

Список литературы

1. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 428 с.
2. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 144 с.
3. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 312 с.
4. Клавен А. Б. Исследование структуры турбулентного потока // Тр. ГГИ. — 1966. — Вып. 136. — С. 65–76.
5. Клавен А. Б., Копалиани З. Д. Лабораторное исследование кинематической структуры турбулентного потока с сильно шероховатым дном // Тр. ГГИ. — 1973. — Вып. 209. — С. 67–90.
6. Клавен А. Б. Некоторые свойства крупномасштабной русловой турбулентности // Русловые процессы: тр. IV ВГС. — 1976. — Т. 10. — С. 252–259.
7. Клавен А. Б. Оценка характеристик турбулентности русловых потоков // Тр. ГГИ. — 1982. — Вып. 278. — С. 36–43.
8. Клавен А. Б. Структура потока и гидравлическое моделирование руслового процесса // Тр. V ВГС. — 1988. — Т. 10, кн. 2. — С. 216–225.
9. Клавен А. Б., Коковин В. Н. Опыт гидравлического моделирования донного рельефа // Тр. ГГИ. — 1990. — Вып. 337. — С. 109–123.
10. Клавен А. Б. К вопросу о механизме и формах движения русловых наносов // Тр. ГГИ. — 2002. — Вып. 361. — С. 184–195.

УДК 551.482.212

К. М. Беркович,
д-р географ. наук, ст. науч. сотр.,
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

НАПРАВЛЕННЫЕ АНТРОПОГЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ РАВНИННЫХ РЕК

DIRECTIONAL ANTHROPOGENIC CHANNEL DEFORMATIONS OF LOWLAND RIVERS

Разработка русловых карьеров приводит к врезанию русла. На основании региональной зависимости расхода взвешенных руслообразующих наносов от расхода воды для участка р. Белая — г. Уфа рассчитан общий сток наносов, который необходим для формирования и восстановления руслового рельефа. Понижение отметок дна рассчитано как функция объема добычи, которая может быть оценена с учетом приемлемого по экологическим или экономическим признакам понижения отметок дна и уровня воды.

Development of channel pits leads to channel cutting. For the plot of the White River in Ufa the total runoff of sediment, which is required for the formation and recovery of the channel topography is calculated. It is based on the regional relationship between bed-forming suspended sediment and water discharge. Decrease the bottom elevations calculated as a function of volume of extraction, which can be assessed taking into account of acceptable environmental or economic criterions of the water level marks and the bottom decrease.

Ключевые слова: деформации, карьеры, река, русло, поток, морфология, эрозия, руслообразующие наносы.

Key words: deformations, quarries, river, channel, stream, morphology, erosion, bed-formation sediments.

НАПРАВЛЕННЫЕ деформации русел — систематическое врезание или отложение наносов, которые трансформируют весь продольный профиль и морфологические характеристики русла. В настоящее время они развиваются под влиянием хозяйственной деятельности человека. Наибольшее влияние на развитие направленных деформаций русла, преимущественно вертикальных, оказывают разработка русловых карьеров и создание водохранилищ.

С точки зрения гидрологии и геоморфологии река — динамическая флювиальная система, которая транспортирует воду и наносы, размывает горные породы, образует новые отложения. За историю своего развития реки неоднократно меняли долины и русла. Колебания климата, тектонические движения земной коры обеспечивали формирование глубоких долин на этапах врезания и заполнения аллювием при аккумуляции, а также их расширение в ходе боковой эрозии. Направленные деформации определяются длительным дисбалансом транспорта наносов и на равнинных реках развиваются в геологическом масштабе времени. Направленные деформации русла реки определяются несколькими факторами: поступлением наносов с водосбора и из притоков, морфометрическими характеристиками русла (глубиной, шириной, уклоном), расходом воды и скоростью течения. Для русел большинства равнинных рек, сформировавшихся в относительно стабильных климатических и тектонических условиях нескольких последних тысячелетий, не характерны естественные направленные деформации.

В последние два-три столетия условия формирования речных русел во многих регионах значительно изменились. Это явилось следствием хозяйственной деятельности человека. Наиболее заметные последствия вызывает инженерное вмешательство в рельеф речного русла посредством сооружения плотин и других сооружений, выполнения земляных работ, так как при этом нарушается геолого-геоморфологическая основа природной системы. Поток реагирует на такие нарушения изменением скорости течения и транспортирующей способности. В результате возникают интенсивные направленные деформации.

Деформации русла определяются характеристиками стока воды и наносов, а также крупностью донных отложений. Наибольшее влияние на развитие направленных деформаций русла, преимущественно вертикальных, оказывают разработка русловых карьеров и создание водохранилищ.

