

АНТРОПОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ И СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. АМУДАРЬИ

К.И. Байманов, Г.Т. Шаниязов, И.Ж. Асаматдинов, С. Джаманкараев

Каракалпакский филиал САНИИРИ им. В.Д. Журина

(Республика Узбекистан)

Антропогенное изменение режима течения, уменьшение стока, перераспределение его во времени-регулирование, либо даже увеличение в связи с сбросом сточных (коллекторно-дренажных) вод в верховьях рек могут оказывать различные воздействие на русловые формы, развивающиеся и существующие в русле. Характер и степень такого воздействия зависит от изменения кинематического и динамического факторов, влияющие на ход руслового процесса, а также от фактора времени, в значительной мере определяющего степень происходящих русловых переформирований.

В настоящее время в среднем и нижнем течении из р. Амударьи забирают воду для орошения более 60 крупных, средних и малых каналов: Каршинский с максимальным расходом $250 \text{ м}^3/\text{с}$; Каракумский с расходом более $600 \text{ м}^3/\text{с}$; Амубухарский - $400 \text{ м}^3/\text{с}$; Ташсакинский - $500 \text{ м}^3/\text{с}$; Пахтаарна - $200 \text{ м}^3/\text{с}$; Кызкеткен - $400 \text{ м}^3/\text{с}$; Суенли - $300 \text{ м}^3/\text{с}$ и др. Кроме того, верховья р. Амударьи на главном протоке действует Нурекское водохранилище многолетнего регулирования стока ($W_n \approx 12 \text{ км}^3$), в низовьях на расстоянии 450 км от устья построено Туямуюнское водохранилище ($W_n \approx 5,0 \text{ км}^3$), 215 км - Тахиаташский гидроузел, 70 км - Междуречинская дамба. Ниже Туямуюнского гидроузла на длине 185 км русло реки зарегулировано двухсторонними продольными и поперечными дамбами. Эти и ежегодно повторяющиеся маловодье внесли существенные изменения в динамику русловых процессов как в летний так и в зимний периоды, в результате чего на р. Амударье во многих местах ухудшилась русловая обстановка.

В последние годы наблюдается значительные нарушение экологического состояния особенно в нижнем течении р. Амударьи у Тахиаташского и Туямуюнского гидроузлов. Данные натурных исследований проведенные нами в 1998-2000 гг. показывают, что в результате ежегодного уменьшения стока р. Амударьи и соответственно транспортирующей способности потока от створа Кипчак вниз по течению наблюдались повсеместное осаждение наносов и подъем дна как по поперечному профилю, так и по длине реки (рис.1 и 2).

