

УДК 556.537

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РУСЛА РЕКИ ИРТЫШ ПО МЕТОДУ  
К.В. ГРИШАНИНА**Канд. геогр. наук  
Доктор геогр. наукМ.Ж. Бурлибаев  
С.А. Абдрасилов  
А.З. Таиров

*Данная статья посвящена оценке устойчивости русла реки Иртыш (на основе многолетних данных наблюдений), претерпевающей деформационные процессы под влиянием каскада Бухтарминского, Усть-Каменогорского и Шульбинского водохранилищ.*

Русла естественных водных потоков формируются и находятся в динамически равновесном состоянии в результате взаимодействия потока воды и ложа русла в течение достаточно длительного времени. При этом поток формирует ложе русла, а русло управляет кинематической структурой потока. Устанавливается тесная связь между водностью реки и размерами ее русла. Любые изменения, приводящие к нарушению этого устойчивого состояния, приводят к необратимым русловым деформациям и как следствие - к изменению пропускной способности русла реки. Направленность и интенсивность этих изменений зависит от характера изменения гидрологического режима реки, который в определенной мере зависит от проводимых в бассейне реки водохозяйственных мероприятий. Поэтому вопрос оценки устойчивости русла р. Иртыш, в связи с намечаемым забором воды на территории Китая, является весьма актуальным.

Оценить устойчивость русла рек можно двумя методами: путем оценки устойчивости поперечного сечения русла реки и оценкой устойчивости донных отложений [3, 5, 6].

Для оценки степени устойчивости речного русла на участках достаточно большого протяжения и реки в целом, вряд ли можно считать перспективным путь получения искомого показателя на основе представления об устойчивости отдельно взятой частицы или характеристик отдельно взятых сечений русла. В этом случае можно получить лишь обобщенную характеристику отдельных русловых форм (плесы, перекаты),

отражающую наиболее типичную закономерность такой формы на том или ином участке реки. Наиболее рациональным следует считать путь установления критериального показателя на основе тех интегральных характеристик, которые представляет нам сама река и на основе которых может быть установлен общий показатель руслового режима реки, степень устойчивости ее русла.

На наш взгляд один из наиболее обоснованных критериев является критерий, предложенный К.В. Гришаниным [2]. По его методу русло считается устойчивым, если расход наносов вдоль потока будет постоянным, т.е.

$$\partial Q_c / \partial x = 0. \quad (1)$$

Если движение потока установившееся, формула расхода наносов вместе с уравнением неразрывности превращает данное равенство в равенство нулю производной от площади живого сечения по длине русла:

$$\partial \omega / \partial x = 0. \quad (2)$$

Непризматические участки подвижных русел, где это равенство не соблюдено, неустойчивы. Степень их неустойчивости определяется величиной расхода русловых наносов. Расход русловых наносов, в свою очередь, есть функция подвижности донных частиц и характеризуются коэффициентами их подвижности. Величины, обратные коэффициентам подвижности, называются коэффициентами устойчивости. Коэффициент устойчивости донных частиц характеризуется отношением ее гидравлической крупности к динамической скорости:

$$K_y = \frac{u}{U_x}, \quad (3)$$

Таким образом, для суждения о степени устойчивости русла надо знать не только о подвижности донных частиц, но и то, как меняются элементы движения по длине потока и во времени.

Установлено, что резкие колебания расхода воды приводят к росту донных гряд, усиливают зависимость прорезей и ускоряют размыв берегов [4]. При медленном изменении расходов воды, наблюдающихся при естественных колебаниях стока в условиях приближенной однозначности кривой  $Q = f(H)$  в недеформируемом русле, однозначную связь имеют все элементы живых сечений, в том числе площадь живого сечения ( $\omega$ ). Следовательно, связь  $Q$  и  $H$  можно заменить связью  $Q$  и  $\omega$ , т.е.

$$Q = f(\omega, x). \quad (4)$$

Если ввести функцию  $Q = f(\omega, x)$  в уравнение Сен-Венана, то интеграл уравнений получает вид

$$H(gB)^{1/4} \times Q^{-1/2} = M(x), \quad (5)$$

где  $M$  - слабо изменяющаяся безразмерная величина.

