

УДК 627.423:627.157

Ахматова Наталья Петровна¹, доцент, к.т.н., доцент,
e-mail: ahmatova_natalya@mail.ru

Михайлова Татьяна Николаевна¹, доцент, к.т.н., доцент,
e-mail: d223.008.02@mail.ru

Пилипенко Татьяна Викторовна¹, доцент, к.т.н., доцент,
e-mail: taniavp_2005@rambler.ru

¹Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия.

ВЛИЯНИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРОЦЕССЫ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЛЕВОГО БЕРЕГА Р. АМУР У С.ОРЛОВКА

Аннотация. В статье исследуются вопросы изменения скоростной структуры речного потока, связанные с созданием водоотводящих прорезей в руслах. Рассматривается возможность предупреждения размыва берегов путём концентрации части расхода воды в прорези и тем самым отвлечения его от разрушаемой течением береговой полосы. В качестве примера принят участок реки Амур на 883-870 км, где происходит интенсивный размыв левого берега у с. Орловка.

Ключевые слова: дноуглубление, защита берегов, скорости течения

Река Амур, представляющая собой крупнейшую реку Дальнего Востока, занимает особое положение среди российских рек. На протяжении более 2000 км (почти до г. Хабаровска) она является пограничной рекой с КНР.

Начиная с середины XX в. наблюдается естественный процесс перехода реки Амур в новое русло, который последнее время ускорился из-за берегоукрепительных работ, выполняемых КНР для стабилизации положения правого берега. В результате смещения русла влево происходит разрушение береговой полосы около нескольких российских посёлков, в число которых входит левый берег у с. Орловка Амурской области на 873-870 км р. Амур.

Правый берег, укрепленный камнем на протяжении 500-700 м, является территорией КНР. Интенсивность разрушения левосторонней береговой полосы последние годы достигает 2,5 м/год, а всего с 1984 г. размыв составил 70-120 м.

Русло реки на участке широкое, распластанное (600-2600 м). Русловой процесс – пойменно-русловая многорукавность со множеством осередков, мелей, гряд. На участке находится крупный (1 км длиной и 300 м шириной) осередок, сложенный песчано-галечниковыми грунтами, который затапливается при прохождении весеннего половодья и дождевых паводков. Осередок делит русло на два рукава, из которых судоходным является правый.

Для предотвращения дальнейшего размыва левого берега у с. Орловка было предложено отвлечь расход воды из левого рукава в правый путём проведения дноуглубительных работ в районе 873-870 км р. Амур (рис. 1). При этом предполагается снижение скоростей течения у левого берега до значений ниже размывающей скорости.

Длина водоотводящей прорези по оси составляет 1773 м, ширина принята постоянной 100 м, глубина разработки – до гарантированной глубины судового хода (105.3 м БС). Отвал грунта укладывается на осередок слева от прорези высотой до отметки 107.4 м БС.

В статье произведена оценка изменения поля скоростей по длине речного потока, выполнено сравнение их с неразмывающими и размывающими скоростями на рассматриваемом участке и вычислен расход влекомых наносов в струях потока.

В исследованиях использовалось известное в гидравлике уравнение Шези, записанное для средней скорости на вертикали для равнинных рек, в руслах которых ширина намного превосходит глубину [1]

$$v = C\sqrt{hI} = \frac{\sqrt{I}}{n}h^{2/3},$$

где $C = \frac{1}{n}h^{1/6}$ – коэффициент Шези, \sqrt{m}/c ;

n – коэффициент шероховатости;

T – глубина на вертикали, м;

I – продольный уклон.