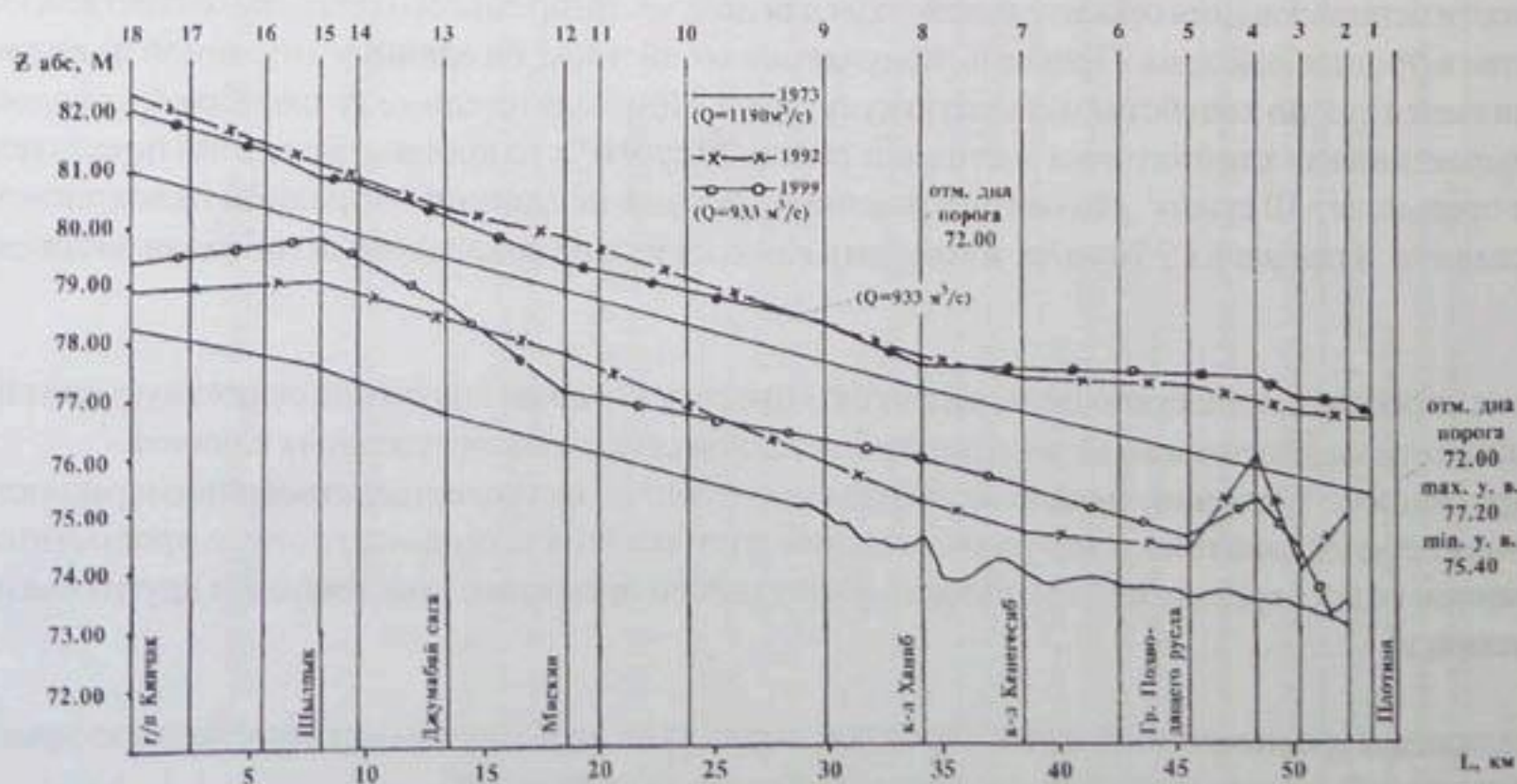


Рис.1. Изменение уклона водной поверхности и средняя отметка дна р. Амударьи на участке между створами г/п Кипчак и плотины Тахиаташского гидроузла.