Гидрометрические данные показывают, что в руслах с мелкозернистыми донными отложениями опытные значения  $M$  изменяются незначительно. На устойчивых участках рек, русло которых сформировано протекающими в них потоками, округлённое значение инварианта  $M = 0,9$ . Это равенство есть условие устойчивости русел. Учитывая погрешность опытного определения  $M$  [2], в качестве условия практической устойчивости можно принять неравенство

$$0,75 \leq M \leq 1,05. \quad (6)$$

Эта формула определяет границы той области значений величины  $M$ , где русло потока считается устойчивым. Значения  $M \geq 1,05$  наблюдаются при быстром уменьшении расхода воды, а также для участков рек, находящихся в подпоре. В этих случаях транспортирующая способность потока уменьшается вниз по течению, и русло реки заиляется.

Значение  $M \leq 0,75$  встречаются при резком возрастании расхода воды в реке и на участке русел, где кривая свободной поверхности потока принимает форму кривой спада. В этих случаях транспортирующая способность потока возрастает вниз по течению и в русле имеет размыв.

На устойчивых участках рек с крупнозернистыми грунтами должна существовать более сложная приближенная зависимость

$$\mu \left[ \frac{R}{x}, \frac{d}{R}, Fr \right] = 0. \quad (7)$$

Вид функции  $\mu$  устанавливается только из опыта.

Используя данные измеренных расходов воды и взятые пробы донных отложений на шести горных и предгорных участках рек, К.В. Гришанин получает решение уравнения (3) в следующем виде

$$\frac{h(gB)^{1/4}}{Q^{1/2}} = 0,15 \cdot \lg \frac{1000h}{d_{50}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) действительно в области относительной гладкости

$$3 \leq \frac{h}{d_{50}} \leq 1000. \quad (9)$$

Для оценки устойчивости русла реки Иртыш были использованы данные о гранулометрическом составе донных отложений и измеренных расходов воды на гидрологических постах р. Черный Иртыш - с. Буран, р. Иртыш - с. Шульба, р. Иртыш - с. Семиарское.

Расчеты были выполнены по гидропостам р. Черный Иртыш - с. Буран за годы: 1969 ( $P = 2\%$ ) многоводный, 1982 ( $P = 98\%$ ) - маловодный, 1992 ( $P = 46\%$ ) - средний по водности, 1970 ( $P = 24\%$ ) - многоводный, 1962 ( $P = 95\%$ ) - маловодный, 1968 ( $P = 69\%$ ) - средний водности. По гидропосту р. Иртыш - с. Семиарское расчеты выполнены по годам: 1969 ( $P = 5\%$ ) - многоводный, 1982 ( $P = 95\%$ ) - маловодный и 1992 ( $P = 55\%$ ) - год средней водности. Всего было вычислено 111 значений  $M$ . Методика расчета инварианта устойчивости ( $M$ ) была следующая: по данным гранулометрического состава донных отложений определялся  $d_{50}$ , затем - относительная глад-

кость русла  $\left[ \frac{h}{d_{50}} \right]$  и при  $\frac{h}{d_{50}} \geq 1000M$  вычисляли по уравнению (5) - как

для мелкозернистых грунтов и при  $3^h \leq \frac{h}{d_{50}} \leq 1000M$  - по уравнению (8)

- как для крупнозернистых грунтов.

Анализ этих данных показал, что величина  $M$  зависит от многих факторов: состояния поверхности потока (ледостав или свободная) фазы водного режима реки, водности года, от относительной гладкости русла, от направления и интенсивности хода русловых процессов на рассматриваемом участке реки.

