

А.Ю. Сидорчук, Р.С. Чалов



Об интенсивных направленных вертикальных деформациях
русла горной реки (на примере р. Ала-Буки, Киргизия)

Вертикальные русловые деформации принято разделять на периодические и направленные, местные и общие [II]. Им посвящена обширная научная литература, выпущены рекомендации по их расчету и регулированию в связи со значительными изменениями руслового режима рек из-за гидротехнических сооружений (например, в нижних бьефах гидроузлов [2, 3]) или при существенном искусственном уменьшении длины при мелиоративном строительстве в речных долинах [I]. В естественных условиях при хозяйственном использовании рек обычно учитываются лишь периодические деформации – повышение или понижение отметок дна в ходе развития излучин, активизации одних и отмирания других рукавов, переформирований перекатов [4, 6, 7]. Направленные вертикальные деформации речных русел в естественных условиях изучаются в основном геологами и геоморфологами при анализе длительной (в масштабах геологических отрезков времени) истории развития речных долин. При этом даже для горных рек скорости врезания оцениваются не более 0,5–1 мм/год [5, 10]. При таких скоростях изменения отметок дна речных русел за период действия гидротехнических и инженерных сооружений даже I класса (>100 лет) врезание дна не окажет сколько-нибудь заметного влияния на их функционирование.

Однако подобную ситуацию нельзя назвать общей. В 70-х годах проектировались серии водозаборных станций на р. Ала-Буке для орошения сельскохозяйственных угодий на террасах в ее долине. На участках водозаборов река формирует врезанные излучины с побочными и отдельными осередками. При обосновании прогноза русловых деформаций в проекте за основу была принята классификация ГТИ, в соответствии с которой для реки был определен побочный тип руслового процесса, при котором рекомендуется определять размах деформаций дна как разность отметок поверхностей побочной и днищ плесов на данном участке, направленные изменения отметок дна и размыв берегов при этом считаются несущественными [8, 9]. Однако практика эксплуатации водозаборов показала, что заложенные в про-

екте, исходя из этого метода, минимальные отметки дна оказались существенно завышенными: после сооружения в 1980 г. Джергитальской насосной станции в 40 км от устья р. Ала-Буки за период 1983 - 1987 гг. отметки дна понизились на 2 м и головное сооружение водозабора обсохло¹. Для поддержания работы насосной станции и обеспечения поливных земель водой пришлось дважды переносить головное сооружение водозабора вверх по реке, что привело к значительному увеличению эксплуатационных расходов и стоимости сельскохозяйственной продукции. Потребовалось специальное изучение причин этого явления.

Река Ала-Бука (левый приток р. Нарына) имеет длину 180 км, площадь водосбора 5820 км². Средний годовой сток воды на водомерном посту Кош-Тобе (54 км от устья, площадь водосбора 3710 км²) составил за период 1959-1980 гг. 903 млн м³, сток взвешенных наносов 2,2 млн т. Максимальный расход воды 280 м³/с, наносов - 1500 кг/с, максимальная мутность воды 56 кг/м³. Верхняя часть водосбора (2600 км²) расположена в пределах Арпинской котловины, где формируется около 70 % стока воды и 20 % стока наносов реки. Затем Ала-Бука в узком и глубоком каньоне пересекает хребет Джаман-Тоо и на нижнем участке длиной 85 км протекает по Средненарынской впадине. Среднегодовой расход увеличился на этом протяжении в 1,5 раза - от 23,8 м³/с в 83 км от устья до 36,3 м³/с в устье реки. В то же время сток наносов, по приближенным оценкам, увеличивается более чем в 3,5 раза. Мутность воды на подъеме уровней во время паводка 12-20 VI 1988 г. по длине русла от отметки 58,5 км до устья увеличивалась в 2,5 раза (см. таблицу). По данным отдела гидрологии Киргизгипроводхоза, 20.IV.1988 г. на участке реки от 58,5 до 39 км концентрация растворенных веществ увеличилась в 2,1 раза (с 308 до 633 мг/л) за счет роста содержания хлоридов и сульфатов К, Na, Mg, Ca. Это свидетельствует об интенсивных эрозионных процессах в долине нижнего течения реки.

