



Размывы берегов как один из факторов проявления русловых процессов на реках

Старший научный сотрудник
НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева
Географический факультет
МГУ имени М.В. Ломоносова

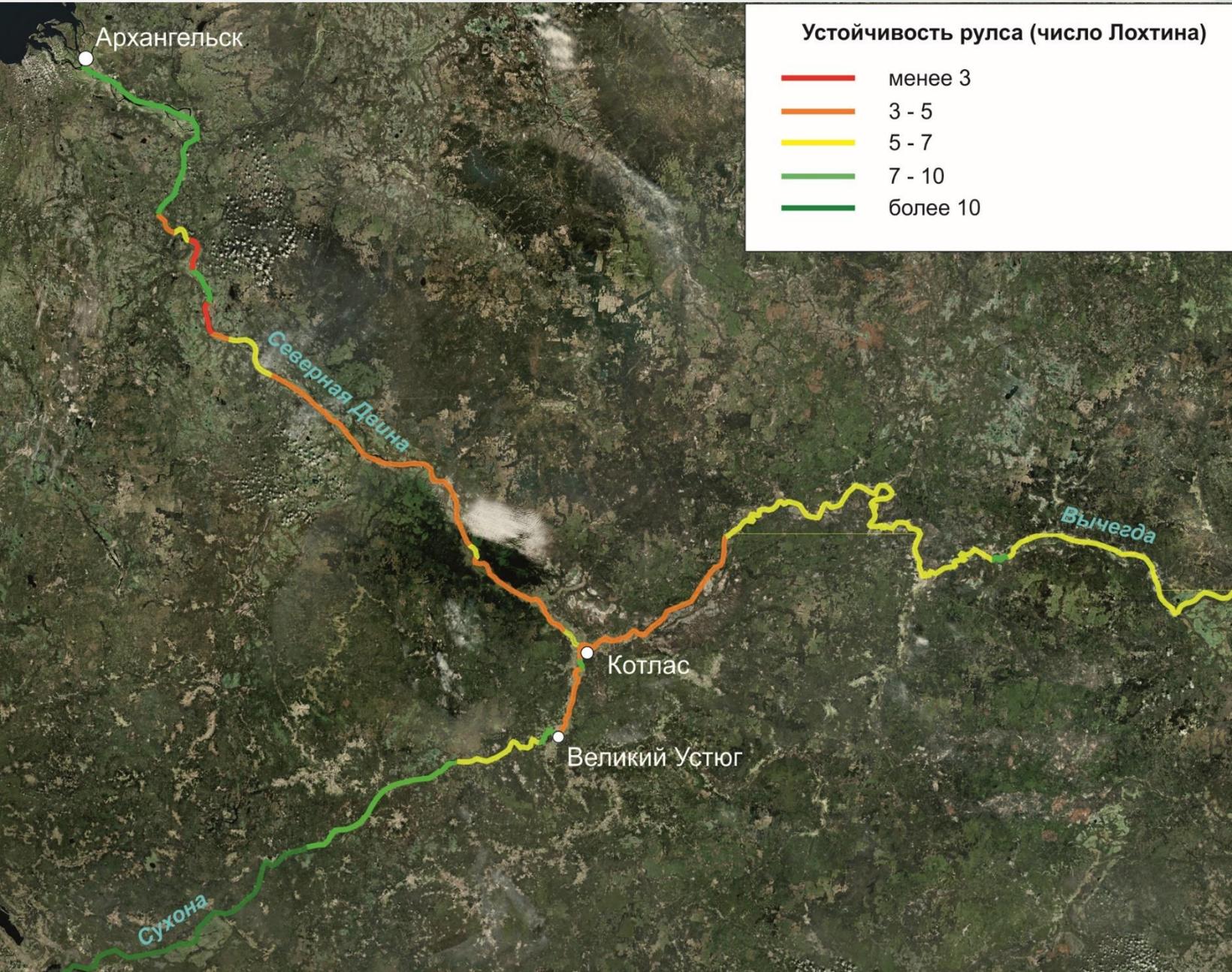
Н.М. Михайлова

Причины размыва берегов



- Слабая устойчивость русел к размыву
- Строение берегов
- Изменение условий воздействия потока на берега
- Развитие форм русла
- Развитие форм руслового рельефа
- Возникновение природных и антропогенных препятствий в русле
- Нижние бьефы гидроузлов

Устойчивость русла к размыву



1.

$$L =$$

$$d/H$$

- Скорость перемещения побочней, кос, осередков может быть равна от 300 до 600 м/год.
- Средняя скорость размыва берегов около 10 м/год, а максимально возможная – более 50 м/год.
- Протяженность фронта размыва – до 60-80% от суммарной длины берегов на участке русла.

2.

- Состав берегов
- Неоднородность в строении подмываемого уступа приводит к оползанию, осыпанию берегов

2.

Дейги
ш

Строение берегов

Неоднородность в строении подмываемого уступа и колебания уровня воды приводит к оползанию и осыпанию берегов.



р. Северная Двина

В широкопойменных слабоустойчивых руслах размывы берегов определяются водоносностью и гидрологическим режимом реки.