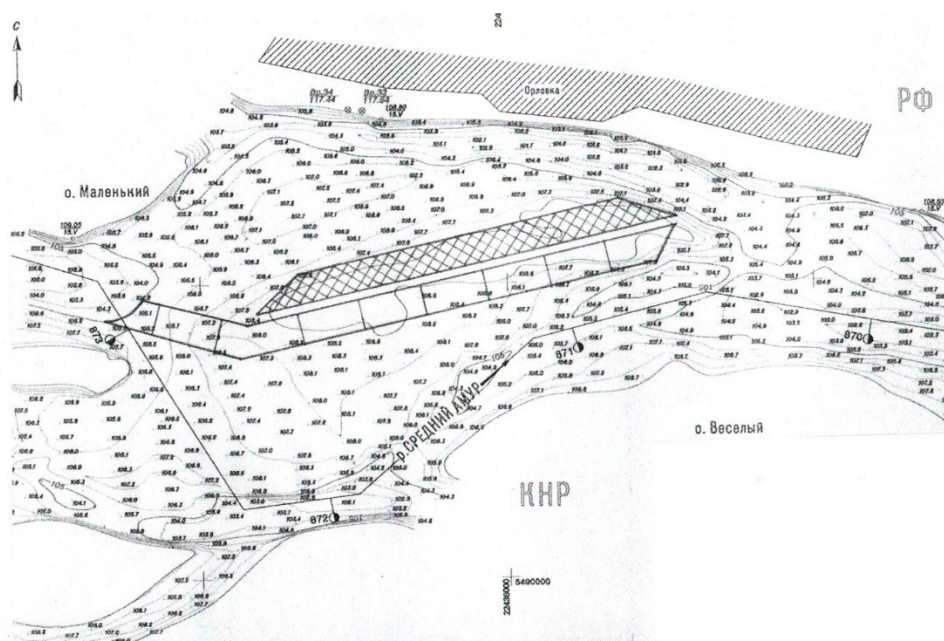


Рисунок 1 - План участка р. Амур (873-870 км)

В уравнении сделано допущение постоянства коэффициента шероховатости и продольного уклона по ширине реки. В соответствии с этим уравнением наибольшие скорости течения расположены в местах с максимальными глубинами. Следовательно, углубление русла вызовет соответствующее перемещение динамической оси потока в сторону от берега к водоотводящей прорези.

В современных исследованиях используются различные методы для расчёта поля скоростей в руслах, заносимости дноуглубительных прорезей. Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий в работе был построен план течения на участке при руслоформирующем расходе воды $Q = 8600 \text{ м}^3/\text{с}$ и уровне 110.8 м БС. Русловой поток был разделён на восемь равнорасходных струй. Для каждой струи вычислялись средние скорости. Изменение скоростей течения в разных струях по длине участка реки представлено на объёмном графике (рис. 2).

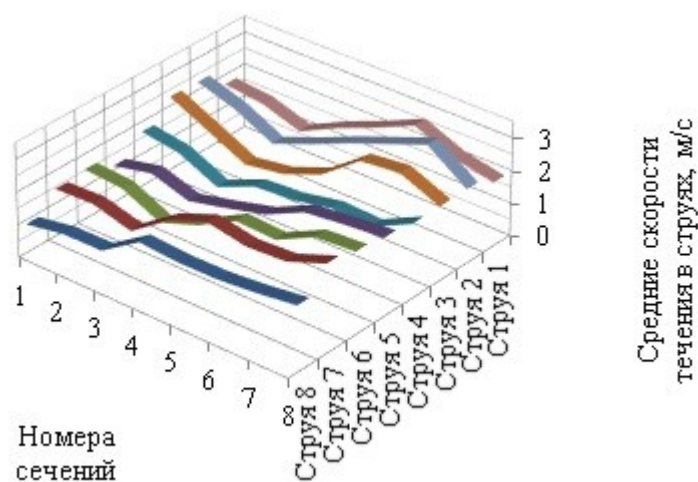


Рисунок 2 - Изменение скоростей течения в струях по длине участка р. Амур (873-870 км)

Для анализа возможных деформаций дна и берегов русла также были рассчитаны неразмывающие и размывающие скорости.

