

О.В. Ларченко

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К РАСЧЕТУ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КАМСКОГО ГИДРОУЗЛА\***

Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15,  
hydrology@psu.ru

Рассмотрены особенности русловых деформаций, происходящих в нижних бьефах водохранилищ, на примере нижнего бьефа Камского гидроузла. В качестве основного метода оценки русловых деформаций использован гидроморфологический подход. Размеры деформаций за период 1983-2008 гг. определены путем анализа поперечного сечения, продольных профилей и планов. Результатом работ является карта русловых деформаций.

К л ю ч е в ы е с л о в а: плотина; русловые деформации; расчет.

Русловые переформирования оказывают влияние на деятельность ряда важных отраслей народного хозяйства. От них зависит во многом развитие судоходства, гидроэнергетики, устройство водозаборов; они учитываются при строительстве разнообразных сооружений на берегах рек (промышленных предприятий, жилищного массива, осушительных и оросительных систем и др.). Всё это определяет повышенный интерес к расчётам и прогнозам русловых деформаций [8].

Создание плотины Камской ГЭС привело к задержке твердого стока и перераспределению во времени стока воды, что обусловило изменение руслового процесса в нижнем бьефе гидроузла. Преобладающие в естественных условиях обратимые деформации русла, вызванные транзитным транспортом наносов, поступающих с площади водосбора, после возведения гидроузла сменились необратимыми деформациями. Создание водохранилища привело к тому, что практически все наносы осаждаются в нем, и в нижний бьеф вода поступает осветленной. В нижнем бьефе поток, транспортирующая способность которого оказывается недостаточной, начинает насыщаться за счет размыва примыкающего к гидроузлу участка нижнего бьефа. Этот участок превращается в зону

питания наносами, расположенную ниже близлежащего участка реки. В русле начинают развиваться необратимые деформации, в которых преобладает общий размыв. Объем размыва в русле реки может значительно превосходить объем твердого стока, соответствующий транспортирующим возможностям потока в естественном русле. Ниже сооружений поток откладывает большую часть наносов в виде переката, отметки гребня которого постепенно нарастают. По мере затухания процесса местного размыва за сооружениями рост переката замедляется, а его гребень смещается вниз по течению. В ряде случаев этот перекат создает временный подпор на сооружения гидроузла со стороны нижнего бьефа. Со временем подпор уменьшается, что обычно связано с постепенным смывом переката, передвижением вниз по течению зоны отложений и с общим понижением уровней нижнего бьефа.

Вследствие того что в пределах зоны общего размыва нижнего бьефа расход наносов остается меньшим по сравнению с транспортирующей способностью потока, происходит размыв зоны отложений. В результате поток оказывается полностью насыщенным наносами и вновь откладывает их ниже по течению. Таким образом, происходит перемещение зоны отложений вниз по течению.

Объектом исследования в представленной работе является нижний бьеф Камского гидроузла (рис .1). Здесь в качестве дополнительного фактора, оказывающего существенное влияние на русловые деформации, необходимо отметить карьерные разработки с целью добычи песка и гравийной смеси из русла для нужд строительного производства. Извлечение особенно крупных фракций грунта в зоне общего размыва не только приводит к местному понижению дна водотока, но также интенсифицирует

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 10-05-96052-р\_урал\_а)  
© Ларченко О.В., 2010

размыв дна выше и ниже карьера. Здесь ведется разработка месторождения ПГС «Гайвинское». Только за период с 2006 по 2008 г. было изъято около 30 000 м<sup>3</sup> грунта. Состав грунта рассматриваемого участка – песчано-гравийная смесь, крупность частиц от 0,15 мм (песок мелкий) до 15,0 мм (гравий крупный), минимальный диаметр частиц грунта 0,14 мм, содержание гравия 57% [1].

Неизбежным последствием разработки здесь русловых карьеров ПГС является посадка уровней воды, особенно в периоды малой водности реки (в межень). По величине посадки уровней можно косвенно судить об эрозии дна реки, хотя посадка уровней обычно больше, чем понижение отметок дна реки, так как ее величина зависит еще от степени изменения формы поперечного сечения русла. Глубинная эрозия способствует распространению посадки уровней вверх и вниз по течению.