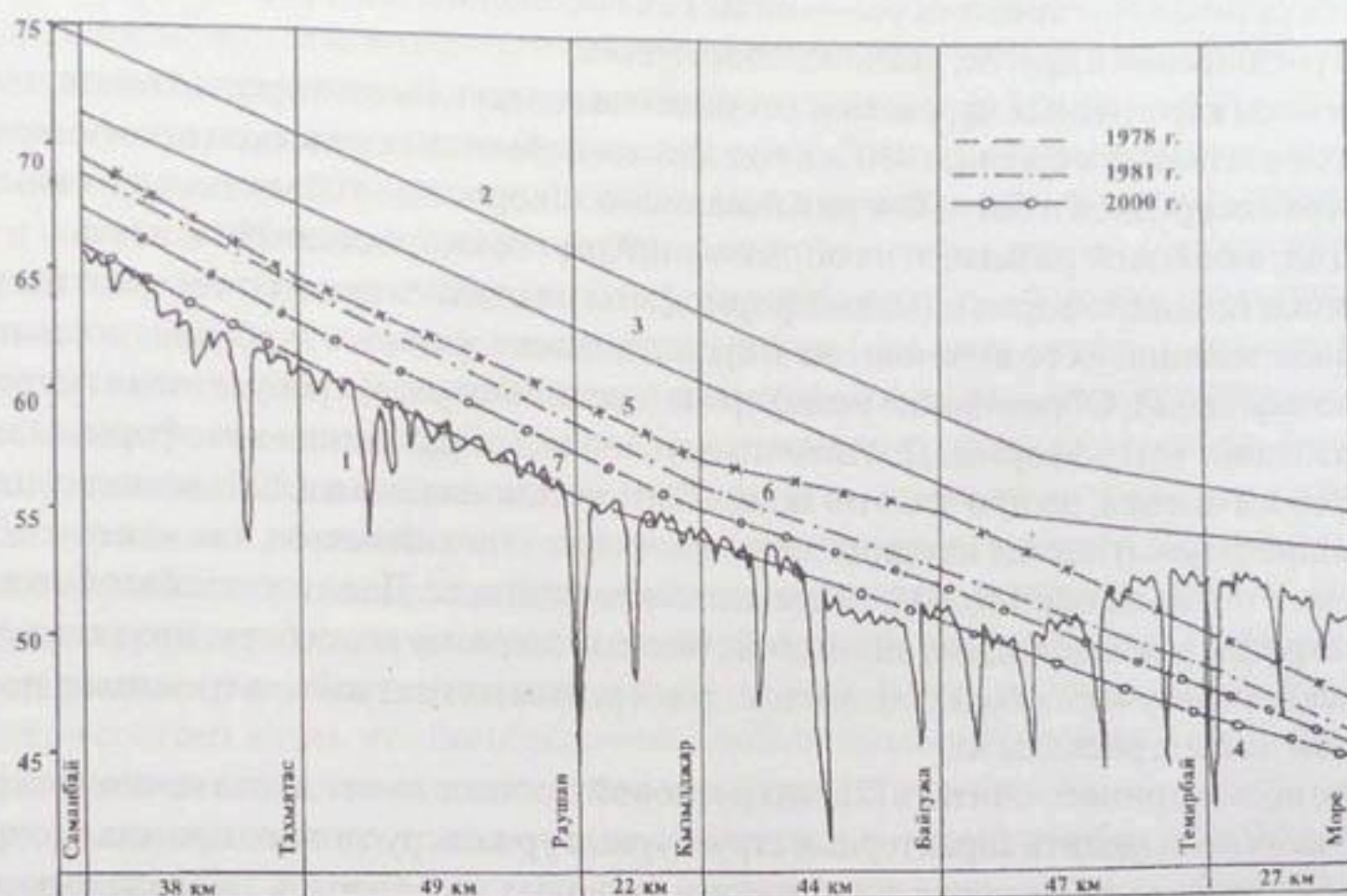


Рис. 2. Изменение вдоль нижнего течения р. Амударьи отметок дна (1) и водной поверхности в половодье (2) и меле (3) при бытовом состоянии, а также отметок дна (4) и водной поверхности (5, 6, 7) при зарегулированном стоке.

Особенно резкое изменение русловых процессов происходило в районе Тахияташского гидроузла. В результате переформирования русловых процессов в верхнем бьефе образовались устойчивое русло для пропуска малых расходов воды (до $500 \text{ м}^3/\text{с}$) и наблюдались отход стержня потока у головных водозаборов (каналов Кызкеткен, Ханяб, Кенегесяб) к противоположному берегу.

В реке Амударье непрерывно происходят русловые деформации из-за больших скоростей (до $2,0\text{--}3,0 \text{ м/с}$), изменчивости гидрографа в течение года, особенно в период паводка и сильной подвижности русла Амударьи, которое сложено из легкоразмываемых мелких песчаных наносов, диаметр которых не превышает $0,5 \text{ мм}$, а средний диаметр равен $0,10\text{--}0,20 \text{ мм}$.

Наблюдения за характером перемещения донных и придонных наносов Амударьи показывают, что это перемещение происходит в виде рифелей и песчаных гряд. Размеры рифелей невелики: высота $5\text{--}10 \text{ см}$, длина до 20 см . Рифели образуются главным образом на верхнем скате и на гребне перекатов. В 1998 году при расходе порядка $2000 \text{ м}^3/\text{с}$, глубине воды в реке $3\text{--}4 \text{ м}$, в гидростворе Саманбай нами наблюдались следующие параметры гряд: высота гряд $1,0\text{--}1,5 \text{ м}$, длина гряд $50\text{--}100 \text{ м}$ и скорость движения гряд $1,3\text{--}1,7 \text{ м/ч}$.