Результаты анализа изменения  $M$  внутри каждого из рассмотренных лет дали следующее: р. Иртыш - с. Буран. 1969 г. Обработаны 36 значений измеренных параметров потока, измеренные расходы изменяются от 39,9 до 2220 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется в небольших пределах от 0,57 до 0,72 при  $M_{cp} = 15,4:24 = 0,64 < 0,75$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,62 до 1,29 при  $M_{cp} = 13,02:12 = 1,09 > 1,05$  - русло заиливается. 1982 год. Обработаны материалы 43 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 36,4 до 741 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,51 до 0,84 при  $M_{cp} = 2,26:33 = 0,61 < 0,75$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,73 до 1,38 при  $M_{cp} = 16,27:14 = 1,16 > 1,05$  - русло заиливается. 1992 год. Обработаны материалы 46 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от

45 до 1230 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,36 до 0,64 при  $M_{cp} = 15,62:28 = 0,56 < 0,75$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,66 до 1,35 при  $M_{cp} = 18,11:17 = 1,07 > 1,05$  - русло заиливается.

Р. Иртыш - с. Шульба.

1969 год. Были обработаны 32 значения параметров потока. Измеренные расходы изменялись от 679 до 4370 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,57 до 0,64 при  $M_{cp} = 0,60$  русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,85 до 0,97 при  $M_{cp} = 0,90$  русло устойчивое. 1970 год. Обработаны 35 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 512 до 3690 м<sup>3</sup>/с. В условиях открытого русла  $M$  изменяется от 0,56 до 0,69 при  $M_{cp} = 16,65:27 = 0,62 < 0,75$ , русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,85 до 1,12 при  $M_{cp} = 8,01:8 = 1,00$  - русло устойчивое. 1968 год. Были обработаны 28 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 221 до 3340 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,59 до 0,73 при  $M_{cp} = 0,62$ , русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 1,15 до 2,04 при  $M_{cp} = 1,34$ , русло устойчивое. 1962 год. Были обработаны 16 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 0,61 до 0,80 при  $M_{cp} = 0,66$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 1,19 до 1,27 при  $M_{cp} = 1,23$  - русло заиливается.

Река Иртыш - с. Семиярское.

Расчета были выполнены за годы 1969 - многоводный, 1982 - маловодный и 1992 - средний по водности. 1969 год. Были обработаны 37 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 410 до 3440 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,61 до 0,79 при  $M_{cp} = 0,66$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,95 до 1,19 при  $M_{cp} = 1,10 > 1,05$  - русло заиливается. 1982 год. Были обработаны 36 значений параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 298 до 3240 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,63 до 0,68 при  $M_{cp} = 0,66$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,95 до 1,04 при  $M_{cp} = 0,91$  - русло устойчивое. 1992 год. Было обработано 31 значение параметров потока. Измеренные расходы изменяются от 444 до 3800 м<sup>3</sup>/с. В условиях свободного русла  $M$  изменяется от 0,61 до 0,69 при  $M_{cp} = 0,65$  - русло размывается. В условиях ледостава  $M$  изменяется от 0,75 до 1,10 при  $M_{cp} = 1,00$  - русло устойчивое.

Таким образом, по методике К.В. Гришанана вне зависимости от водности года в условиях ледостава русло заиливается, а в условиях свободного, в основном, размывается.

Для примера приведены значения  $M$  для гидропостов р. Иртыш - с. Шульба (рис.1) и р. Иртыш - с. Семияровское (рис.2).

