



УДК 556.53

Ситнов Александр Николаевич, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Воронина Юлия Евгеньевна, доцент, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Шестова Марина Вадимовна, доцент, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ПРОГНОЗ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕАНДРИРУЮЩИХ РУСЛАХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ Р.БЕЛАЯ)

Аннотация. Меандрирующие русла крупных судоходных рек в значительной степени влияют на условия судоходства. Детальную характеристику процесса развития излучин при меандрировании можно получить путем определения их основных параметров. На примере устьевого участка р. Белая, находящегося в подпоре Нижнекамского водохранилища, дана оценка состояния русла и сделан прогноз русловых деформаций, влияющих на судоходство.

Ключевые слова: Меандрирование, излучина, прогноз деформаций, измерители меандры

Прогноз развития излучин на устьевых участках рек, находящихся в подпоре водохранилищ, необходим для оценки возможных последствий от изменений уровня воды в водохранилище или от выполнения работ по улучшению условий судоходства путем спрямления излучин.

Процесс меандрирования, то есть образования большого числа изгибов на незначительном по протяженности участке поймы, ярко выражен на одной из крупных судоходных рек Европейской части Российской Федерации – на реке Белая. На протяжении десятков километров от своего устья река является сильно извилистой с большим количеством излучин. Для исследования был взят устьевой участок двух последних излучин перед впадением р. Белая в р. Кама, находящийся в подпоре Нижнекамского водохранилища. Однако влияние подпора не смогло полностью «заглушить» формирование всё больших искривлений русла, что до сих пор негативно сказывается на судоходстве на указанном участке, а процесс меандрирования остается

ярко выраженным и изменение формы русла на двух последних излучинах на р. Белая не завершено и в настоящее время.

На реке Белая наблюдается процесс свободного меандрирования с признаками незавершенного. Развитые в таких реках излучины имеют различные углы разворота, которые всё больше со временем меняются в сторону увеличения. На р. Белая не прослеживается сползающих вниз по течению без закономерного изменения их плановых очертаний излучин, что говорит об отсутствии признаков ограниченного меандрирования. Изучение изменения русла за последние 25 лет позволило практически точно указать направление и интенсивность переформирования участка в будущем. Приведенные ниже пояснения и выводы дают основание в необходимости проектирования варианта возможного изменения направления судового хода для коренного улучшения условий судоходства в месте впадения крупнейшего притока р. Кама.

Комплексная оценка процесса развития двух нижних излучин р. Белая выполнена путем анализа и сопоставления плановых съемок за три года (1994, 2009 и 2017), в результате чего определены следующие измерители (рис. 1):

шаг излучины λ — расстояние по прямой между точками перегиба осевой линии, ограничивающими излучину, м;

длина излучины S — расстояние между теми же точками, измеренное по осевой линии, м;

угол входа $\alpha_{\text{вх}}$ — угол, образованный линией шага и вектором, направленным в сторону течения по касательной к осевой линии в верховой точке перегиба, град.;

угол выхода $\alpha_{\text{вых}}$ — угол, образованный продолжением линии шага и вектором, аналогичным названному выше, но проходящему через низовую точку перегиба, град.;

угол разворота α — угол, образованный двумя названными выше векторами и равный сумме углов входа и выхода, т. е. $\alpha = \alpha_{\text{вх}} + \alpha_{\text{вых}}$;

высота излучины y_r — расстояние от линии шага до наиболее удаленной точки осевой линии, м;

показатель развитости излучины S/λ .