Изменение условий воздействия потока на берега:

- изменение гидрологических характеристик реки
- при изменении гидравлических характеристик потока в сторону их увеличения
- при воздействии регуляционных сооружений
- при разработке прорезей

Сильные размывы:

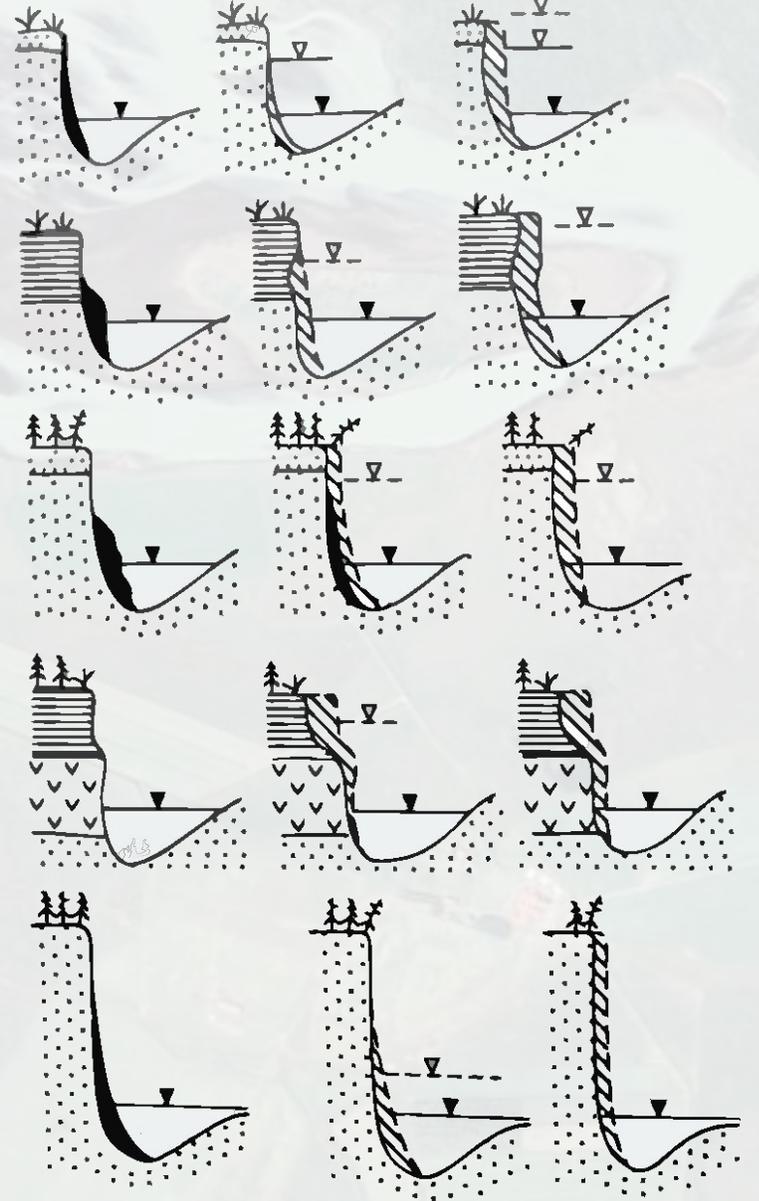
- на больших и средних реках – от 10 м/год
- на малых реках – 2 м/год

Связь морфологических признаков с интенсивностью размыва



Интенсивность
размыва

Межень Паводки Половодье



Скорости размывов берегов рек с различным геологическим строением

Характеристика размыва	Скорость размыва берегов, м/год (по Р.С. Чалову)			
	Пески, супеси	Суглинки	Глины	Торф, полускальные породы
Очень сильный	>10	>5	>2	>1
Сильный	5-10	2-5	1-2	0,5-1
Средний	2-5	1-2	0,5-1	0,2-0,5

Смещение и трансформация гряд во время подъема уровней влияет на:

- скорость потока
 - измерение поперечных уклонов
 - изменение угла подхода потока к берегу
-
- Увеличение поперечного уклона по сравнению с продольным в 2-3 раза
 - Скорость течения у берега возрастает в 1,5 раза
 - Свалы сопровождаются подпором
 - Сложные циркуляционные течения у берега
 - Формирование фестончатых очертаний берега (положение небольших гряд)
 - Смещение участков максимального размыва (смещение гряд)

После возведения плотины в нижнем бьефе:

- активизируется размыв берегов
- начинается процесс направленного

врезания
Примеры размывов берегов в нижних бьефах:

- Дон ниже Цимлянской ГЭС
- Обь ниже Новосибирской ГЭС
- Волга ниже Рыбинского водохранилища и ниже Иваньковского водохранилища



Желтым показано положение русла в 2002 г. на снимке 2012 г.