Изменение мутности воды (кг/м³) по длине р. Ала-Буки во время паводка 12-20 VI 1988 г.

Дата	Расстояние от устья, км			
	58,5	35	23	0
12.VI	2,29	-	4,74	5,88
14.VI	4,18	6,21	-	-
16.VI	4,86	-	9,59	-
18.VI	4,57	-	9,01	-
20.VI	5,88	-	11,56	-

¹По данным отдела гидрологии Киргизгипроводхоза, любезно предоставленным Ю.С. Яктманским и Н.А. Шнейдер.

Средний уклон современного русла Ала-Буки ниже устья р. Пычан (73 км) составляет 7,5 ‰. Продольный профиль вогнутый в верхней части этого участка и выпуклый в нижней; в средней части уклон наименьший (6-7 ‰), в начале и конце (перед впадением в Нарын) — наибольший (9-11 ‰).

По морфологии русло Ала-Буки можно разбить на три участка: выше 45 км — врезанные излучины; 46-27 км — пологоизвилистое врезанное русло с прямолинейными вставками; ниже 27 км — прямолинейное врезанное русло. На верхнем участке до 55 км врезанные излучины пологие, обычно приурочены к устьям притоков, поставляющих в русло аллювиальный материал. Побочни низкие, небольших размеров, располагаются обычно непосредственно ниже впадения притоков. Ниже 55 км врезанные излучины становятся крутыми, формируются не только в устьях притоков, но и вне областей их влияния. В русле появляются хорошо выраженные побочни у выпуклых берегов излучин, в основном в нижних их крыльях, в расширениях русла — отдельные осередки. Последние обычно приурочены к вершинам излучин, располагаясь непосредственно перед ними в зонах подпора, возникающих при набегании потока на вогнутые берега. Пойма представлена фрагментарно в виде узких полос (до 10-20 м) вдоль русла в нижних крыльях излучин у их выпуклых берегов. Ширина меженного русла на верхнем участке 25-30 м, паводочного — 30-40 м.

На среднем участке форма русла менее правильная, изгибы часто крутые, коленообразные, резко переходят в протяженные прямые или пологоизвилистые отрезки. В пределах последних побочни располагаются в шахматном порядке. Часты одиночные осередки. На излучинах и пологих изгибах русла побочни и осередки закреплены возле их вершин, на прямолинейных отрезках медленно смещаются вниз по течению. Пойма становится более выраженной, хотя еще занимает малую часть ширины долины. Ширина меженного русла 30-50 м, в паводки достигает 60-80 м.

На нижнем участке р. Ала-Буки сформировалось широкое (до 250 - 300 м) разветвленное русло с многочисленными осередками; в бровках поймы и уступах террас очертания русла в плане прямолинейны. Осередки и островки объединяются в массивы, разделяющие русло реки на два-три основных рукава шириной 30-60 м и многочисленные протоки шириной 2-10 м. На их основе при отмирании рукавов и проток образуется широкая (до 0,5 км) ложбинно-островная пойма.

Аллювий в русле р. Ала-Буки валунно-галечный. На верхнем участке русла средневременный диаметр донных наносов составляет 60-80 мм, сортированность 3,3-5,7. На среднем участке крупность аллювия увеличивается до 100-140 мм, а сортированность составляет 4,3-6,0. На нижнем крупность наносов уменьшается и в устье составляет 50-80 мм, сортированность до 1,7-2,9. Мощность аллювия в русле на верхнем и среднем участках не превышает 1,5-2 м, что

меньше глубины плесовых ложиц. В русле части выходы коренных пород, пойма и даже побочки часто цокольные. На нижнем участке выходы коренных пород в русле становятся более редкими.