Для изучения русловых деформации в нижнем течении Амударьи, то есть выяснить будет ли изменения в положении русла реки и отдельных русловых образованиях последовательны в течение года нами были сопоставлены карты разных лет. В русле реки проследить переформирование одних и тех же образований можно только в том случае, если имеются съемки за каждый год. Съемки интересующего нас участка за каждый год можно получить лишь для 1971, 1972 и 1973 гг.

Для нижнего течения Амударьи на изучаемом участке характерно чередование коротких (длиной $2,0\text{--}4,0 \text{ км}$) суженных (шириной около $0,7\text{--}1,2 \text{ км}$) участков и длинных (длиной $7,0\text{--}10 \text{ км}$) расширенных (шириной $3,0\text{--}4,0 \text{ км}$) участков.

Сравнение карт русловых съемок привело к следующим результатам. Выяснилось, что деформации русловых образований в плане происходят отнюдь не хаотично, а подчиняются определенным закономерностям: те образования, которые в 1971 и 1972 гг. размывались, в последующие годы намывались, и наоборот - те образования, которые в последующие два года размывались. Оказалось, что если в верховой части расширения русла Амударьи идет размыв, то в низовой части этого расширения наблюдается отложение наносов и рост площадей русловых образований. По мере того как накопившиеся в нижней части расширения русла реки скопления наносов начинают срабатываться и поступать в

расположенное ниже сужение русла реки, в следующем за ним расширении размыв начинает сменяться намывом. Благодаря этому в нижнюю часть расширения начинает поступать меньше наносов, чем раньше, и здесь появляются размывы русловых образований. Так постепенно зоны размыва и намыва кочуют вниз по реке из одного расширения в другое, расположенное ниже.

Сопоставлением карт разных лет съемки установлены следующее: скорость смещения бровок пойменных берегов составила в среднем 430 м в год; намыв пойменных участков произошел со скоростью 600 м в год; приверхи осередков и островов размывались со скоростью 800 м в год; а их намыв в плане составил 500 м в год; а боковой размыв этих образований шел со скоростью 280 м в год.

Обучив данные по микроформам (малые формы) можно сделать вывод о том, что главным фактором, обуславливающий их возникновение и существование, является турбулентность потока - наличие в нем вихревых возмущений. Образование мезоформ (средние формы) требует иных гидравлических условий чем образование микроформ. Достаточным условиям образования мезоформ является неравномерный режим потока, но при этом он может быть установившимся. Объяснить существование макроформ (большие формы) исходя из одних гидравлических условий нельзя, так как в их образовании принимают участие отнюдь не одни только гидравлические факторы. Для того чтобы объяснить возникновения макроформ необходимо знать свойственный данному водосбору, питающему участок реки, на котором расположена изучаемая макроформа, водный режим и сток наносов (режим их поступления, градации крупности частиц, расходы их).

В настоящее время принято считать [2], что русловой процесс имеет достаточно четкую дискретную структуру, позволяющую выделить характерные структурные уровни руслового процесса, определенно различающиеся масштабами действующих факторов и русловых элементов, а также закономерностями руслового процесса, свойственным каждому структурному уровню. При этом представляет определенный интерес рассмотрения масштабы времени на различных структурных уровнях руслового процесса с целью сопоставления их с изменчивостью речного потока антропогенной природы.