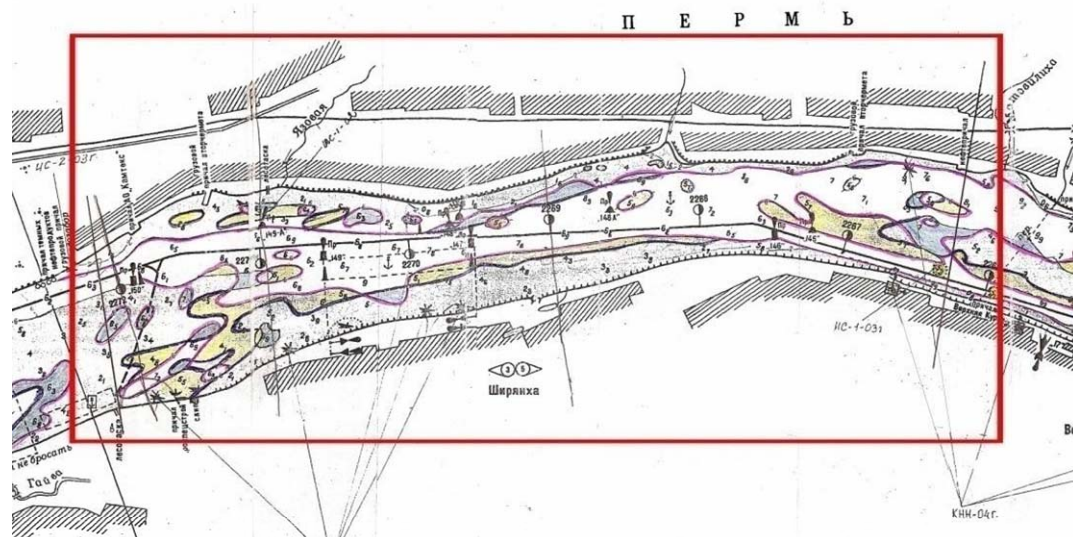


Рис. 1. Участок исследования – нижний бьеф Камского гидроузла

Еще одним следствием трансформации русла ниже гидроузла является изменение уровня река в его нижнем бьефе. Это изменение в створе нижнего бьефа характеризуется смещением кривых связи расходов и уровней: понижение кривых относительно проектных свидетельствует об эрозионных процессах, повышение – об аккумулятивных [3;4;5].

На рассматриваемом участке процессы аккумуляции сменяются процессами эрозии и наоборот (рис. 2). За период 1987-1992 гг. произошли значительные русловые переформирования (размыв). В большинстве случаев они происходят при расходе более 5000 м<sup>3</sup>/с. Согласно построенным зависимостям за период 1965-2002 гг. посадка уровня в нижнем бьефе Камской ГЭС составила 180 см.

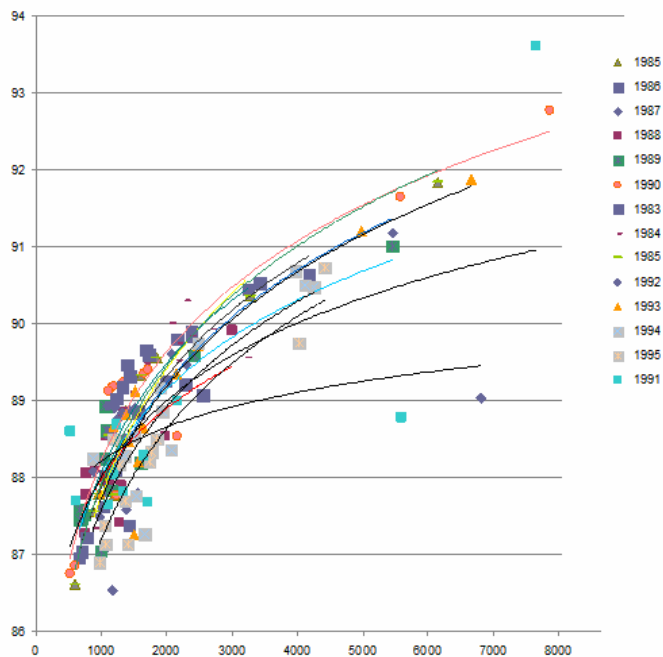


Рис.2. Кривые расходов и уровней воды за период 1983-1995 гг. (пост «нижний бьеф Камской ГЭС»)

В теории русловых процессов исторически сложилось два принципиально различных подхода к оценке русловых деформаций: гидродинамический и гидроморфологический. Первый из них основан на применении системы уравнений сохранения энергии (или количества движения) и массы для жидкого и твердого потоков к решению проблемы расчета русловых деформаций, а второй – на типизации морфологически однородных русловых форм и образований на основе крупномасштабных планово-высотных картографических и аэрофотосъемочных материалов и определении средних скоростей их перемещения, используемых при разработке фоновых прогнозов русловых процессов большой заблаговременности [2].

