

УДК 551.482.212.1 (282.255.1)

Н. И. МАККАВЕЕВ, К. М. БЕРКОВИЧ, Р. С. ЧАЛОВ

**ОПЫТ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ РЕЛЬЕФА РУСЛА
НЕУСТОЙЧИВОЙ РЕКИ**

(на примере верхней Амударьи)

В статье обосновывается возможность прогнозирования переформирований русел неустойчивых рек, что очень важно при решении различных народнохозяйственных проблем, связанных с освоением берегов рек и сооружением самотечных каналов в легкоразмываемых грунтах. Кроме того, рассматриваются некоторые методические вопросы изучения русловых процессов на реках с неустойчивым разветвленным руслом.

Разработка прогноза русловых деформаций — задача, имеющая огромное значение как при использовании естественных рек, так и при искусственном изменении их режима. Особенно важно учитывать закономерности русловых процессов при сооружении крупных самотечных каналов, русла которых подвергаются значительным деформациям, при переброске стока, а также при борьбе с размывами берегов. Однако вопросы прогнозирования русловых деформаций, особенностей проявления и определения темпов и сроков переформирования русла разработаны еще довольно слабо, хотя от правильности прогноза зависит выявление типа деформаций, которым могут подвергаться ложа каналов, не имеющих прочных креплений, выбор ведущего метода регулирования русла (в частности борьба с размывами берегов, определение местоположения водозаборных сооружений и т. д.). В этой связи особенный интерес представляет изучение русловых процессов на равнинных реках Средней Азии, отличающихся наиболее активными переформированиями, имеющих неустойчивые русла и до сих пор остающихся наименее исследованными с точки зрения их руслового режима. Необходимость изучения неустойчивых рек подчеркивается огромными затратами, которые приходится нести при эксплуатации Каракумского канала (Аннаев, 1963) — большой искусственной реки, русло которой имеет такие же условия формирования, что и Амударья.

Амударья отличается малой устойчивостью русла и очень большой величиной стока наносов. Это обуславливает своеобразие русловых деформаций, интенсивность развития которых столь велика, что в литературе получило широкое распространение мнение о беспорядочности деформаций русла этой реки, совершенно непохожих на деформации других рек, а следовательно, и о невозможности их прогнозирования.

Исследования, проведенные Проблемной лабораторией эрозии почв и русловых процессов МГУ на участке верхнего течения равнинной части Амударьи в 1966—1970 гг., позволили установить (Беркович, Лодина, Чалов, 1973), что переформирования ее русла подчиняются общим закономерностям деформаций речных русел. Их основными особенностями являются образование и развитие излучин, разветвление русла на системы сопряженных рукавов, смещение крупных подвижных скоплений наносов, образующих основные формы руслового рельефа.

фа, которые при своем движении вызывают перераспределение стока между рукавами и, отклоняя течение, стимулируют размывы берегов. Поэтому прогноз русловых деформаций такой реки не только возможен, но и может обеспечить заблаговременное (профилактическое) выполнение мероприятий по предотвращению неблагоприятных переформирований.

Для обоснования прогноза русловых деформаций большое значение имеет анализ общих условий формирования русла. Одним из важных факторов, специфичных для Амударьи, является уменьшение вниз по течению объема наносов в результате их аккумуляции, что вызывает систематическое повышение дна русла. Так, в районе Термеза объем годового стока взвешенных наносов в средний по водности год равен 478 млн. т (Беркович, Лодина, Чалов, 1973), ниже по течению, по данным Н. А. Цветковой (1963), он составляет у в/п Керки — 246,5 млн. т, в/п Ильчик — 210,9 млн. т, в/п Чатлы — 133,5 млн. т. Средняя мощность слоя аккумуляции на отрезке Керки — Ильчик — 3,4 см/год. На участках, где осуществляется водозабор, накопление наносов происходит еще более интенсивно (Тузов, 1965).