Характерный временной масштаб для малого структурного уровня микроформ, видимо, следует принимать время, необходимое микроформе для ее перемещения на расстояние, равное ее собственной длине L_m при скорости перемещения C_m ,

$$T_m = L_m / C_m \quad (1)$$

Принимая наибольшую высоту микроформ 0,1 м и считая их крутизну близкой к 0,04, найдем оценку масштаба времени T_m с использованием следующей зависимости [2] для скорости их перемещения

$$\frac{C_m}{V} = 0,02 \left(\frac{V^2}{gh} \right)^{1,5} \quad (2)$$

тогда

$$\frac{T_m V}{h} \sim \frac{10}{Fr^{3/2}} \quad (3)$$

Эта оценка показывает, что безразмерный масштаб времени на структурном уровне микроформ не менее чем на три порядка превышает характерный масштаб $T_m V/h = 1$. В абсолютных величинах T_m имеет порядок от нескольких десятков часов до нескольких суток, что позволяет считать русловые формы этого уровня быстро приспособляющимися к характеристикам потока подверженными влиянию антропогенных изменений режима течения.

Следующим структурным уровнем являются средние формы (мезоформы), высота и протяженность которых соизмеримы с глубиной и шириной потока соответственно. Принимая, что высота мезоформ соизмерима с глубиной реки $h_m \approx 0,25h$ при крутизне $h_m/L_m = 0,03$ и считая, согласно данным Б.Ф.Снищенко [1], что зависимость (2) пригодна для оценка скорости перемещения мезоформ, определим продолжительность существования мезоформ:

$$\frac{T_m V}{h} \sim \frac{400}{Fr^{3/2}} \quad (4)$$

Эта оценка показывает, что период существования мезоформ в 40-50 раз больше периода существования микроформ и в абсолютных величинах для средних условий может достигать продолжительности нескольких месяцев. Можно считать, что русловые переформирования данного структурного уровня восприимчивы к антропогенному воздействию на сток лишь в том случае, если это изменение стока по продолжительности соизмеримо с периодом существования мезоформ или превышает этот период.

Русловые деформации большого структурного уровня (макроформы) могут развиваться лишь при незакрепленной береговой линии и наличии поймы. Как указывает Н.Е.Кондратьев [1] макроформы определяют русловой процесс реки в целом, ее морфологический тип. Деформации макроформ в значительной мере определяются взвешенными наносами между руслом и поймой. Продолжительность такого обмена, согласно Кондратьеву [1], весьма велика и соизмерима со сроками, в течение которых могут меняться природные факторы, влияющие на русловой процесс. Характерным примером макроформ является речные излучины с прилегающим пойменным массивом. Размеры плановых деформации русла, приводящие к его коренной перестройке, имеет порядок нескольких его ширина. Период русловых переформирований макроформ в равнинных реках, проходящих в легкодеформируемых грунтах зависит в основном от величины наблюдаемых гидрологических циклов (паводки, межень), а также от состава и содержания проносимых потоком наносов. Поэтому можно предполагать, что характерный временной период русловых переформирований, приводящих к качественной перестройке русла (р. Амударья) измеряется несколькими месяцами или годами. Ход русловых переформирований на данном структурном уровне может быть изменен и эти изменения должны быть учтены в инженерных прогнозах.

В последние десятилетия в нижнем течении р. Амударья наблюдается загрязнение речного стока, главным образом в сторону его резкого уменьшения, нарушение режимы уровней и скоростей течения, которые привело к развитию необратимых русловых изменений. В этих условиях задача регулирования русловых процессов состоит в том, что бы обеспечить необходимые гидравлические, эксплуатационные, санитарно-токсикологические и экологические показатели речного русла и водотока в целом.

Решение этой задачи может производиться с использованием комплекса инженерных мероприятий, включающего землечерпание, устройство различных русловыправительных сооружений, спрямление русла реки методом саморазмыва, а так же очистка сбросных и сточных вод. В этот комплекс должна входить система специального регулирования стока, позволяющая в периоды его максимального водопользования, обеспечить регулярную самопромывку русла реки в паводок, без дополнительных затрат воды [2]. В связи с высокой стоимостью русловыправления с применением землечерпательных методов гидравлические методы промывки русла остаются единственным оперативным средством поддержание русел рек в должном санитарном состоянии.

Очистка русел рек от загрязненных донных отложений должна входить в систему мероприятий по охране водных источников и она должна быть увязана и на стадии проектирования, и на стадии производства работ с проектированием.

Необходимость очистки русла определяется технико-экономическим расчетом в сравнении альтернативными вариантами уменьшения объемов сбросных вод и повышением степени их очистки.