Опасность проявления русловых процессов (размывов берегов)



Экстремальность размывов

Для разных рек:

Северная Двина – 25 м/год

Лена в среднем течении – 15-30 м/год

Дельта Волги – 30-35 м/год

Обь в районе Колпашево – 14-15 м/год

Чулым – 30-50 м/год

Дон в среднем течении – 8-10 м/год

Катунь у с.Верх.Катунского – 50-70 м/год

Мезень – 4-7 м/год

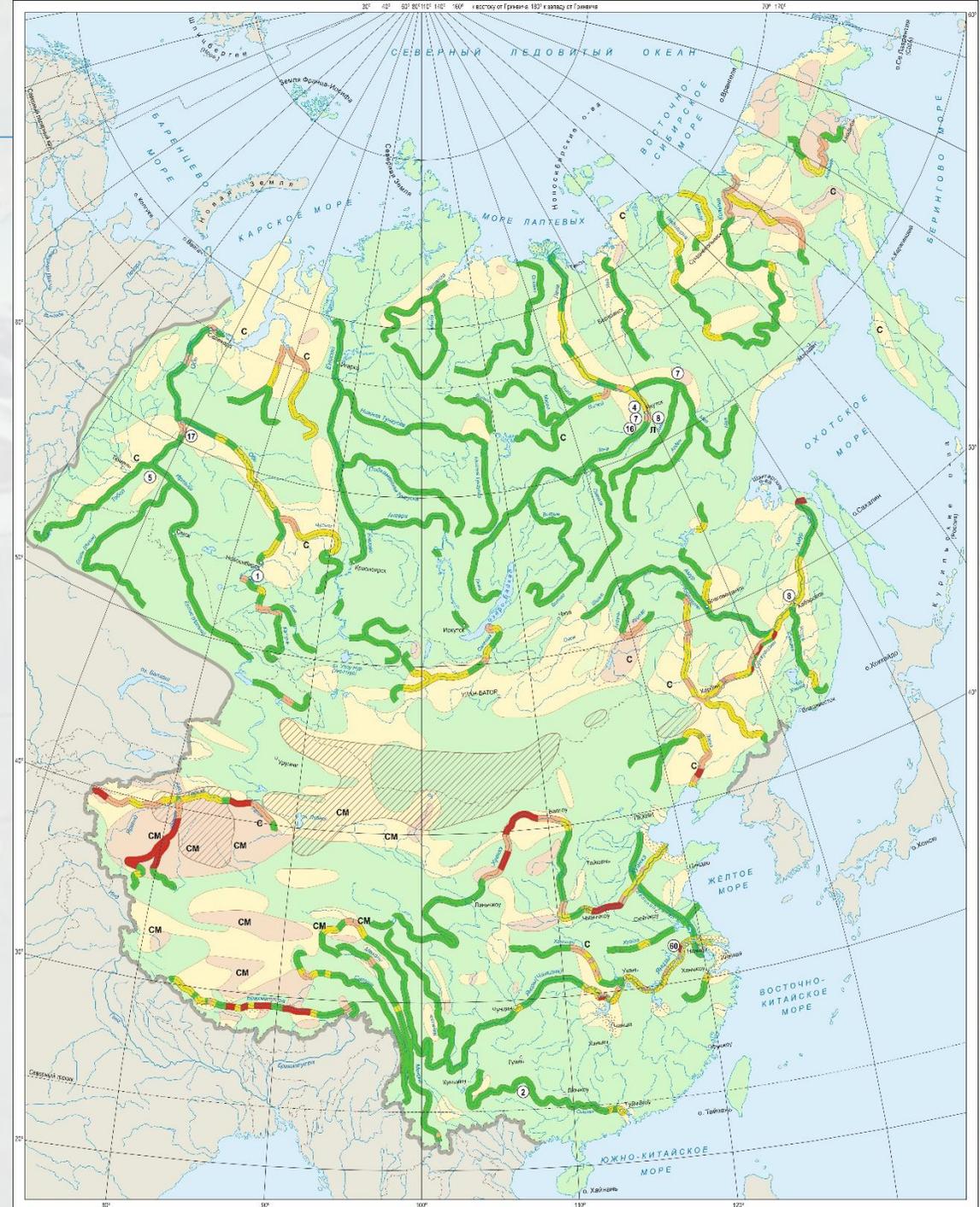
Связь экстремальных размывов вогнутых берегов с размерами рек со слабоустойчивым руслом (по И.П. Попову)

Ширина реки, м	Скорость размыва вогнутых берегов, м/год
до 400 м	до 19 м/год
600 м	32 м/год
более 800 м	более 50 м/год