Разработка русловых карьеров приводит к радикальным изменениям в морфологии русла. Типичные карьеры оставляют после себя выемки глубиной 6–10 м, которые занимают часть, а иногда и всю ширину русла. Объем работ ограничивается доступностью материала нужного размера и редко регламентируется с точки зрения стока наносов и русловых процессов. Характерно, что нередко добываемый крупный материал в некоторых местах является частью древних отложений и не восполняется, если он не может транспортироваться рекой в современных гидрологических условиях.

Разработка карьера способствует врезанию реки как выше, так и ниже по течению. Верхняя кромка карьера размывается вследствие формирования кривой спада, донный материал выносится и отлагается в выемке. Благодаря этому процессу (эрозии и аккумуляции) происходит миграция понижения дна вверх по течению. Понижение отметки дна реки во времени выше карьеров на верхней Оке и нижней Белой в последние 40 лет происходило линейно и составило 0,7 и 1,5 м. На верхней Оке прослеживается достаточно четкая зависимость понижения отметки дна и расстояния от верхней кромки карьера:

$$\Delta z = 0,0014x - 2,5.$$

Эрозия, сопровождающая разработку карьеров, подтверждается анализом деформаций русла р. Оки ниже Кузьминского гидроузла. В 1973–1993 гг. увеличение объема русла на участке длиной 100 км было больше объема добычи на величину, соответствующую слою эрозии до 40 см.

Врезание ограничивается наличием в составе донных отложений крупнообломочного материала или близким к поверхности залеганием скальной постели аллювия. В этом случае продольный профиль реки в результате врезания приобретает ступенчатые очертания. Подобное явление наблюдается на верхней Оке и на нижней Томи. В первом слу-

чае ступени формируются на перекатах, сложенных крупным материалом. На Томи в ходе врезания обнажился скальный порог.

Направленные деформации могут быть выявлены по понижению уровня воды при одном и том же расходе или непосредственным сравнением разновременных съемок русла. Так, на Оке снижение меженных уровней проявилось за 55 лет на всем участке от Калуги до Рязани. Сравнение съемок показало, что понижение отметок дна на участке верхней Оки от Серпухова до Коломны с 1949 по 1992 г. составило в среднем 1,3 м. Дно р. Белой на участке длиной 140 км ниже Уфы за 1979–1995 гг. понизилось на 0,9 м. В эту величину входит, очевидно, как разработка карьеров, так и врезание.

Деформации русла определяются следующим соотношением:

$$\Delta W = W_{\text{вх}} - W_{\text{вых}} + W_{\text{д}} - W_{\text{к}},$$

где $W_{\text{вх}}$ — расход наносов на входе на участок, $W_{\text{вых}}$ — расход наносов на выходе, $W_{\text{д}}$ — добавление наносов (из притоков, от размыва берегов и т. п.), $W_{\text{к}}$ — потеря наносов за счет разработки карьеров. Там, где входной и выходной

расходы примерно равны, дополнительные потери за счет добычи соответствуют понижению отметок дна.

Для оценки баланса наносов на участке следует учитывать руслообразующие наносы. Наиболее крупные из состава руслообразующих переносятся в форме влекомых наносов, как правило, в составе донных гряд. Часть руслообразующих наносов переносится в составе взвешенных наносов, перемещаясь от одной крупной русловой формы к другой. Определение стока руслообразующих наносов производится с учетом повторяемости расходов воды. Вместе с тем если из карьеров удаляются частицы, которые поток не может переносить ни при каких условиях, то такие частицы исчезают из донных отложений. Такие условия характерны для нижних течений Томи и Белой, из русла которых извлекали плейстоценовый аллювий большой крупности, который не может переноситься современными потоками этих рек.

Анализ данных сетевых наблюдений на р. Белой в Уфе позволил выявить следующую зависимость расхода взвешенных руслообра-

