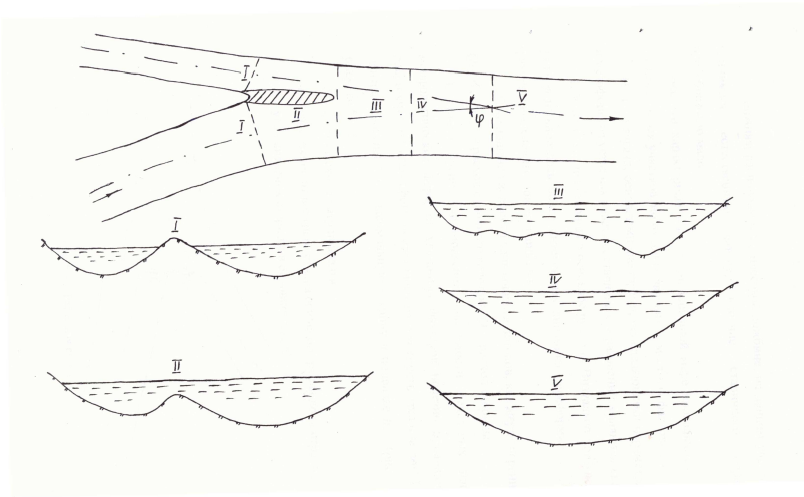


Рис. 3. Динамика развития русловых деформаций на устьевом участке старичных образований.

III – переходная зона, которая начинается со створа, где высота косы от ухвостья становится достаточно мала; здесь происходит полное слияние потока. Вследствие этого образуются поперечные вихревые течения, круговороты, в результате образуется труднопредсказуемый неупорядоченный профиль дна. Русло здесь принимает, как правило, корытообразную форму, глубины практически по всей ширине выравниваются; средняя глубина на этом участке минимальна. Визуально такие участки обнаруживаются по обилию водной растительности. Скорости водных потоков выравниваются по ширине реки и также становятся минимальными.

IV – плесовая ложбина или подвалье. Это участок, где формируется поперечный профиль с максимальной глубиной и, как правило, асимметричной формы. Плесовая ложбина обычно располагается ближе к берегу основного русла.

V – нижняя, расположенная на плесовой ложбине; на данном участке русло принимает естественную форму, влияние старичного образования пренебрежимо мало.

Все эти характерные зоны в той или иной мере проявляются для всех обследованных участков, но их размеры зависят от местных факторов, основными из которых являются угол впадения старицы в основное

русло и соотношение водности сливающихся потоков. На основании натурной съёмки получены зависимости параметров подвалья (их местоположения и глубины) от вышеперечисленных факторов. Выявлено, что при углах слияния потоков менее  $60^\circ$  глубина подвалья зависит только от ширины основного русла. При дальнейшем увеличении угла слияния на глубину подвалья начинает влиять и старичное образование: увеличение угла слияния способствует уменьшению глубины подвалья, а увеличение расхода основного русла, напротив, увеличивает его. Увеличение мощности старичного образования удаляет подвалье от узла слияния; увеличение угла слияния приближает его.

Отдельные устьевые участки старичных образований не вписываются в общую картину, изложенную выше. Анализ причин несоответствия показал, что морфология русла этих стариц ниже старичного образования не является классической, так как образовались не в результате естественных процессов, а является результатом антропогенных русловыправительных работ, проводимых ранее.

Основными задачами исследования закономерностей руслопереформирования при меандрировании являются:

- выявление сезонной качественной картины русловых переформирований;
- получение количественных характеристик плановых и высотных деформаций русла;
- установление общих закономерностей формирования кинематической структуры потока на участке излучины;
- разработка методики прогнозирования высотных и плановых деформаций меандрирующего русла на заданную перспективу.

Вывод об интенсивности плановых и высотных деформаций в разные сезоны года, средних в течение года можно сделать на основании сравнительного анализа данных топографической съёмки самого русла реки, а также участка поймы и размываемого берега. В качестве опытного участка выбрана излучина р. Б. Кокшага в урочище Красная горка, которая представляет собой ограниченно меандрирующий слабозакоряженный и не подверженный зарастанию участок реки длиной 180 м (рис. 4). Левый намываемый берег реки пологий, а правый, занятый сосновым древостоем, обрывистый, подмываемый во время сильных половодий, что приводит к сильному вывалу деревьев (рис. 5). Высота обрыва составляет 6...10 метров. Во время половодья уровень воды практически достигает кромки обрыва. На участке излучины река совершает левый поворот на  $130^\circ$ . Ширина ее в межень колеблется от 25 до 29 метров. На левом берегу произрастают в основном кустарники и ивняк,

на противоположном - сосновый лес. На данном объекте исследования сотрудниками заповедника в течение восьми лет проводится изучение интенсивности размыва бровки коренного берега, для чего на правом размываемом берегу заложен базис, от которого систематически измеряется расстояние до бровки (табл. 1).