В 50-х гг. XX в. Н.Е. Кондратьев, применив принцип дискретности, выполнил анализ характера перемещения наносов в речных потоках и установил, что он подчинен различным закономерностям для соответствующих структурных уровней [6]. Именно введение принципа дискретности позволило научно обосновать пределы применения каждого из этих подходов. Действительно, на низших структурных уровнях, в частности на уровне перемещения отдельных частиц методом влечения и сальтации (или уровне перемещения микроформ), наиболее эффективным является применение гидродинамического метода. На структурных уровнях мезо- и макроформ эффективным является применение положений и методик гидроморфологического подхода к теории русловых процессов. В то же время оба подхода имеют существенные недостатки: недоучет особенностей морфологического строения русел и пойм – в гидродинамическом подходе, структуры и гидравлики потоков – в гидроморфологическом подходе [2;6;7;8].

Для расчета русловых деформаций нами применен гидроморфологический подход. Он позволяет определить размеры русловых деформаций путем анализа поперечного сечения, продольных профилей и планов (масштаб 1:10000 – 1:25000). Чтобы выполнить такой анализ, необходимо иметь карты русловых съемок за разные годы с изображением горизонталей (линий одинаковых отметок дна) и урезов русла. На планах должны быть изображены ориентиры – жестко закрепленные на местности точки, с помощью которых можно наложить карты друг на друга.

Для анализа динамики трансформации русла построены поперечные и продольные профили участка за период 1983-2007 гг. Для построения поперечных профилей предварительно было выбрано 2 контрольных створа: входной и выходной, а для построения продольных – оптимальное расстояние от берегов, чтобы линия профиля не пересекала судовую ход.

В результате анализа кривых связи расходов и уровней, а также построения поперечных профилей выявлены годы с наибольшими русловыми переформированиями: 1987 (аккумуляция), 1992 (размыв) (рис. 3).

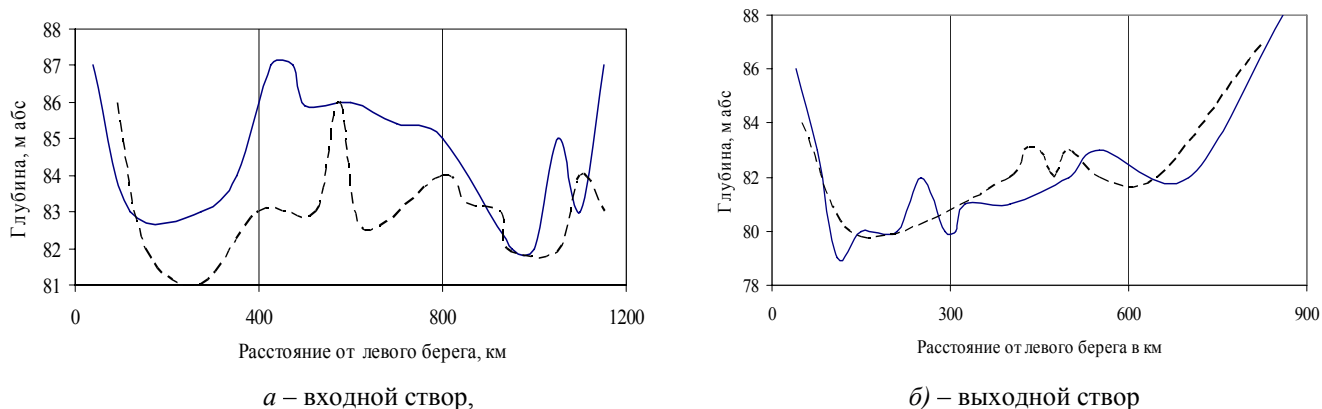


Рис. 3. Совмещенные поперечные профили русла

Продольный профиль речного русла испытывает наибольшие деформации при направленных (необратимых) русловых процессах. Характер и направленность деформаций продольного профиля зависит от изменения факторов, определяющих так называемый выработанный продольный профиль. Уклон в каждой точке такого профиля обусловлен тремя основными факторами: сток воды, характеризуемый средним многолетним расходом воды, среднее содержание в потоке наносов, средняя крупность наносов, лежащих на дне.