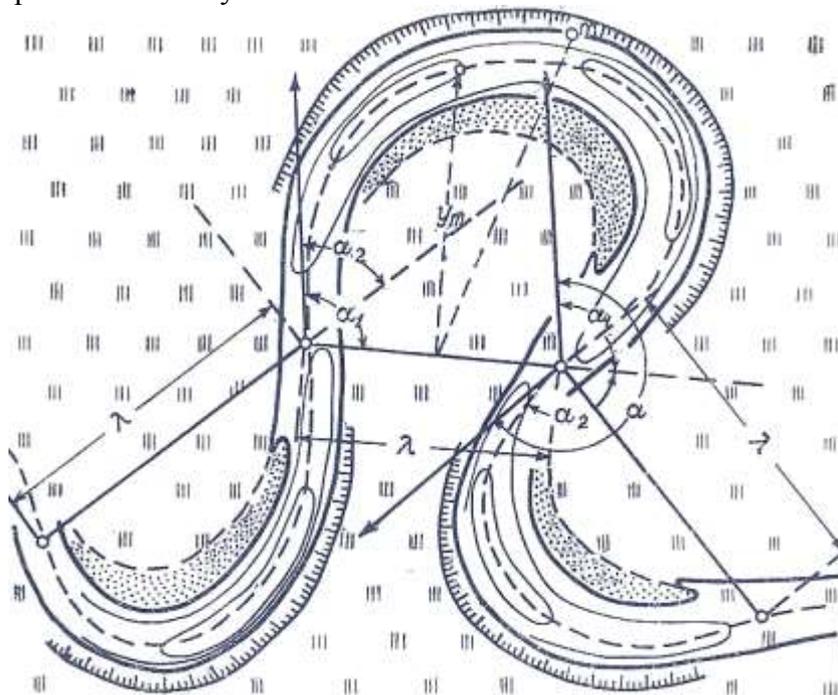


Рисунок 1 – Измерители меандрирования

Скорость плановых деформаций излучины оценивалась по следующим измерителям:

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция III Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

- скорость развития угла разворота излучины C_α – отношение изменения угла разворота $\Delta\alpha$ к соответствующему интервалу времени Δt , т. е. $C_\alpha = \Delta\alpha / \Delta t$, где $\Delta\alpha = \alpha_{t+1} - \alpha_t$;
- скорость развития длины излучины C_S – отношение изменения длины излучины ΔS к соответствующему интервалу времени Δt , т. е. $C_S = \Delta S / \Delta t$, $\Delta S = S_{t+1} - S_t$;
- скорость перемещения линии берега C_b , м/год.

В качестве примера приведен результат измерений за 2017 год (рис.2), а динамика изменения показателей приведена в таблице 1.

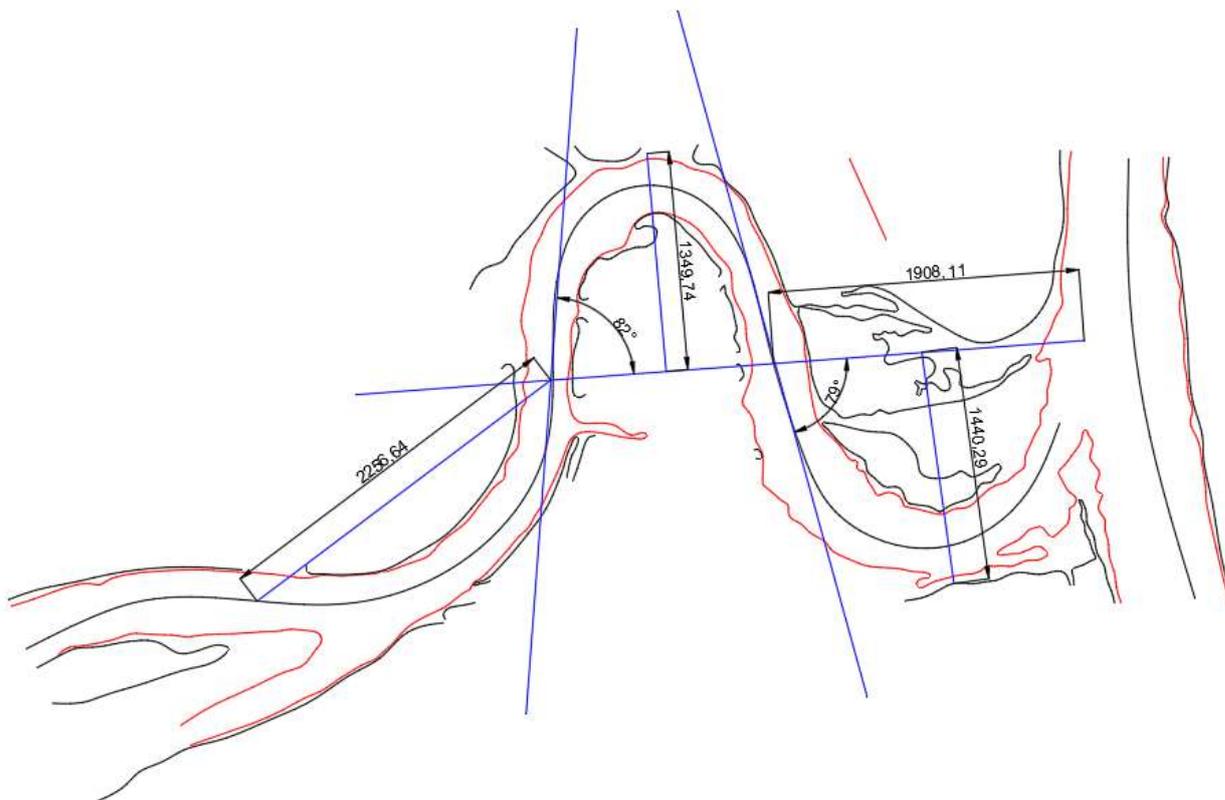


Рисунок 2 – Измерения параметров излучин исследуемого участка р. Белая (2017 г.)