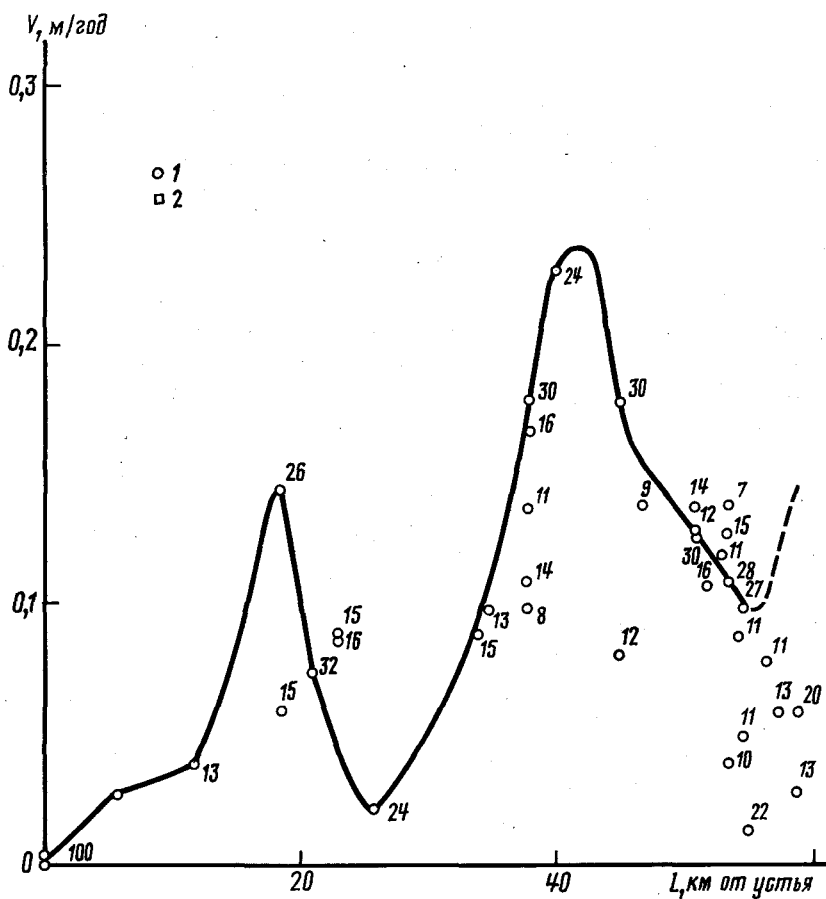
Русло р. Ала-Буки на участке ниже устья р. Пычан врезано в легкоразмываемые слабо сцементированные третичные озерные алевриты. Современная долина представляет собой узкий (0,6–1,2 км) и глубокий (50–100 м) каньон с отвесными, подмываемыми рекой бортами. Глубина вреза достигает максимума на верхнем участке долины, ширина дна долины – на нижнем. На верхнем и особенно среднем участках выделяется большое количество террас – от 8 до 15 на поперечном профиле. Террасы цокольные, мощность аллювия не превосходит 1,5–2 м. Относительная высота их по длине русла не выдержана, уровни появляются и исчезают, расщепляются на два-три и снова сходятся. Это типичные террасы врезания. Уровень поймы также не выдержан по относительной высоте; в пределах одного массива (фрагмента) он может без уступа оказаться выше уровня максимального паводка, т.е. стать незатопляемым и перейти в террасу. На пойме и на террасах, вплоть до X, XI, хорошо сохранился первичный русловой рельеф – гривы, ложбины, осередки. В тыловых частях террас он перекрыт делювиальным шлейфом алевритов мощностью 0,5–1 м, тем более мощным, чем древнее терраса. Многие ложбины имеют дно, лишенное аллювиального покрова.

Врезанное русло, ступенчатость поймы, наличие лестницы эрозивных террас свидетельствуют о направленных вертикальных деформациях русла – о врезании реки, а свежесть первичного рельефа – о большой его интенсивности. Для количественной оценки скорости врезания были применены картографический и дендрохронологический методы. Картографический метод оказался применимым в области широкого развития поймы на нижнем участке реки. На местности идентифицировались фрагменты высокой поймы, показанной на картах издания 1973 г. (масштаба 1:25 000) как русловые отмели. Нивелировкой определялось относительное превышение над современными побочными поверхностями валунной отмостки на пойме. Возраст поймы уточнялся дендрохронологическим методом.