р.
Сакмара



Экстремальность размывов



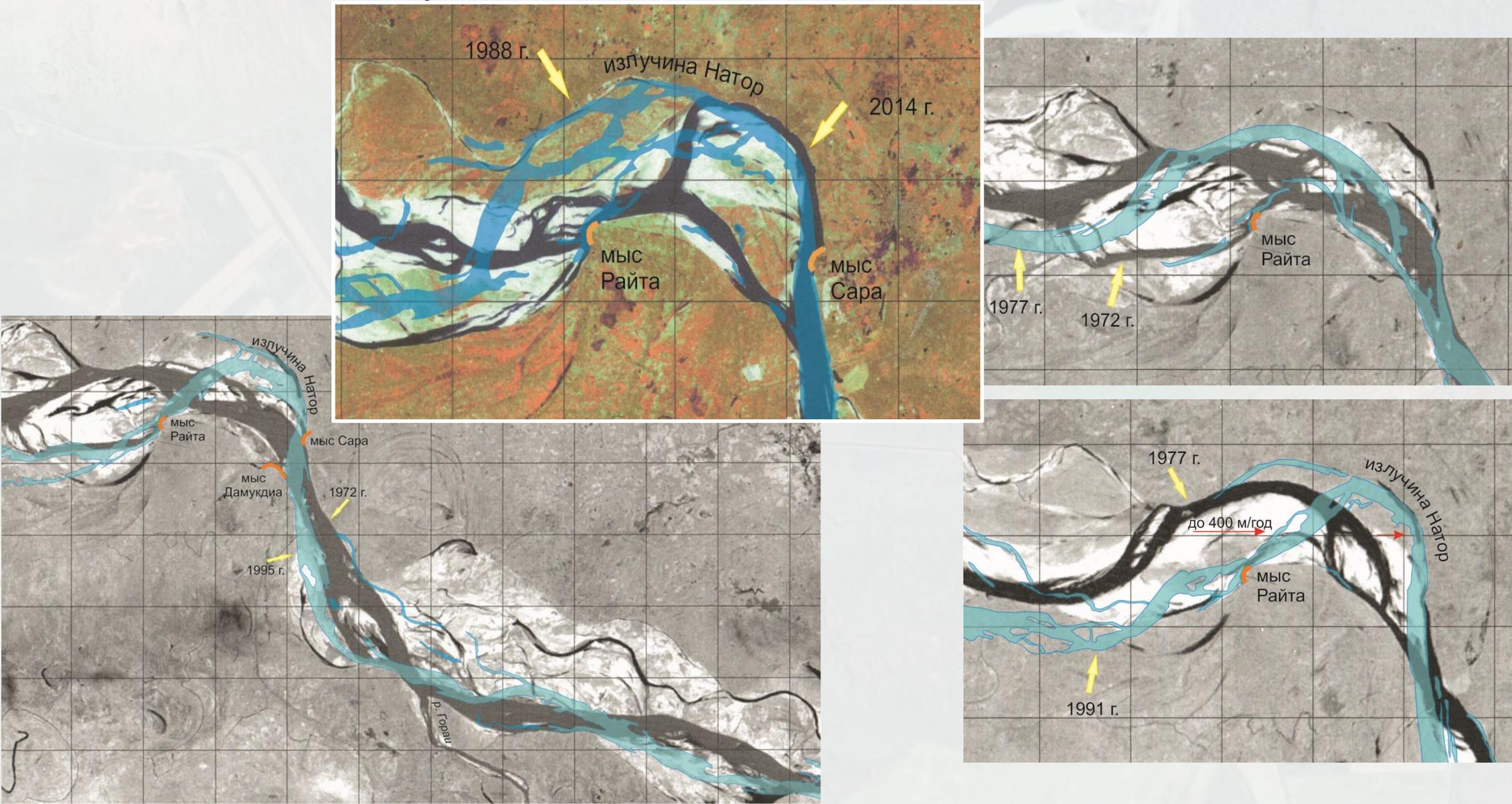
П Р И Р О Д Н А Я О П А С Н О С Т Ь

Тип процесса по степени опасности	Основные средние и крупные реки						Малые реки (районирование)				
	Степень опасности, баллы	Устойчивость русла к размыву (число Лохтина)*	Темпы русловых деформаций			Периодичность горизонтальных русловых деформаций	Характеристика последствий проявления опасности русловых процессов	Показатель опасности, балл	Размыв берегов		Характеристика последствий проявления опасности русловых процессов
			скорость размыва берегов, м/год	протяженность фронта размыва, % от длины участка реки**	скорость смещения форм руслового рельефа (кос, побочной, осередков), м/год				средние скорости, м/год	протяженность зон размыва, % от длины берегов	
ОПАСНЫЙ	4	<1	>25	80-100	>800 (размываются, формируются новые)	В течение года; полное перестроение русла	3	>5	50-100	Повреждение строений, подмывы опор мостовых переходов и водозаборов, сокращение сельхозугодий	
УМЕРЕННО-ОПАСНЫЙ	3	1-2	10-25	80-50	500-800	Годы - десятки лет	2	1-5	10-50	Выход из строя отдельных водозаборов, мостовых и подводных переходов	
МАЛО-ОПАСНЫЙ	2	2-5	5-10	20-50	300-500	Десятки лет	1	<1	локальные участки или отсутствуют	Локальные разрушения отдельных строений	
ПРАКТИЧЕСКИ НЕ-ОПАСНЫЙ	1	>5	<5	0-20 (локальные участки или отсутствуют)	<300	Десятки лет или отсутствуют	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div> Временные водотоки</div> <div> Врезание</div> <div> Аккумуляция</div> <div> Скорость размыва берега, м/год</div> <div> Спряmlенные излучины</div> <div> Смена рукавов (развитие новых/отмирание старых), перестроение русла</div> <div> Размыв берега в результате затора льда</div> </div>				