В нижнем бьефе Камской ГЭС (ниже плотины) в результате уменьшения расхода наносов (часть их отложилась в водохранилище) и некоторого повышения транспортирующей способности потока происходит размыв дна и понижение продольного профиля реки. Непосредственно вблизи плотины находится участок местного размыва, глубина которого иногда достигает десятков метров.

На более протяженном участке ниже плотины отмечается общий размыв, который по мере восстановления нагрузки потока наносами постепенно затухает вниз по течению. Длина участка общего размыва ниже плотин может достигать десятков и сотен километров.

Наибольшие русловые переформирования происходили в 1984 г. – аккумуляция наносов, в 1992 – эрозия (рис. 4). Величина изменения отметок дна за этот период приближалась к 3 м.

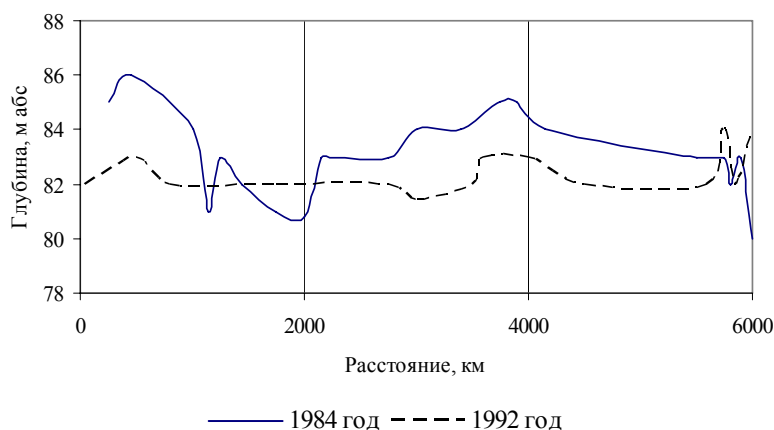


Рис. 4. Изменение продольного профиля участка нижнего бьефа Камского гидроузла в течение

Все упомянутые выше процессы вертикальных деформаций продольного профиля речного русла проявляются не только в изменениях отметок дна, но и в сопутствующих им изменениях уровней воды.

С целью совмещения карт русловых съемок в работе использованы геоинформационные системы: ArcGis 9,2; Arcview 3,2a; Easy Trace 7,8 pro; Mapinfo Professional 9,5. Для построения цифровой модели деформаций рельефа дна исследуемого участка Воткинского водохранилища исходными данными послужили карты русловых съемок масштабом 1:5000 за 1983, 1984, 1987, 1992, 1996, 2005, 2007 и 2008 гг. Все карты были перенесены в электронный формат и отвекторизованы по

точкам с измеренными глубинами. Затем были построены карты русловых деформаций за различные периоды. В качестве примера приведем карту русловых деформаций за период 1983 – 2008 гг. В районе месторождения ПГС «Гайвинское» наблюдается наибольший размыв дна – до 5 м. В районе причала «Вторчермет» – причал

«Нефтебазы» произошла аккумуляция наносов до 10 м (рис. 5). При этом максимальные деформации прослеживаются на всех картах на одних и тех же участках.