Плановое очертания речного русла при его очистке и выправлении должны исключить возникновение застойных, теневых и водоворотных зон, возникающих на крутых поворотах русла, в местах его резкого расширения, а также позади различных препятствий и сооружений возводимых в русле.

Размер поперечного сечения русла при его очистке следует назначать таким, чтобы слой загрязненных донных отложений h_g , накапливающийся за период между расчетными паводками, размывался за время паводка T_n .

Расчет размыва может производиться с использованием формулы [3]

$$h_g = I_0 T_0 \left(\frac{V_p}{V_{кр}} \right)^3 \left(\frac{V_p}{V_{кр}} - 1 \right) \quad (5)$$

где I_0 - интенсивность размыва при $V=U_{кр}$, $I_0=1\text{ см/сут}$; $V_{кр}$ - критическая скорость для загрязненных донных отложений.

Ширина русла B после расчистки и реконструкции не должна превышать расчетной ширины B_p , определяемой из выражения

$$B < B_p = 1,50 \sqrt{\frac{Q}{V_*}} \quad (6)$$

где, Q_p - расчетный расход; $V_* = \sqrt{ghJ}$ - динамическая скорость.

При очистке и реконструкции разветвленного участка речного русла для повышения размывающей и транспортирующей способности речного потока следует предусматривать отсечение второстепенных мелководных протоков и рукавов от основного русла и учитывать возможные экологические последствия этого мероприятия.

Одним из перспективных способов повышения эффективности промывки загрязненных донных

отложений является использование эффектов нестационарности, связанных со специально создаваемыми залповыми сбросами воды из верхнего бьефа Туямуюнского и Тахиаташского гидроузла.

Литература

1. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. - Л., Гидрометеиздат, 1983, -270с.
2. Боровков В.С., Майрановский Ф.Г., Халабаев Т.Н. Исследование параметров речного потока и деформации русла в паводок. - Водные ресурсы, 1984, № 6 с. 174-182.
3. Мирцхулова Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. - М., Колос, 1967. -178 с.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ СТОКОВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ

А.Н. Крутов, д.т.н.

Региональная миссия Всемирного банка реконструкции и развития
в Республике Узбекистан

(Республика Узбекистан)

Описанные в [1] математические модели позволяют давать прогноз концентраций различных загрязняющих водоём веществ с разной степенью точности и детализации. При этом, чем выше точность и детализация, тем сложнее алгоритмы, что приводит при составлении прогнозов к большим затратам труда и машинного времени. При этом все модели построены по принципу мерности в пространстве, начиная с трехмерных, дающих наилучшую детализацию (распределение концентрации и по глубине и по площади водоёма) и кончая нульмерными, позволяющих определять лишь среднюю по объему всего водоёма концентрацию. В этом смысле можно говорить о иерархии математических моделей.

Далее стоит вопрос: в каких случаях какую модель следует применять? Это связано, прежде всего, с границами применимости каждой модели и с вопросами на которые мы хотим ответить. Предложено [2] разбивать течения на два класса: стоковые и ветровые. Рассмотрим чисто стоковые течения. В этом случае касательные напряжения на поверхности равны нулю ($\tau_s = 0$).

Сначала рассмотрим область применимости двумерных и одномерных уравнений Сен-Венана. Затем снимем ограничения, характеризующие специфику вывода этих уравнений из трехмерных и, тем самым, получим области применимости трехмерных уравнений.

Основные допущения при выводе двумерных уравнений Сен-Венана следующие:

1. Предположение о гидростатичности давления.
2. Возможность пренебрежения отличием распределения плановых составляющих скорости от равномерного.
3. Гипотеза о связи t_i с U_i :

$$\tau_i = \lambda U_i |U|/2, \quad (A)$$

где λ - скалярный коэффициент гидравлического трения, который вычисляется по формуле Маннинга:

$$\lambda = \frac{2g}{C^2} = \frac{2gn^2}{H^{1/3}},$$

где C - коэффициент Шези, n - коэффициент шероховатости.