Неразмывающие скорости для крупного песка и гравия (крупностью более 1.5 мм) определялись по формуле И.И. Леви [1]

$$v_{\text{нр}} = 1.3 \cdot \sqrt{g \cdot d_{50}} \cdot \lg \left(12 \cdot \frac{h_{\text{стр}}}{d_{90}} \right),$$

где d_{50} – средний диаметр грунта, м. Принят 2 мм;

$h_{\text{стр}}$ – средняя глубина струи в расчётном сечении, м;

d_{90} – диаметр грунта содержанием 90 %, м. Принят 4 мм.

Размывающие скорости определялись по формуле Шамова $v_p = 1.3 \cdot v_{\text{нр}}$.

Результаты расчётов представлены в виде графиков (рис. 3).

Также были определены удельные расходы влекомых наносов по формуле И.И. Леви для дна, сложенного крупным песком и гравием, с относительной шероховатостью $d/h > 2 \cdot 10^{-4}$ [1]

$$q_s = 7.6 \cdot 10^{-4} \left(\frac{v_{\text{стр}}}{\sqrt{g d_{50}}} \right)^3 d_{50} (v_{\text{стр}} - v_{\text{нр}}) \left(\frac{d_{50}}{h_{\text{стр}}} \right)^{1/4}$$

Расходы наносов вычислялись для каждой струи, проходящей по участку. Результаты расчётов представлены в виде объёмного графика (рис. 4).

Проведённый анализ графиков на рисунке 2 показывает, что в верхней половине участка (1-4 сечения) скорости потока меньше, чем в нижней. Это происходит из-за расширения потока до деления русла осередком и сужения его в рукавах в нижней части участка, что хорошо заметно в сечении 3 – перед делением русла на рукава. Здесь наблюдаются наименьшие скорости течения на участке реки (0.87-1.27 м/с).

Ниже сечения 3 происходит быстрый рост скоростей, которые достигают наибольших значений в сечениях 6, 7 и 8. Величина максимальных скоростей колеблется от 2.02 до 3.16 м/с. Наибольшие их значения находятся в середине левого рукава (2 струя), наименьшие – у правого берега (8 струя). И в целом левый рукав более полноводный, с большими скоростями, чем правый. Например, у левого берега они колеблются от 1.15 до 2.76 м/с, а в струе у правого берега – от 0.86 до 2.02 м/с.