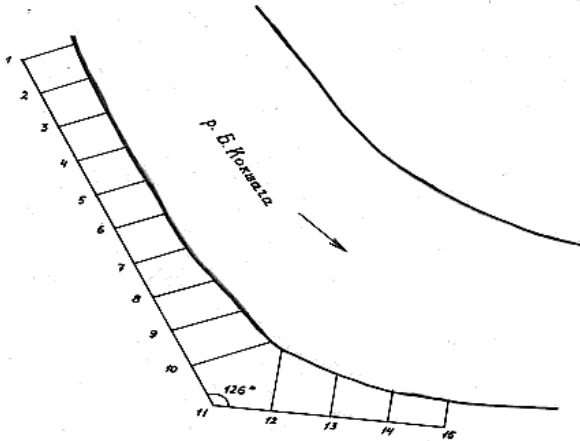


Рис. 4. Схема разбивки базиса на правом размываемом берегу для измерения смещения бровки размываемого берега



Рис. 5. Вывал деревьев на излучине р. Б. Кокшага, в результате подмыва берега

Таблица 1

Динамика деформации размываемого берега р. Б. Кокшага в урочище Красная горка с 1995 по 2002 гг.

Дата	Расстояние от точки пикета до береговой линии, м														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
28.09.95	16,69	13,54	11,96	10,35	10,48	9,4	11,85	14,52	17,24	20,91	X	22,44	19,64	17,29	16,48
26.09.96	16,63	13,46	11,96	9,88	10,12	8,7	11,55	14,52	16,98	20,91	X	22,09	19,36	17,26	16,15
20.05.97	16,63	13,4	11,96	9,81	10,12	8,7	11,15	14,5	16,98	20,91	X	22,09	19,24	17,26	16,15
14.10.97	16,6	13,34	11,96	9,8	10,09	8,7	10,96	14,34	16,76	20,91	X	22,09	19,15	17,26	16,15
24.05.98	16,6	13,29	11,96	9,8	8,01	8,29	8,15	12,08	16,76	20,9	X	22,09	15,77	14,84	16,15
28.10.98	16,6	13,28	11,96	9,78	7,59	7,94	8,15	11,88	16,46	20,55	X	21,9	15,77	14,84	16,0
02.06.99	16,6	13,21	11,96	9,78	7,59	7,65	8,15	11,52	16,08	20,5	X	21,82	15,77	14,84	16,0
07.10.99	16,6	13,15	11,96	9,78	7,44	7,65	8,01	11,21	15,7	20,5	X	21,82	15,77	14,8	16,0
18.05.00	16,6	13,14	11,96	9,78	7,24	7,65	7,82	11,14	15,16	20,5	X	21,72	15,73	14,73	15,64
14.10.00	16,6	13,14	11,96	9,78	7,24	7,65	7,82	-	15,16	20,5	X	21,72	15,73	14,73	15,64
25.05.01	16,6	13,14	11,96	9,78	7,2	7,5	7,8	10,75	13,4	15,25	X	18,72	12,78	13,0	14,6
28.10.01	16,6	13,12	11,96	9,78	7,2	7,26	7,73	10,74	13,19	15,22	X	18,72	12,78	12,99	14,48
23.05.02	13,79	12,97	11,89	9,45	7,2	7,26	7,73	10,53	12,9	15,22	X	18,63	12,78	12,8	14,3

Характерными элементами рельефа дна являются перекааты, расположенные в створе входного и выходного сечения меандров, и плесовая ложбина. Положение перекаатов относительно стабильно, абсолютные отметки дна изменяются равномерно по ширине русла, в зависимости от транспортирующей способности потока они колеблются в интервале  $\pm(20...30 \text{ см})$ . Плесовая ложбина не имеет постоянного местоположение, ее расположение относительно общей длины излуины изменяется в зависимости от расхода реки (уровня воды). Можно утверждать, что в любую фазу водного режима плесовая ложбина расположена в третьей четверти излуины от входного сечения. При максимальных расходах она смещается вниз по течению на  $2/3$  длины меандра и имеет максимальную глубину (минимальные абсолютные отметки). При снижении расхода реки, а, следовательно, и ее уровня, плесовая ложбина поднимается вверх по течению до половины длины меандра. Абсолютные отметки дна плесовой ложбины в этот период максимальны. При дальнейшем увеличении расходов реки происходит новое сползание ложбины вниз с увеличением глубины. В зимний период каких-либо заметных деформаций русла не происходит. В летнюю межень вдоль намываемого берега формируется отмель, имеющая пологий верховой откос и обрывистый нижний. Нижняя граница отмели находится в одном створе с началом плесовой ложбины.