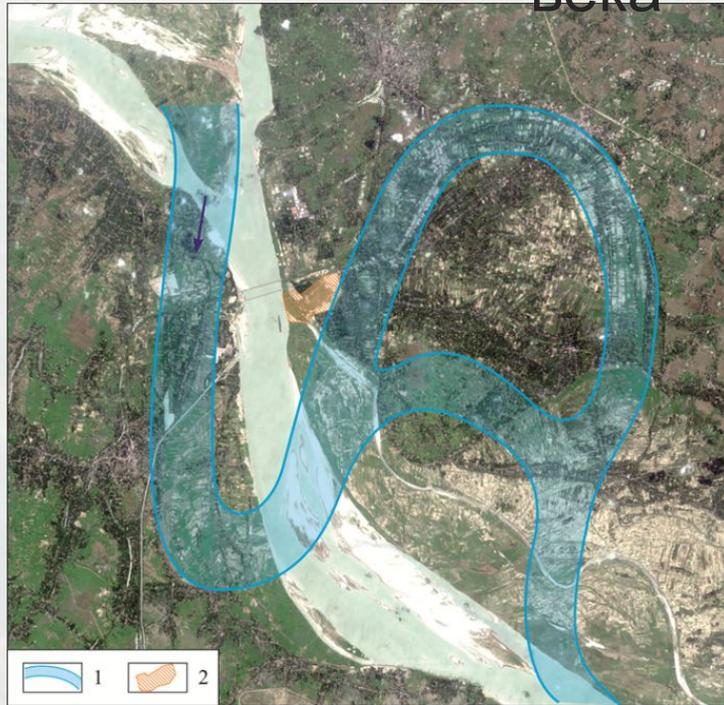
*Устойчивость русла к размыву определяется показателем устойчивости - числом Лохтина (Л): $L = d/H$, где d - средний диаметр наносов (мм), H - километрическое падение реки (м/км)

** если не выражена в масштабе карты

Горизонтальные русловые деформации на р.