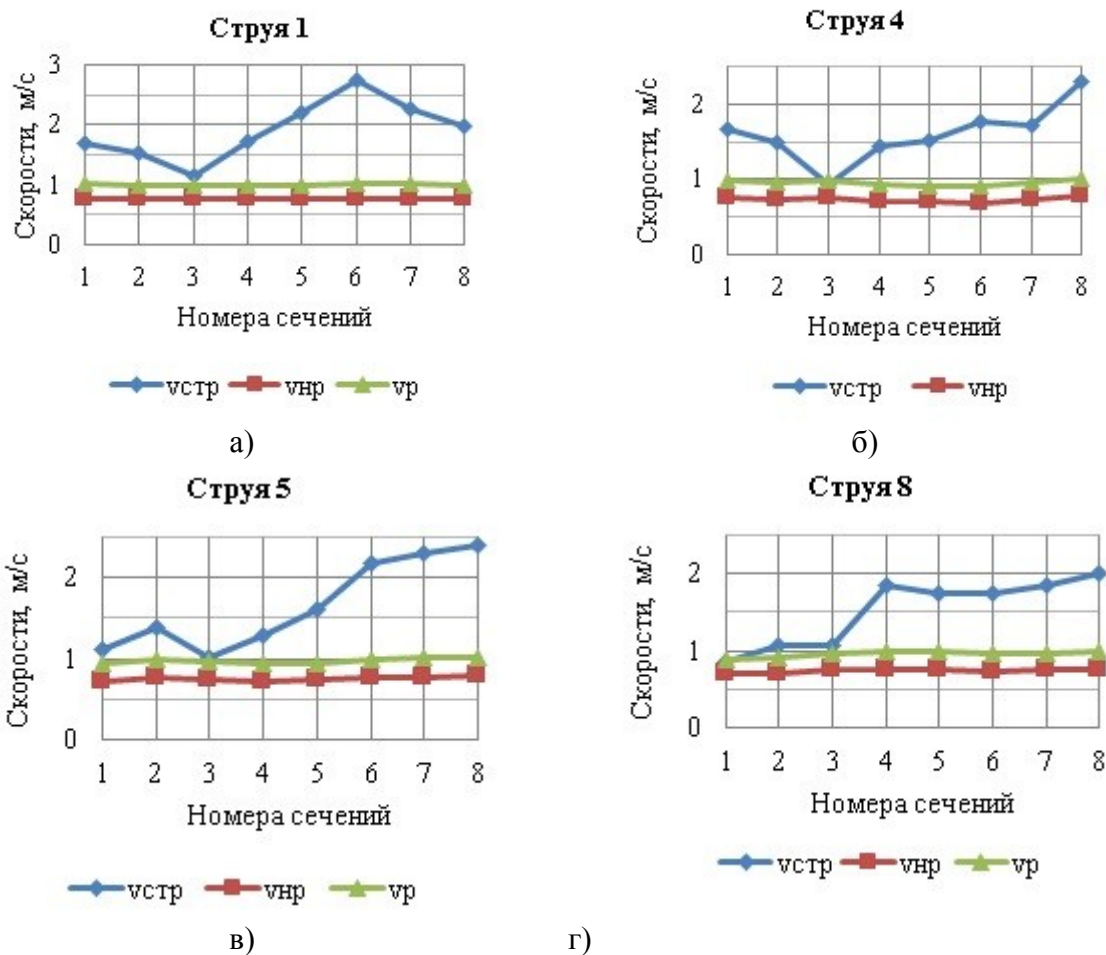


Рисунок 3 - Совмещённые графики средней скорости в струе vстр, неразмывающей vнр и размывающей вр скоростей: (а) – у левого берега (струя 1); (б) – в центре русла, в зоне расположения отвала грунта и верхней части прорези (струя 4); (в) – в центре русла, в зоне расположения прорези (струя 5); (г) – у правого берега (струя 8)

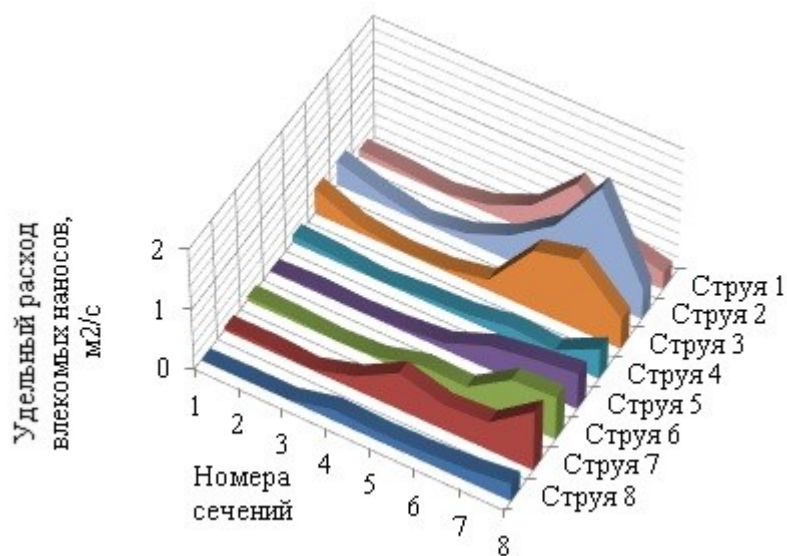


Рисунок 4 - Изменение расхода влекомых наносов в струях потока по длине участка реки Амур (873-870 км)

Водоотводящая прорезь находится в центральной части русла, практически на осерёдке, частично в 4 струе и, в основном, в 5 струе. Здесь скорости изменяются в диапазоне от 1.02 до 2.41 м/с. Отвал грунта полностью расположен в 4 струе, где скорости колеблются от 0.94 до 2.3 м/с.