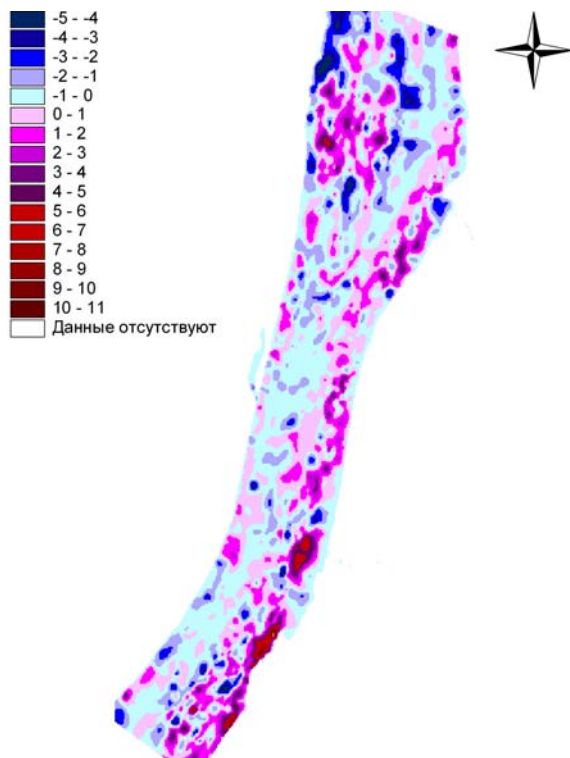


Рис. 5. Карта русловых деформаций участка нижнего бьефа Камского гидроузла за 1983-2008 гг.

Построенные карты позволили рассчитать объемы русловых деформаций в эти же периоды (таблица).

**Объем русловых деформаций исследуемого участка в нижнем бьефе Камского гидроузла**

Период	Объем, м <sup>3</sup>
1983-1984	-5619881,9
1984-1987	4023077,9
1987-1992	-20234929,4
1992-1996	3108784
1996-2005	11903405,9
2005-2007	275342,7
2007-2008	4129682,9
<b>За 1983-2008</b>	<b>-2414517,9</b>

Анализ промежуточных лет показал, что процессы эрозии чередуются с процессами аккумуляции. Но в целом за весь период с 1983 по 2008 г. наблюдается тенденция к размыву дна, что характерно для нижних бьефов гидроузлов. Объем русловых деформаций за эти годы составил 2414517,9 м<sup>3</sup>. Таким образом, чтобы проследить весь ход русловых переформирований, необходимо построение карт русловых деформаций не только за крайние года, но и за соседние по отношению к крайним годы.

Редкие русловые съемки не позволяют достаточно обоснованно судить о типе руслового процесса. Тем не менее в результате выполненных работ можно сделать следующие выводы: на рассматриваемом участке прослеживаются процессы эрозии и аккумуляции, сменяющие друг друга во времени и в пространстве, но в целом наблюдается процесс размыва дна, что характерно

для нижних бьефов гидроузлов; разработка месторождения ПГС «Гайвинское», по-видимому, усиливает процесс русловых переформирований, приводя к посадке уровней воды в нижнем бьефе.

#### **Библиографический список**

1. *Атлас* Единой глубоководной системы Европейской части РФ. 2000. Т.9, ч. I.
2. *Барышников Н.Б., Попов И.В.* Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
3. *Векслер А.Б., Доненберг В.М.* Опыт оценки трансформации русел рек в нижних бьефах гидроузлов // Изв. ВНИИГ. 1997. Т. 230. С. 102-115.
4. *Векслер А.Б., Доненберг В.М.* Трансформация русла р. Камы в нижнем бьефе Воткинского гидроузла // Материалы конф. И совещаний по гидротехнике: Гидравлика гидротехнических сооружений. СПб: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1993. С. 145-149.
5. *Векслер А.Б., Доненберг В.М., Мануйлов В.Л., Коротков Н.Н.* Некоторые аспекты расчета трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов // Тез. Докл. VI Всерос. гидрол. Съезда. Секция 6. Проблемы русловых процессов, эрозии и наносов. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. С. 60-62.
6. *Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
7. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Русловые процессы. М.: МГУ, 1986.
8. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство (гидролого-морфологическая теория руслового процесса и ее применение). Л.: Гидрометеиздат, 1965.

**O.V. Larchenko**

#### **APPLICATION OF HYDROMORPHOLOGICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF CHANNEL DEFORMATIONS IN TAIL-WATER OF KAMA HYDROUNIT**

In the article features of the channel deformations □arotids□ in tail-water of water basins, on an example Кама hydrounit are considered. As the basic method of an estimation channel deformations the hydromorphological approach is used. The sizes of deformations for the period 1983-2008 are certain by the analysis the priest-river of section, longitudinal structures and plans. Result of works is the card of the channel deformations.

**K e y w o r d s:** dam; channel deformations; calculation.