Для определения возраста поймы и террас дендрохронологическим методом выбирались растения-пионеры, которые поселяются на прирусловых отмелях еще в период их регулярного затопления во время паводков. В долине Ала-Буки это белый тополь, ива, тамариск, облепиха. Применение метода позволило (более 40 определений) датировать поверхности поймы и террас на протяжении 60-километрового участка Ала-Буки от устья до места впадения ручья Сасык-Сай. Возраст деревьев изменялся от 6–7 до 100 лет, относительные высоты поверхностей поймы и низких террас (кровли валунной отмостки) – от 0,1 до 5 м над современными побочными. Возможности метода ограничиваются естественной гибелью старых деревьев на высоких по-

верхностях и вырубкой тугайных лесов на топливо. Поэтому анализировались изменения максимального возраста деревьев от современных отmelей вверх по лестнице террас; отбор образцов прекращался при полной смене первичной растительности более молодой порослью.

Современные (средние за последние 10–30 лет) скорости врезания р. Ала-Буки неравномерно изменяются по длине реки (см. рисунок). В узле слияния Ала-Буки с Нарыном врезание происходит со скоростью 0,4–0,9 см/год, что в общем соответствует общепринятым представлениям о глубинной эрозии (врезании) горных рек. Вверх по реке (в районе 18–20 км) они увеличиваются до 14–15 см/год. Далее скорость врезания уменьшается, и в 26–28 км от устья она состав-



Изменение скорости врезания русла р. Ала-Буки (V , м/год) по ее длине и по данным дендрохронологических исследований поймы и террас (1) повторного нивелирования русла по закрепленным поперечникам (2). Цифры около точек означают период осреднения для скорости врезания.

яляет 12 см/год. Выше по течению вновь фиксируется значительное увеличение скоростей врезания реки; они достигают максимума (22 - 26 см/год) в районе 37-40 км от устья. В зоне водозабора (42 км) инструментально за период 1983-1987 гг. определена скорость врезания реки 32 см/год. Уже на участке 45-55 км скорости врезания существенно меньше - они изменяются здесь в диапазоне 10-15 см/год. Выше 55 км современные скорости врезания уменьшаются до 3-8 см/год на отдельных участках (56,3 км) они составили за последние 20 лет 1,4 см/год. Подобное распределение скоростей врезания реки хорошо совпадает с изменениями уклонов водной поверхности и связано с литологией слагающих русло пород. Нижний максимум приурочен к области увеличения уклонов в низовьях реки. Средний максимум связан с локальным увеличением уклонов свободной поверхности реки в области относительно частых выходов на берегах и в русле тонких пластов более прочных известняков и песчаников. Эти пласты создают местные недолговременные базисы эрозии, часто в виде порогов в русле, ниже которых существенно увеличиваются уклоны свободной поверхности и скорости врезания русла. Именно на таком порожищем участке был построен Джергитальский водозабор. Естественный размыв порогов приводит к местному резкому понижению отметок водной поверхности, создавая впечатление катастрофического проявления врезания реки. Инструментально зафиксированный максимум скорости врезания в зоне водозабора превышает даже высокий фон общего врезания реки. Это происходит, видимо, также вследствие изменения гидравлических характеристик паводочного потока из-за стеснения русла реки при производстве земляных работ.

Малые скорости врезания реки на верхнем участке объясняются наличием здесь местного базиса эрозии. Этот базис в настоящее время интенсивно разрушается, вызывая прохождение локальной волны регрессивной эрозии. Этим процессом уже разрушен мост через Ала-

Буку, где за период с начала 50-х годов (устное сообщение главного инженера проекта Киргизгипроводхоза А.В. Филончикова) река врезалась на 6-9 м. Таким образом, на участке 56-59 км от устья Ала-Буки следует ожидать заметного увеличения скоростей врезания реки. Предварительные оценки возраста высоких террас показывают, что средняя (за 60-70 лет) скорость врезания на этом участке составляла 18 см/год.