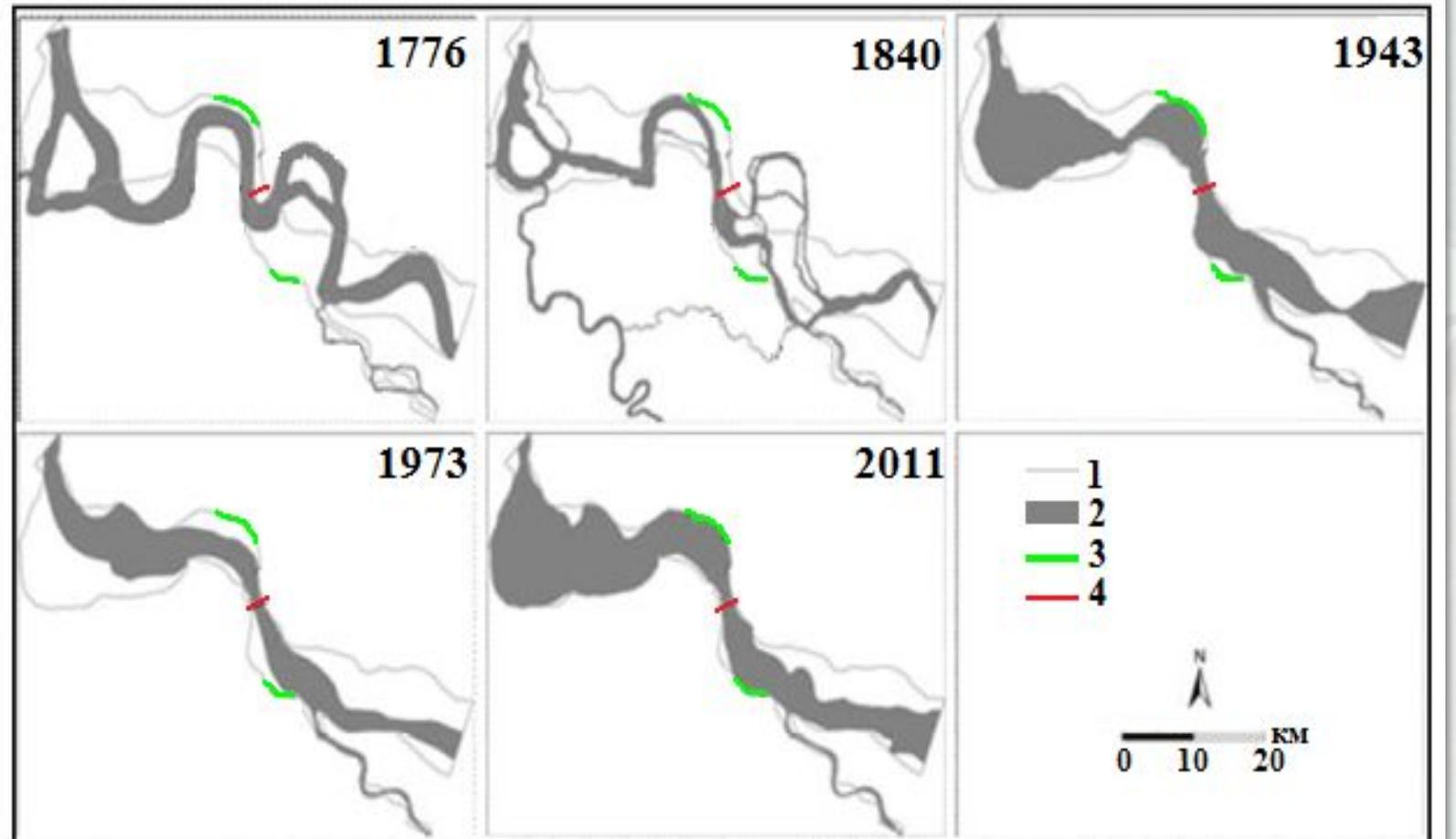


Деформации русла Ганга, начиная с XVIII века



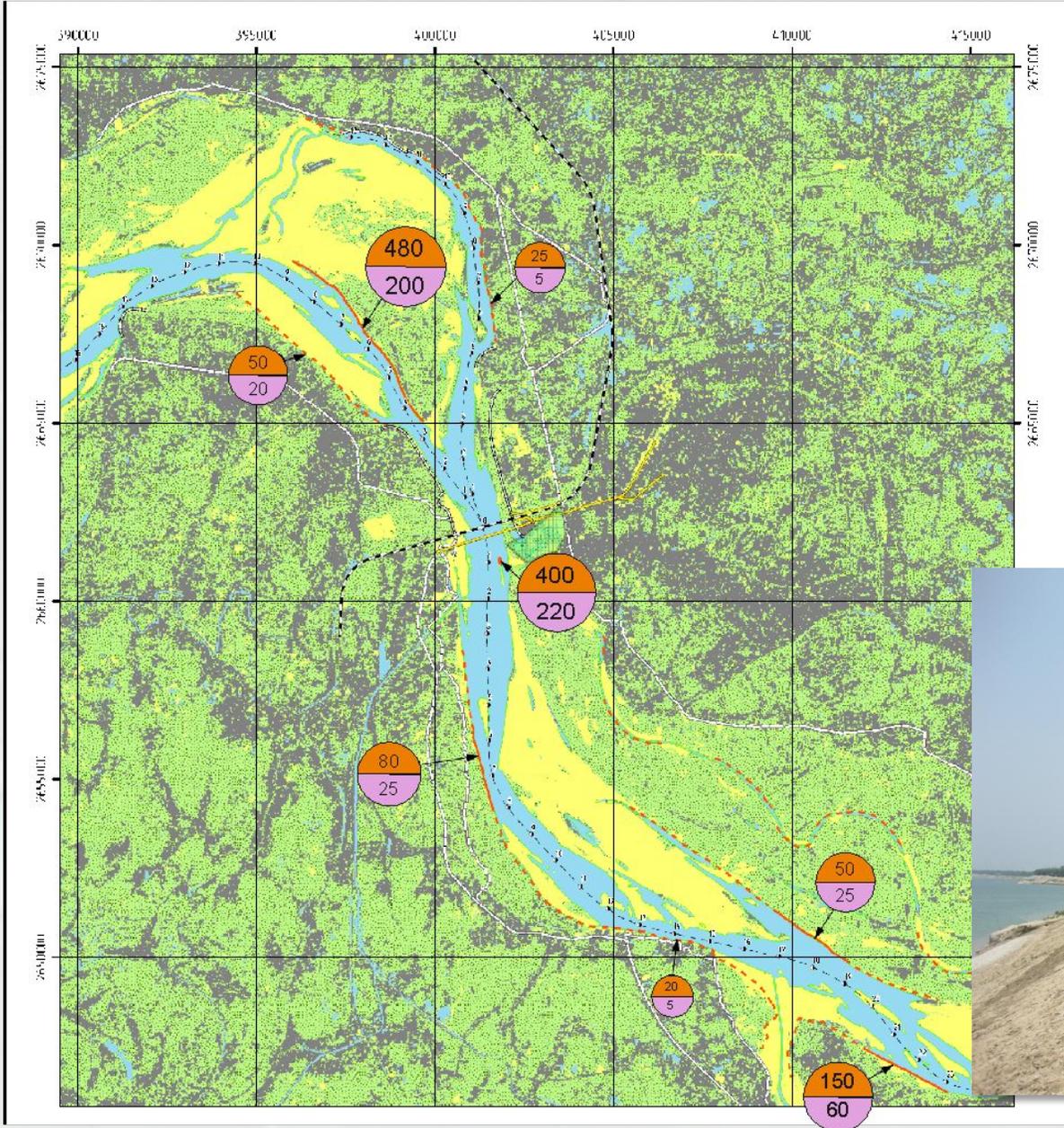
Положения русла Ганга
в конце XVIII века