Вторым важным фактором, обуславливающим своеобразие русловых деформаций Амударьи, является малая устойчивость русла, которая определяется соотношением кинетической энергии потока и крупности аллювия, слагающего русло. Уклоны реки в районе Термеза колеблются от 0,00040 в половодье до 0,00020 в межень, скорости течения в половодье достигают 4 м/сек, при этом поток на отдельных участках приобретает бурный характер (число Фруда более единицы). В то же время в составе донных грунтов преобладают мелкозернистые пески, в которых основная фракция (0,25—0,10 мм) составляет 85% общего состава (Лодина, Чалов, 1971). Благодаря этому число Лохтина, характеризующее устойчивость русла, колеблется от 0,8 до 1,2. Такие же данные были получены С. Т. Алтуниным (1962).

Третий фактор, влияющий на общие особенности руслового режима, — величина и обеспеченность руслоформирующих расходов. Он позволяет определить, какая фаза в годовом цикле режима стока реки оказывает наибольшее влияние на русловые деформации. Определение руслоформирующих расходов, выполненное по кривой связи $Q_{\phi} = f(\sigma Q^m P I)^k$ в соответствии с методикой Н. И. Маккавеева (1955), показало, что интенсивные изменения рельефа русла совершаются при прохождении ряда интервалов расходов воды, имеющих обеспеченность от 1 до 50%. В этом существенное отличие руслоформирующей деятельности Амударьи от рек Русской равнины, на которых обычно обнаруживается один-два интервала руслоформирующих расходов, имеющих ограниченные пределы обеспеченности. Такая растянутость фазы интенсивного воздействия потока на русло способствует существенным ежегодным переформированиям, большой подвижности русловых форм рельефа и создает впечатление хаотичности перемещений этих форм. Заметные изменения рельефа речного русла обнаруживаются уже в конце марта — начале апреля, когда начинается подъем уровней, и затухают лишь к октябрю. Это подтверждается данными Н. А. Цветковой (1963) о распределении твердого стока по сезонам: за период с апреля по сентябрь в районе в/п Керки проходит 90,5%, в Ильчике — 90,0%, в Чатлы — 87,5% объема стока взвешенных наносов.

С целью выяснения возможности прогнозирования переформирования руслового рельефа Амударьи был выбран участок длиной около 20 км, где определение характера и темпов русловых деформаций связано с улучшением судоходства в одном из речных портов. Русло Аму-

¹ Здесь Q_{ϕ} — значения руслоформирующих расходов, Q — среднее значение, P — повторяемость расходов данного интервала, I — уклон, σ — параметр, учитывающий ширину поймы, m — показатель степени, зависящий от состава наносов.

дарьи здесь описывает пологую излучину и разветвляется цепочкой островов на систему сопряженных рукавов. Кроме того, на русловой режим заметное воздействие оказывают выносы из правого притока р. Сурхандарьи (Лодина, Чалов, 1971), впадающего со стороны выпуклого берега верхнего крыла излучины.

Главные звенья системы сопряженных рукавов составлены (сверху вниз по течению) группой пойменных островов в верхнем крыле излучины (верхние острова), песчаными массивами в вершине излучины, островом и песчаными мелями в нижнем крыле излучины. Наличие