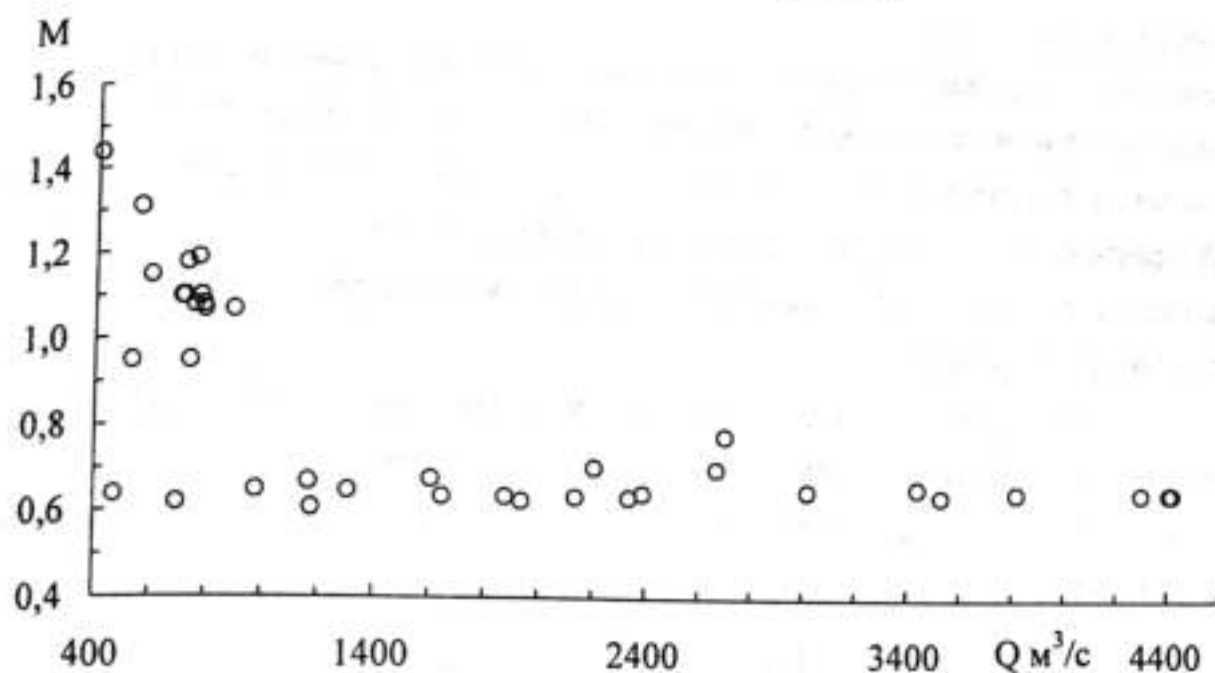


Рис.1. Зависимость  $M = f(Q)$  р. Иртыш - с. Семияровское, 1969 год.