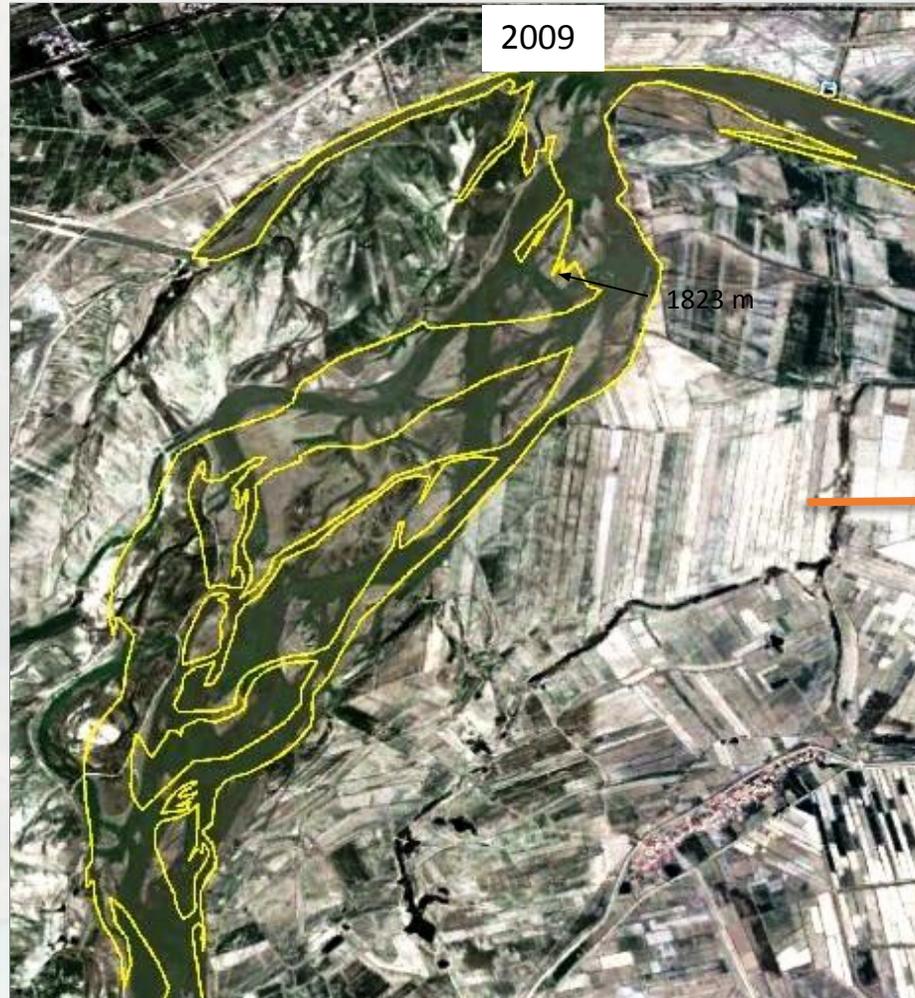
Сформировавшееся при спрямлении излучины разветвление функционировало на протяжении XIX столетия, после чего основное русло сместилось в правостороннюю часть дна долины.



Изменение конфигурации русла р.Ганг с 1776 по 2011 гг.
Русло реки обозначено вместе с песчаными побочными и
низкой поймой [Hore et al., 2013]

Современные скорости размыва берегов на р. Ганг

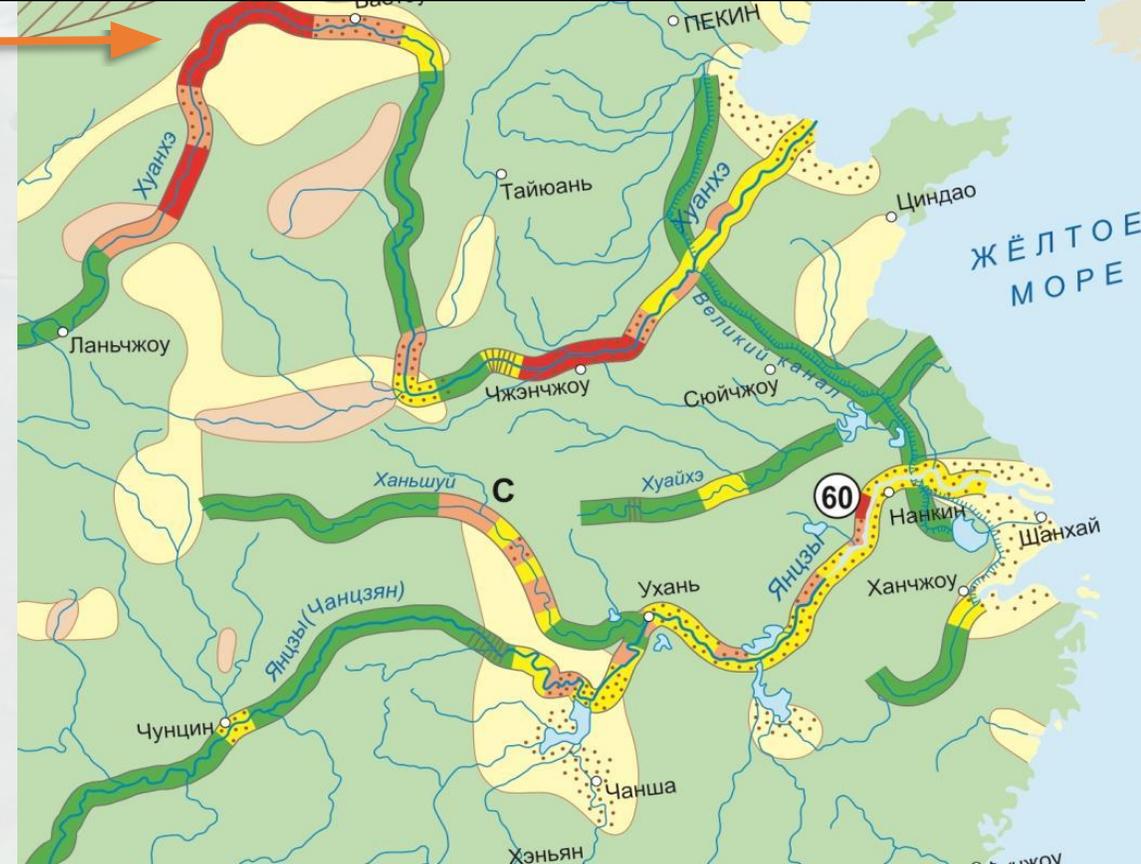
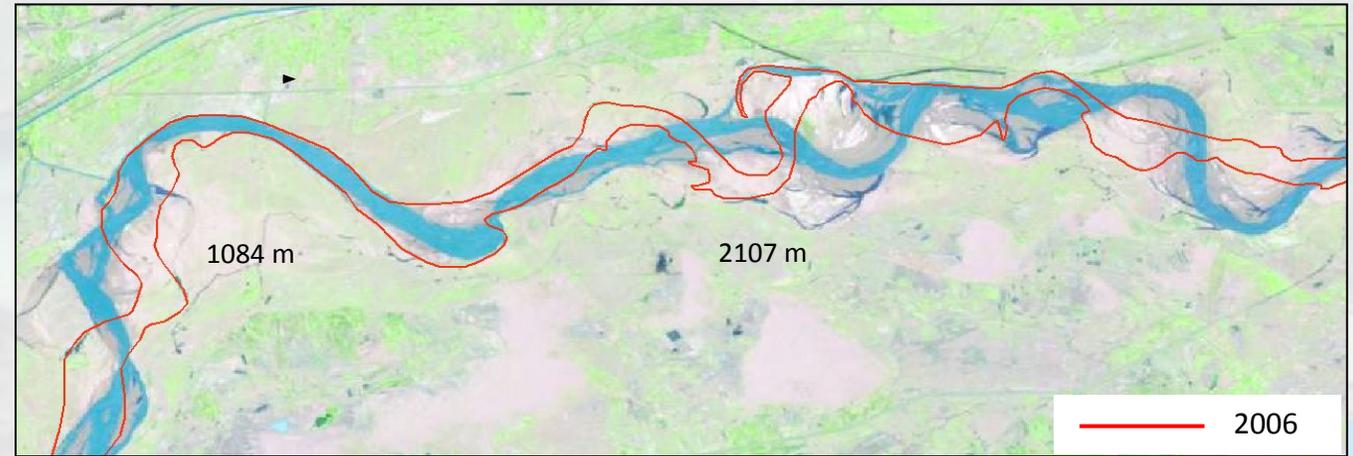