Расчет последующего изменения отметок дна русла Ала-Буки был проведен с помощью математической модели развития продольного профиля реки PROPRO. Она базируется на уравнении деформации

$$\partial z / \partial t = - \partial q_s / \partial x, \quad (1)$$

где Z - отметка дна русла; q_s - удельный объемный расход руслообразующих наносов; t и x - временная и продольная координаты. На основе измерений на водпосте Кош-Тобе в 1962-1978 гг. с привлечением дан-

ных таблицы получена эмпирическая формула для расчета удельного расхода наносов Ала-Буки, поставляемых размывом берегов и дна реки, сложенных неогеновыми алевритами:

$$q_s = -kq^2 x \frac{\partial z}{\partial x} \quad (2)$$

где q — удельный расход воды; x — расстояние до данной точки от выхода из каньона через хребет Джаман-Тоо. Тогда изменение отметок дна русла Ала-Буки во времени и по длине опишется уравнением типа уравнения диффузии

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} a^2 \frac{\partial z}{\partial x} \quad (3)$$

с переменным коэффициентом $a^2 = kq^2 x$

Уравнение (3) решено методом прогонки. В качестве граничных выбраны условия $\partial z / \partial t (0, t) = 0$ в створе выхода реки из каньона, пересекающего хребет Джаман-Тоо, и $\partial z / \partial t (L, t) = 0$ в устье Ала-Буки. Начальными были отметки современного продольного профиля русла реки. Для оптимизации параметра k в формуле (2) проводилась минимизация квадратов разностей, рассчитанных и измеренных скоростей врезания реки за период осреднения 30 лет, его величина составила 0,006. Результаты расчетов показывают, что в ближайшие 50–100 лет существенного смещения по длине реки зон интенсивного врезания не произойдет. Темпы врезания со временем будут уменьшаться. По мере дальнейшего развития продольного профиля и сглаживания местных его перегибов постепенно сближаются максимумы интенсивности размыва и образуется один максимум скорости размыва в районе 30–40 км.

Сведения о горизонтальных деформациях русла Ала-Буки в настоящее время ограничены. Наиболее крутые врезанные излучины развиваются со скоростью 1–3 м/год, в области разветвленного русла смещение массива осередков на полную длину (500–600 м) происходит за 10–15 лет. Локальные инструментально зафиксированные скорости размыва берегов в зоне строительства водозаборов достигают 10–20 м/год, но они вероятно, искусственно стимулированы.

Большое значение имеет соотношение горизонтальных и вертикальных деформаций русла Ала-Буки. Изменение типов русла по длине долины показывает, что зонам ускоренного врезания соответствует узкое врезанное русло, зонам относительной стабилизации врезания — широкое распластанное со свободным развитием русловых деформаций.

Таким образом, в условиях сочетания горного рельефа с активным восходящим развитием, высокой эрозионной способности потока и большой эродированности слагающих долину реки пород скорости направленных русловых деформаций (врезание) приближаются по величине к скоростям горизонтальных смещений русла (размывам берегов).

Морфологическими признаками подобной ситуации служат врезанность русла, ступенчатость и цокольность поймы, многочисленность низких

террас и хорошая сохранность на них первичного руслового рельефа. При наличии этих признаков в долинах рек, в руслах которых предполагается сооружение хозяйственных объектов, необходимы тщательные изыскательские и научные проработки возможности катастрофических (для функционирования хозяйственных объектов) скоростей направленных деформаций.

Л и т е р а т у р а

1. А ф р е м о в Д. Н. Антропогенные влияния на формирование продольного профиля р. Днестра // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1969. № 3. С. 39-43.
2. В е к с л е р А. Б., Д о н е н б е р г В. М. Переформирование русла в нижних бьефах крупных гидроэлектростанций. М.: Энергоиздат, 1983. 214 с.
3. Л а п ш е н к о в В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 180 с.
4. М а к к а в е е в Н. И., Ч а л о в Р. С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
5. Н и к о н о в А. А. Определение скорости врезания рек // Геоморфология. 1973. № 1. С. 24-35
6. П о п о в И. В. Деформация речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 328 с.
7. Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. 196 с.
8. Рекомендации по учету русловых деформаций при проектировании переходов магистральных трубопроводов через равнинные реки с естественным режимом. М.: ОНТИ, 1967. 70 с.
9. Рекомендации по учету руслового процесса при проектировании ЛЭП. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 179 с.
10. Ч а л о в Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
11. Ч а л о в Р. С. Главные виды русловых деформаций, формы их проявления и особенности соотношений в различных природных условиях // Докл. секции русловых процессов Научного совета "Комплексное использование и охрана водных ресурсов". Л.: Гидрометеиздат, 1986. Вып. I. С. 100-113.