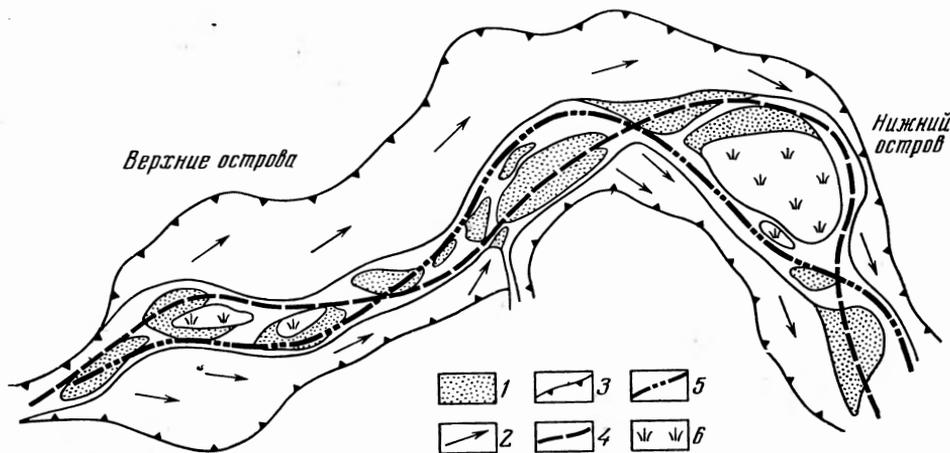


Рис. 1. Схема русла р. Амударьи в районе Термеза.

1 — прирусловые пески; 2 — направление потоков половодья на пойме; 3 — граница поймы; 4, 5 — возможные последовательные положения главного течения реки; 6 — острова

этой системы обуславливает периодическое блуждание основного потока реки. Было установлено, что в общих чертах положению главного течения реки в левом рукаве у верхних островов соответствует углубление плесовых лощин у правого берега в вершине излучины, левого рукава у нижнего острова и правой части русла в конце участка (рис. 1). Противоположная картина наблюдается, когда главное течение реки в верхнем звене переходит в правый рукав у верхних островов. Такие перемещения соответствуют схеме, разработанной Н. И. Маккаевым (1955) для систем сопряженных рукавов — «восьмерок». Полный цикл перемещения главного течения во всех звеньях системы сопряженных рукавов составляет около 15—20 лет.

Вместе с тем на перераспределение стока и смещение динамической оси потока по системам сопряженных рукавов оказывает влияние и ряд других факторов. Первый из них связан с общей морфологией дна долины на выходе реки из вышележащего сужения. Здесь правый берег образует мыс, в основании которого залегают пластичные глины, песчаники и конгломераты кулябской свиты. Ими же выстилается дно реки в правобережной зоне русла в начале участка. Благодаря этому большая часть расхода воды в реке преимущественно сосредотачивается в левом рукаве у верхних островов, а в истоках правого рукава образуется обширная отмель, ограничивающая его водность даже в период, когда в него направляется динамическая ось потока. Вторым фактором, воздействующим на развитие сопряженных систем, заключается в том, что русло в середине участка образует излучину. Скоростное поле потока половодья на ней определяется образованием зон ускорения и замедления течения. Правый берег реки в верхнем крыле излучины находится в зоне ускорения течения, вследствие чего, особенно в годы с высокими половодьями, здесь преобладают процессы эрозии. Как показали

лабораторные исследования (Маккавеев и др., 1961), динамическая ось потока на излучине всегда смещается в паводок к выпуклому берегу, причем чем выше уровень воды, тем ближе к выпуклому берегу располагается зона наибольших скоростей. Это подтвердилось исследованиями скоростного поля потока во время весенне-летнего половодья 1967 г. Таким образом, в верхнем крыле излучины перед ее вершиной периоды лет с высокими половодьями благоприятствуют расположению главного течения реки у правого берега, а в маловодные периоды — у левого берега. Третье обстоятельство, которое влияет на характер перераспределения стока в сопряженной системе, — впадение правого притока, выносы которого, отличаясь увеличенной по сравнению с амударьинскими наносами крупностью, формируют мели, оттесняющие поток Амударьи

в верхнем крыле излучины к левому берегу. В целом перечисленные выше добавочные факторы приводят к «асимметрии» периода блуждания главного течения, неодинаковой продолжительности отдельных его фаз. Стрежень потока в вершине излучины (второе звено сопряженной системы) располагается у левого берега на протяжении 5—7 лет, а у правого — 10—13 лет.