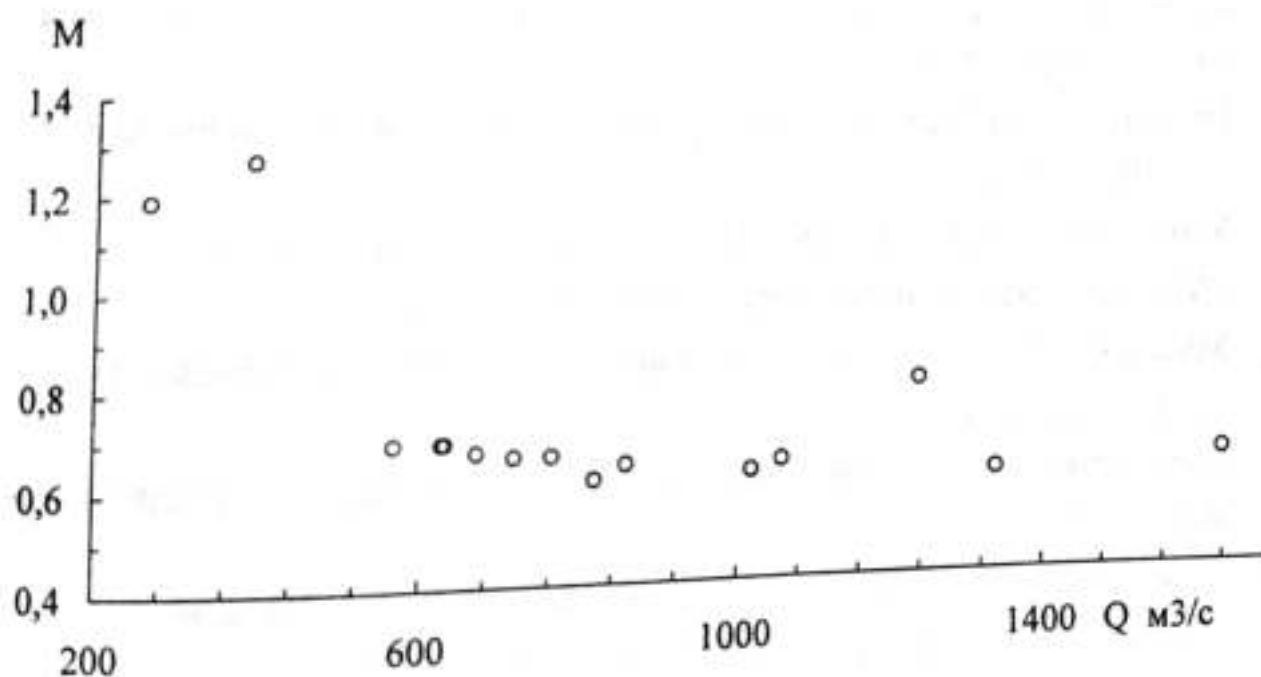


Рис.2. Зависимость  $M = f(Q)$  р. Иртыш - с. Шульба, 1962 год.

Нами также были выполнены расчеты устойчивости реки Иртыш по методу А.В. Караушева и реки Сырдарья по методу К.В. Гришанина.

Результаты сравнения указанных материалов показали, что устойчивость русла р. Иртыш в разные по водности годы и в разные фазы водного режима реки методом К.В. Гришанина и А.В. Караушева несколько отличаются друг от друга и от фактических данных. Это является следствием сложности процесса взаимодействия потока и русла и приближенностью существующих методов их расчета. Например, метод К.В. Гришанина правильно учитывает влияние гидравлики потока (равномерный режим, замедленное или ускоренное движение), но весьма приближенно учитывает влияние грунтовых условий. Поэтому указанный метод дает правильный прогноз русловых деформаций в зимних условиях (при подпорном режиме) и для рек, русло которых сложено мелкозернистыми грунтами, таких как р. Сырдарья.

Для условий р. Иртыш более подходит метод А.В. Караушева, который обоснованно учитывает процесс взаимообмена русла и потока с наносами. В то же время, предложенные авторами русловые коэффициенты, еще не апробированы на фактическом материале.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрасилов С.А., Дюсенова Р.Х., Пулатова Э.А./ Оценка устойчивости русла р. Иртыш по методу А.В. Караушева // Природные и социальные проблемы географии аридных территорий. - Алматы: "Казак университеті", 2001. - С.34 - 46.
2. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов.- Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 387 с.
3. Маккавеев Н.И. и др. Показатель устойчивости русла реки //Метеорология и гидрология. - 1967. - № 5. - С.72 - 83.
4. Маккавеев Н.И. Русловые и путевые работы в нижних бьефах гидроузлов //Труды ЦНИИЭВТ. - 1957. - Вып. 12. - С.54 - 67.
5. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 201с.
6. Романишин В.В. Типы руслового процесса в связи с определяющими факторами // Труды ГТИ. - 1967. - Вып. 155. - С.15 - 25.

Казахский научно исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

Казахский государственный национальный университет им аль-Фараби

**К.В. ГРИШАНИН ӘДІСІМЕН ЕРТІС ӨЗ. АРНАСЫНЫҢ  
ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ**

Геогр. ғылымд. канд.

М.Ж. Бүрлібаев

Геогр. ғылымд. докторы

С.А.Әбдірасілов

А.З. Тайыров

*Бұл мақала Бұқтарма, Өскемен және Шөлба бөгендерінің каскады әсерімен деформациялық процестерді кешіп жатқан Ертіс өзені арнасының тұрақтылығын бағалауға (көпжылғы бақылау мәліметтері негізінде) арналған.*