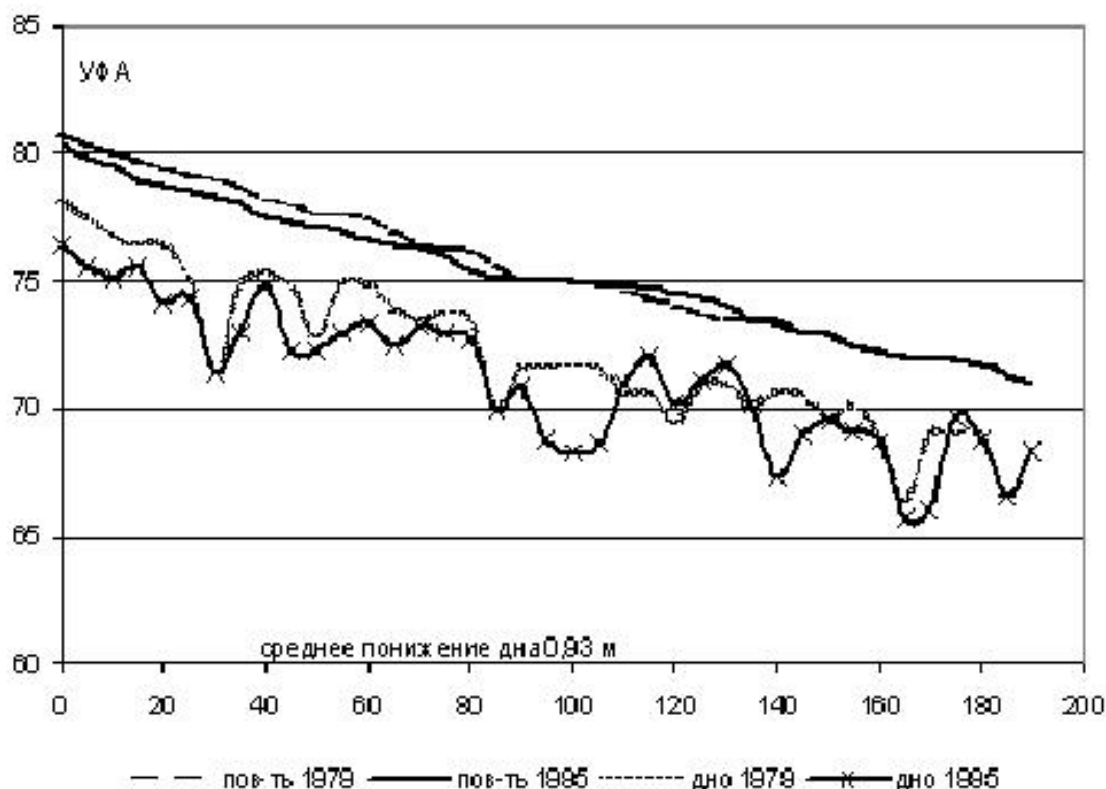


Рис. 1. Изменение русла р. Белой

зующих наносов (R_p) от расхода воды:

$$R_p = 1,6Q^{1,5}.$$

Были выполнены также измерения параметров гряд на участках детальны́х полевых работ и определен расход влекомых наносов.

Анализ гранулометрического состава проб руслообразующих наносов и донных отложений р. Белой показал, что к руслообразующим относятся наносы, частицы которых крупнее 0,1 мм. Суммарный годовой сток руслообразующих взвешенных наносов составляет 140 тыс. т, что соответствует 6,5–7,0 % от полного стока взвешенных наносов. В период половодья доля руслообразующих наносов может достигать 30 % от стока взвешенных. Годовой сток влекомых наносов, перемещаемых в форме гряд, составляет в среднем 230 тыс. т. Общий сток наносов, который может участвовать в формировании и восста-

новлении руслового рельефа, составляет для нижней Белой 370 тыс. т.

В 1979–1994 гг. из русла на участке длиной 140 км и средней шириной 300 м было добыто 50 270 тыс. м³ песчано-гравийного материала, в среднем 3350 тыс. м³ в год. За этот период сток руслообразующих наносов (вход) составил 3590 тыс. м³ (7 % добычи). Таким образом, убыль материала составила 46 680 тыс. м³, что соответствует среднему слою 1,1 м (46 680:140:300). Полученная величина близко совпадает с данными непосредственных измерений (рис. 1), а это означает, что восстановления руслового рельефа не происходило. Понижение отметок дна можно рассчитать как функцию объема добычи. Предлагая приемлемое по экологическим или экономическим признакам понижение отметок дна (и уровня), можно оценить допустимый объем добычи.

УДК 556.5.072

В. К. Дебольский,

д-р техн. наук, профессор,
Институт водных проблем РАН
(Москва);

Е. И. Дебольская,

д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Институт водных проблем РАН
(Москва);

О. Я. Масликова,

канд. техн. наук,
Институт водных проблем РАН
(Москва)

МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ ДНА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОУЗЛА С УЧЕТОМ ЛЕДОВЫХ ЗАТРУДНЕНИЙ

THE MODEL OF BED DEFORMATION IN THE LOWER POOL OF THE POWER PLANT UNIT TAKING INTO ACCOUNT OF ICE DIFFICULTIES

Предлагается двухмерная продольно-поперечная модель деформаций русел в условиях ледовых затруднений на широких реках с криволинейными участками с учетом прохождения паводочных и попусковых волн и возможности формирования ледовых заторов.

The longitudinal-transverse model of channel deformations in condition of ice difficulties is on wide rivers with curvilinear reaches is proposed. It's considered of flood and downstream flow waves passing and of the ice jam forming.

Ключевые слова: заторы, деформации, река, русло, бьефы гидроузлов, моделирование, руслоформирование.

Key words: jams, deformations, river, channel, hydrosystems pools, modeling, bed formation.