После прохождения половодья 1967 г. наметилось обмеление правого рукава в верхнем звене сопряженной системы, на истоки которого надвинулось крупное песчаное скопление. К осени 1968 г. в устье этого рукава проходил расход воды, составляющий лишь доли процента от общего расхода Амударьи. В соответствии с правилом развития сопряженных систем рукавов это привело к тому, что в конце 60-х годов наметилась тенденция к переходу главного течения реки к правому берегу в верхнем крыле и в вершине излучины. Об этом свидетельствовало разделение здесь потока на две

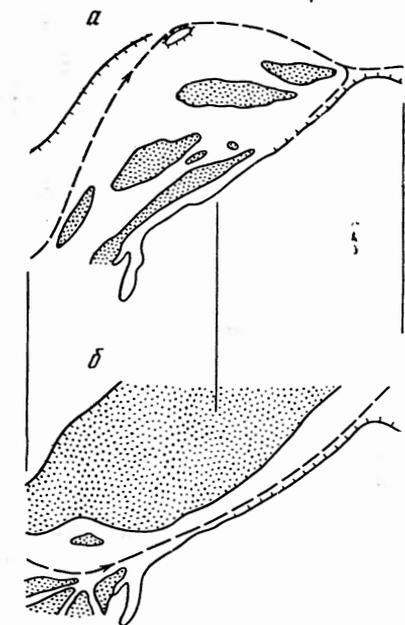


Рис. 2. Сопоставленные планы русла Амударьи в верхнем крыле излучины. а — сентябрь 1968 г., б — сентябрь 1974 г.

протоки, примерно равные по водности: левую — у вогнутого левого берега и правую — вдоль выпуклого берега. Немаловажную роль в этом процессе сыграло перемещение крупных песчаных массивов в половодье 1967 г. Правобережный массив передвинулся от устья Сурхандарьи более чем на 500 м, примкнул к выпуклому берегу излучины, что вызвало размыв левого берега на 200—250 м и искривление потока, проходящего вдоль него. Это в свою очередь привело к удлинению излучины стрежня потока, росту гидравлических сопротивлений и создало предпосылку для спрямления русла.

С учетом ситуации, сложившейся на данном участке Амударьи в 1968 г., и установленных закономерностей русловых деформаций был дан прогноз развития русла на ближайшие 5—10 лет. В первую очередь этот прогноз касался района вершины излучины, на правом выпуклом берегу которой в верхнем крыле располагается порт. Акватория порта была ограничена песчаной дамбой. Согласно прогнозу, в ближайшие 2—3 года (начиная с 1968 г.) главное течение реки должно переместиться вплотную к правому берегу, причем ограждающая порт дамба, лишенная какого-либо крепления, будет размывта. Предполагалось при этом, что в последующий период главное течение реки будет рас-

полагаться у правого берега еще на протяжении 10—12 лет, после чего вновь начнется обмеление правой части русла на излучине. Действительно, реформирования, происшедшие в последующий период 1969—1974 гг., практически полностью подтвердили разработанный прогноз деформаций (рис. 2).

Процессу углубления правой части русла в вершине излучины вначале препятствовали выносы песчано-гравийного материала из притока. Созданная ими отмель после исключительно мощного паводка этого притока способствовала отклонению части потока в 1969 г. к левому берегу; однако впоследствии отмель в устье притока постепенно размывалась и перестала оказывать серьезное влияние на амударьинский поток.

Окончательный переход главного течения реки к правому берегу в верхнем крыле излучины произошел в 1970 г., когда поток следовал на всем протяжении вдоль дамбы, ограждающей порт, а ниже ее окончания прижимался к правому пойменному берегу в вершине излучины, вызывая его сильный размыв. В половодье 1971 г. дамба была смыта, и лишь остатки ее в виде песчаных отмелей сохранялись до 1972 г. Весной 1973 г. поток прижался к правому берегу на всем протяжении верхнего крыла излучины вплоть до ее вершины.