Графики, приведённые на рисунке 3, показывают в целом значительное превышение средних скоростей в струях над размывающими скоростями. Только в сечении 3 в зоне осерёдка скорости падают ниже размывающих. Всё это говорит о наличии интенсивных деформаций в русле на рассматриваемом участке р.Амур.

Качественную оценку деформаций русла можно выполнить по результатам анализа рисунка 4. В струе у левого берега до 3 сечения наблюдается уменьшение расхода влекомых наносов, что свидетельствует о небольшом намыве. Ниже по течению он меняется на деформацию размыва, постепенно нарастающую к 6 сечению. Наибольший прирост расхода наносов составил 0.68 м²/с. Затем снова смена знака деформации на намыв.

Во 2 струе, как и можно было ожидать, максимальные деформации размыва, но максимальный прирост расхода наносов (0.93 м²/с) наблюдается ниже, у 7 сечения. Далее, при слиянии рукавов за ухвостьем осерёдка, происходит значительный намыв дна с уменьшением твёрдого расхода на 1.35 м²/с. Прорезь в 5 струе испытывает средние по величине деформации размыва с расходом наносов 0.29 м²/с, что говорит об удачном её расположении в русле.

В правом рукаве наблюдаются знакопеременные деформации с преобладанием размыва, хотя и меньшего по сравнению с левым рукавом (максимальный $q_s = 0.40$ м²/с). У правого берега наибольший прирост твёрдого расхода меньше 0.18 м²/с, а в основном он меньше 0.1 м²/с.

Анализ результатов исследования показал, что в речных условиях применение дноуглубительных работ для прекращения размывов берегов может быть успешно использовано при условии учёта поля скоростей для назначения трассы прорези и положения отвала грунта.

Одним из способов использования извлечённого из прорези грунта является расположение отвалов как выправительных сооружений [2,3]. В этом случае эффективным решением будет крепление поверхности отвалов для увеличения срока их работы. Другой способ использования отвалов для берегозащиты – это создание из них пляжей. Наряду с креплением поверхности берегового откоса неразмываемыми материалами, эти способы являются эффективным берегоукрепительным средством.

Как было сказано выше, р.Амур на большем своём протяжении имеет пограничное положение между Россией и КНР. Поэтому есть определенные ограничения, накладываемые на любые работы в акватории реки и на прилегающей территории. С учётом этого и проведённых исследований в данном случае трасса прорези и положение отвала могут считаться достаточно удачным расположением.

Список литературы:

1. Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика / Р. С. Чалов ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Географический фак. - Москва : URSS, 2008-. - 22 см.; ISBN 978-5-382-00528-7
2. Барышников, Н.Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н.Б. Барышников, И.В. Попов. – Л., Гидрометеиздат. – 1988. – 454 с.
3. Гришанин, К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин. – Л., Гидрометеиздат. – 1979. – 311 с.

**THE INFLUENCE OF DREDGING ON THE PROCESSES OF COASTAL EROSION
ON THE EXAMPLE OF A SECTION OF THE LEFT BANK OF THE AMUR RIVER
NEAR THE VILLAGE OF ORLOVKA**

Natalya P. Akhmatova, Tatyana N. Mikhaylova, Tatyana V. Pilipenko

Abstract. The article examines the issues of changing the velocity structure of the river flow associated with the creation of drainage slots in the channels. The possibility of preventing coastal erosion by concentrating part of the water flow in the slot and thereby diverting it from the coastal strip destroyed by the current is being considered. As an example, a section of the Amur River at 883-870 km is taken, where there is an intensive erosion of the left bank near the village of Orlovka.

Keywords: dredging, coast protection, velocity of stream