Таблица 1 – Основные измерения излучины предполагаемого месторождения р. Белая

Параметры	Год		
	1994	2009	2017
$\alpha_{вх1}$, °	69	83	82
$\alpha_{вых2}$, °	78	75	79
α , °	147	158	161
λ_1 , м	2120	2190	2260
λ_2 , м	1630	1830	1910
y_{T1} , м	1210	1340	1350
y_{T2} , м	1120	1300	1440
S_1 , м	2500	2500	2500
S_2 , м	2650	3050	3200
S_1/λ_1	1,18	1,14	1,11
S_2/λ_2	1,62	1,67	1,68
C_α , град/год	-	0,73	0,61
C_S , м/год	-	27	24
C_b , м/год	-	14-22	6-12

Примечание: В таблице 1 обозначены: индексом 1 – вышерасположенная по течению излучина; индексом 2 – ниже расположенная по течению излучина.

В меандрирующих руслах рек русловыми образованиями являются отдельные излучины с перекатами и плесовыми лощинами. Поэтому анализ многолетних деформаций сводится к оценке сопоставленных и совмещенных планов различных лет съемок. Он позволил определить следующие особенности русловых переформирований участка р. Белая.

До 2009 г интенсивность русловых деформаций на участке была достаточно велика и заключалась в постепенном увеличении длин обеих нижних излучин реки в виде размыва береговой полосы верховой и низовой точек их перегиба со средней интенсивностью около 14-22 м/год. Такая незначительная интенсивность объясняется подпором Нижнекамского водохранилища, так как для полностью свободных меандрирующих рек интенсивность размыва составляет 30-100 м/год. Подпор указанного водохранилища сглаживает основные плановые деформации путем уменьшения скоростей течения и колебания уровней воды в течение года. Поэтому естественный процесс формирования излучин несколько затормаживается.

Однако несмотря на, казалось бы, благоприятный фактор наличия подпора Нижнекамского водохранилища, это не исключает ухудшение условий движения потока на рассматриваемом участке, а также и ухудшение условий судоходства. Развитие нижних излучин вызвано постепенным изменением углов входа и выхода из них в сторону увеличения общего угла разворота на 11° . При этом показатель развитости нижней по течению излучины продолжает расти, хоть и не так интенсивно, как в предыдущие годы, с 1,62 до 1,67 (таблица 1). Такие показатели характерны для относительно крутых излучин, готовых в естественных условиях развивать зоны будущих проранов. Однако из-за воздействия на реку подпора от Нижнекамского водохранилища показатель развитости излучины не достигает необходимой величины (более 2) и наблюдается процесс притормаживания. Таким образом, излучина в том виде, в котором существует на данный момент времени, будет только усугублять условия судоходства в будущем.

В период с 2009 до 2017 гг. интенсивность русловых деформаций уменьшается (рост излучин сокращается до 6-12 м/год), что говорит об угасании процесса роста искривления русла на устьевом участке. Динамики развития спрямляющей протоки на участке до 2009 года не наблюдалось. Однако уже к 2017 году возникают локальные зоны расширения глубинной эрозии у нижней точки второй по течению излучины и размыва оградительной дамбы между р. Белая и р. Кама, что подтверждает переход реки из типа свободного меандрирования к незавершенному.

При возможном повышении уровня НПУ в Нижнекамском водохранилище с 63,3 мБС на проектный уровень 64,0 мБС (на 70 см) или на какой-либо другой уровень, коренным образом ситуация с трудностями для судоходства, имеющимися в настоящее время на излучине, не улучшится. Развитие излучин при незавершенном меандрировании может быть легко приостановлено в результате внешних воздействий, например, путем создания новых спрямляющих трасс.

Список литературы:

1. Рекомендации по учету естественных циклических деформаций русел равнинных рек при строительном проектировании / Министерство энергетики и электрификации СССР/ Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1969 г.
2. Гришанин К.В. и др. Водные пути. – М.: Транспорт, 1986 г.

RIVER BED DEFORMATION FORECAST IN MEANDERING STREAMS OF RIVERS (on the example of the Belaya River)

Aleksandr N. Sitnov, Yulia E. Voronina, Marina V. Shestova

Annotation. The meandering channels of large navigable rivers have a significant effect on the conditions of navigation. A detailed description of the process of development of bends during meandering can be obtained by determining their main parameters. On the example of the estuary section of the river Belaya, located in the backwater of the Nizhnekamsk reservoir, the condition of the channel is estimated and channel deformations affecting shipping are forecasted.

Keywords: meandering, bend, strain prediction, meander meters