Эти реформирования вызвали изменения рисунка русла и в нижележащих звеньях сопряженных систем. Положению главного течения реки у левого берега в вершине излучины до 1967 г. соответствовало развитие правого рукава у нижнего острова, а затем размыв русла у левого берега в конце участка. Уже в 1968 г. в истоках правого рукава у нижнего острова появилась небольшая отмель, искривившая стрежень потока, а в конце 1970 г. эта отмель сильно разрослась, отклонила поток к оголовку острова, что привело к размыву отмелей, закрывающих истоки левого рукава. Наметилась, таким образом, тенденция оживления последнего, но переход в него главного течения еще не произошел только из-за массивности песчаных скоплений, заполняющих рукав. Тем не менее стрежень потока следует на всем протяжении вдоль берега острова, сильно его размывая, а в нижележащем звене переместился уже в правую часть русла.

Таким образом, установление основных особенностей руслового режима Амударьи позволило создать обоснованный прогноз хода русловых реформирований на несколько лет вперед с высокой степенью оправдываемости, что очень важно при решении народнохозяйственных задач, связанных с освоением приамударьинских территорий.

В связи с тем, что в этих местах водные ресурсы преимущественно используются для целей орошения, особенно большое значение имеет прогноз «поведения» речного русла на участках ответвления ирригационных каналов. Перемещения главного течения и сопутствующие им изменения русловых форм могут значительно влиять на условия водозабора, а иногда — на сохранность головных сооружений. Как показано в приведенном выше примере, обоснование прогноза русловых реформирований на реках, разделенных на рукава, включает в себя: 1) выявление средней продолжительности периода блужданий русла, вызванных обычно смещением крупных скоплений влекомых наносов в пределах систем сопряженных рукавов; 2) определение роли добавочных факторов, способствующих некоторым изменениям длительности отдельных циклов и характера локальных деформаций (высота и длительность паводков, местные особенности берегов, деятельность притоков и т. п.).

Длина участка, в пределах которого выполняются исследования для обоснования прогноза, должна быть такой, чтобы выше и ниже (по течению) интересующего объекта было бы не менее двух узлов сопряженных разветвлений русла.

- Алтуни С. Т. Регулирование русел. М., Сельхозгиз, 1962.
- Аннаев С. А. К исследованию русловых процессов на Каракумском канале. «Докл. Моск. сельскохоз. акад. им. Тимирязева», вып. 87, 1963.
- Беркович К. М., Лодина Р. В., Чалов Р. С. Твердый сток и закономерности русловых деформаций в верхнем течении Амударьи. В сб. «Эрозия почв и русловые процессы», вып. 3. Изд-во МГУ, 1973.
- Лодина Р. В., Чалов Р. С. О влиянии притоков на состав наносов и деформации русла главной реки. «Вестник МГУ. География», № 4, 1971.
- Маккаев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Маккаев Н. И., Райнов В. А., Косарский П. И. Лабораторные исследования русловых процессов на излучине русла. «Речной транспорт», № 11, 1961.
- Тузов В. Е. О блуждании русла Амударьи в районе головного участка канала Ташсака. «Вопросы гидротехники», вып. 24, 1965.
- Цветкова Н. А. Режим наносов р. Амударьи. «Вопросы гидротехники», вып. 13, 1963.

Географический факультет
МГУ

Поступила в редакцию
27.III.1975

AN EXPERIENCE OF FORECASTING UNSTABLE RIVER CHANNEL CHANGES (A CASE STUDY OF THE AMU-DARYA UPPER REACHES)

N. I. MAKKAJEV, K. M. BERKOVITCH, R. S. CHALOV

Summary

A development of channel change forecasting is a task of great significance for natural river usage, for man-made changes of their regime and for gravity flowing channel construction. The problem is especially urgent in relation to rivers with unstable channel in erodible sediments. The paper describes a channel reach of the upper Amu Darya where time and rate of relief transformation appears to be an economic problem of great importance. Detailed channel studies carried out by Laboratory of soil erosion and channel processes (Moscow State university) have revealed main regularities of channel changes and factors they are conditioned with. The results have been used as a basis for channel changes forecasting and as a ground for complex of measures preventing unfavourable consequences of the changes.

High degree of the forecasting reliability allows to suggest a complex of studies which is necessary to carry out at rivers with unstable channel at the points of irrigation channel diversion, near bridges, ports etc.