Высотные русловые деформации происходят по замкнутому циклу в соответствии с гидрологическим режимом реки. Положение плесовой ложбины ориентировочно можно определить, проведя касательную по линии фарватера (как правило, она совпадает со стрежнем) во входном сечении. При увеличении уровня воды происходит некоторое спрямление излуины за счет затопления части поймы. Касательная к линии фарватера поворачивается внутрь излуины, что соответствует сползанию плесовой ложбины. Наоборот, при снижении уровня воды коэффициент извилистости увеличивается, касательная разворачивается в сторону размываемого берега, что соответствует подъему плесовой ложбины в маловодные периоды.

Отмечено, что плановые деформации являются следствием высотных. Они минимальны либо вовсе отсутствуют в первой трети излуины, затем нарастают и максимальны в створе расположения плесовой ложбины. Именно по положению плесовой ложбины можно предсказать зону интенсивных плановых деформаций. Среднегодовое смещение бровки размываемого берега по данным наблюдений составило



0,5 м/год. Максимальные деформации достигают 3 м/год, но имеют не-систематический характер, ни по месту проявления, ни по абсолютной величине. По-видимому, ведущую роль здесь играет ветровая нагрузка на растущие в непосредственной близости от бровки деревья.

Одновременно с размывом берега происходит и намыв противоположного. Величины смещения бровок берегов примерно соответствуют друг другу. Намываемый берег имеет разную крутизну, максимальную в створах перекатов, минимальную примерно на половине длины меандра, где происходит формирование отмели в меженные периоды.

Для прогнозирования высотных деформаций меандрирующего русла на заданную перспективу нами предложена методика, основанная на определении общего количества осевших или удаленных наносов за определенный момент времени с расчетного участка меандра. Для этого исследована кинематическая структура потока на участке меандрирования. Аналитически получена и подтверждена данными изысканий зависимость осредненной скорости или удельного расхода от глубины, позволяющая на основании данных о морфометрических параметрах русла определить осредненную скорость по вертикали в любой точке излучины. Точность расчета зависит от выбранного размера расчетного участка и перспективы прогноза, поэтому целесообразно производить поэтапный прогноз.

В качестве исходных данных для прогнозирования высотных деформаций по предложенной методике необходимы следующие материалы:

- топографический план излучины, включающий план русла реки в изобатах и план поймы реки, затапливаемой при максимальном уровне воды на некоторый начальный момент времени;
- кривая связи расходов реки и абсолютной отметки уреза воды;
- типичный гидрограф стока для данного водотока, в случае отсутствия такового для реки – аналога;
- сведения о ледовом режиме реки, сроки и продолжительность периода ледостава;
- данные о средней гидравлической крупности наносов, слагающих русло реки, и их плотности (в объемном весе).

В ходе проводимого исследования русловых деформаций р. Б. Кокшага нами была разработана теоретическая модель формирования плановых очертаний излучины, в основе которой лежит аналогия между движением воды на участке меандрирования вокруг центра кривизны и

классической задачей гидравлики – относительный покой жидкости во вращающемся сосуде. При допущении неразрывности русла водотока на участке его планового искривления возникнет перекося свободной поверхности  $A_1$  (рис. 6). Ее отклонение (положительное  $+\Delta_2$  или отрицательное  $-\Delta_1$ ) от горизонтального положения  $A$  и является причиной соответственно размыва  $\Delta_2$  или намыва  $\Delta_1$  размываемого русла. При формировании профиля размываемого берега  $B_1$  учитывается угол естественного сложения грунтов  $\alpha$  для расчета смещения бровки размываемого берега  $D$ .

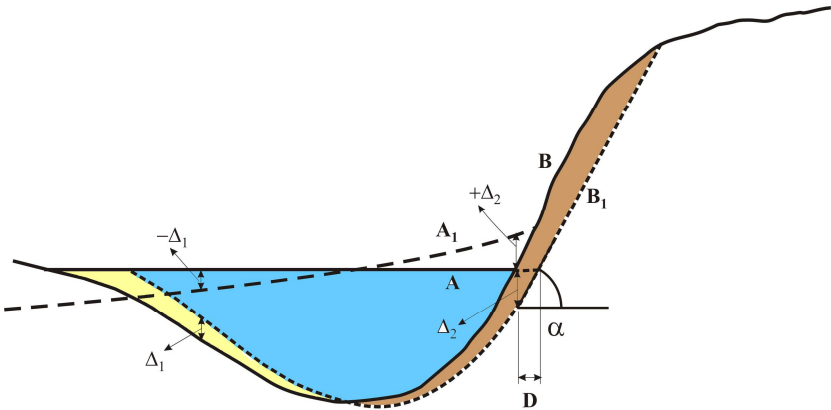


Рис. 6. Расчетная схема планового деформирования русла

Для опробирования предложенной методики прогнозирования плановых смещений русла реки произведен прогноз смещения бровки размываемого берега излучины р. Б. Кокшага в урочище Красная горка. В меженьные периоды при расходах до  $18 \text{ м}^3/\text{с}$  деформации русла оказались пренебрежимо малы – до нескольких миллиметров как размыва, так и намыва. Данные натурных промеров подтверждают, что в этот период каких-либо значимых русловых переформирований не происходит. Деформации русла становятся значительными при больших расходах воды, соответствующих паводковым периодам. На рис. 7 показан результат расчета максимальных деформаций русла рассматриваемого участка при разных расходах, где за исходный профиль приняты данные, полученные в зимнюю межень, а за конечный – после окончания половодья.

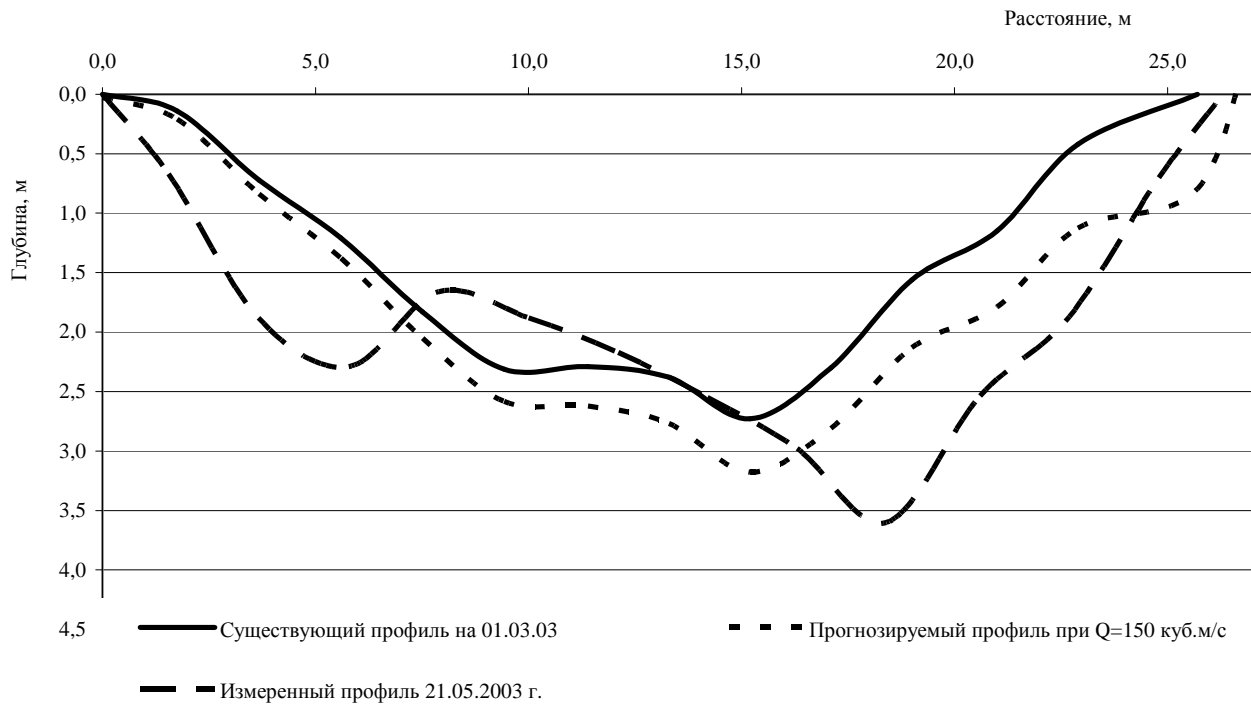


Рис. 7. Результаты расчета максимальных плановых деформаций излучины реки Б. Кокшага в урочище Красная горка

Сопоставление расчетных данных размыва с фактическими показало их удовлетворительное соответствие относительно смещения (размыва) бровки коренного берега. При прогнозировании высотных деформаций необходимо, очевидно, учитывать и транспортирующую способность водного потока.

***Библиографический список***

1. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 272 с.
2. Кондратьев И.Е., Попов И.В., Сنيщенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.
3. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства / ПНИИИС Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1987. - 68 с.
4. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.