Желтая линия – положение русла р.Хуанхэ в 2015 г. На снимке 2016 г.

р. Хуанхэ

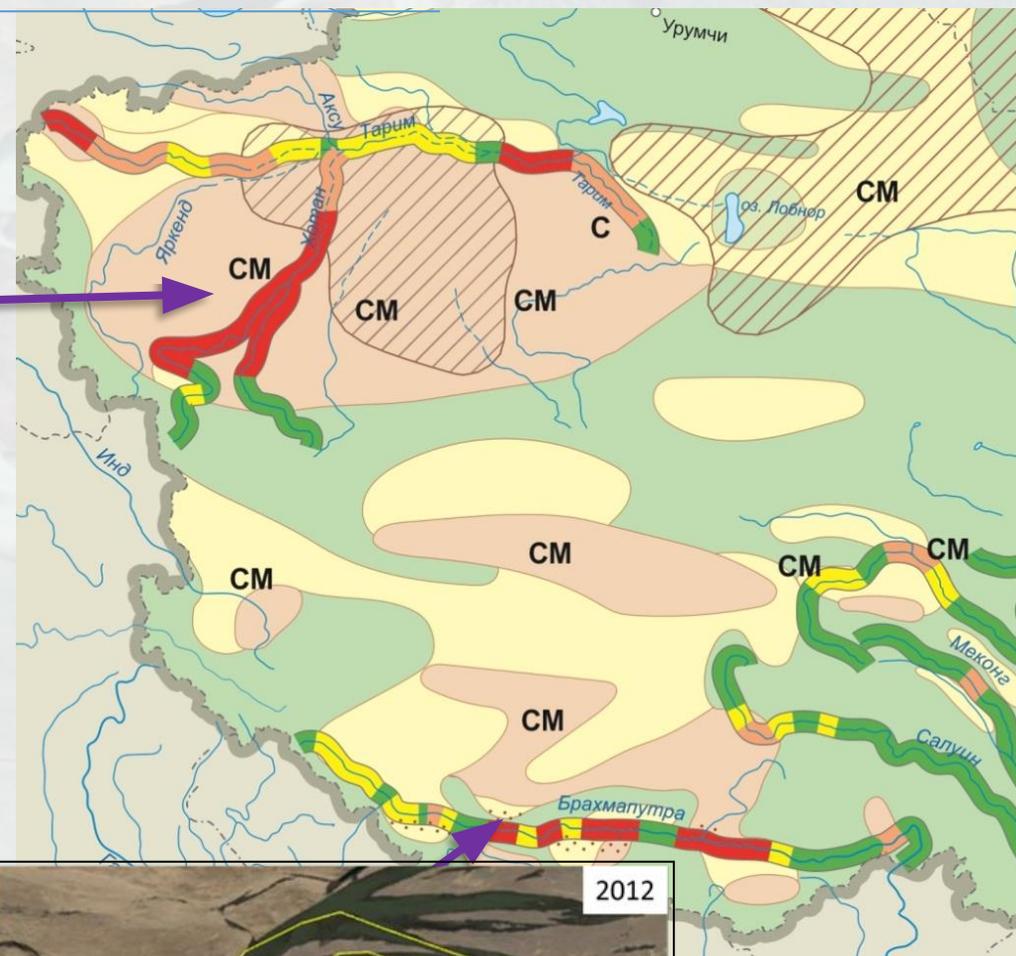
Скорость размыва берегов до 700 м/год
 Максимальная скорость размыва 290 м/день [Тао Ли,



Горизонтальные деформации в западной части Китая

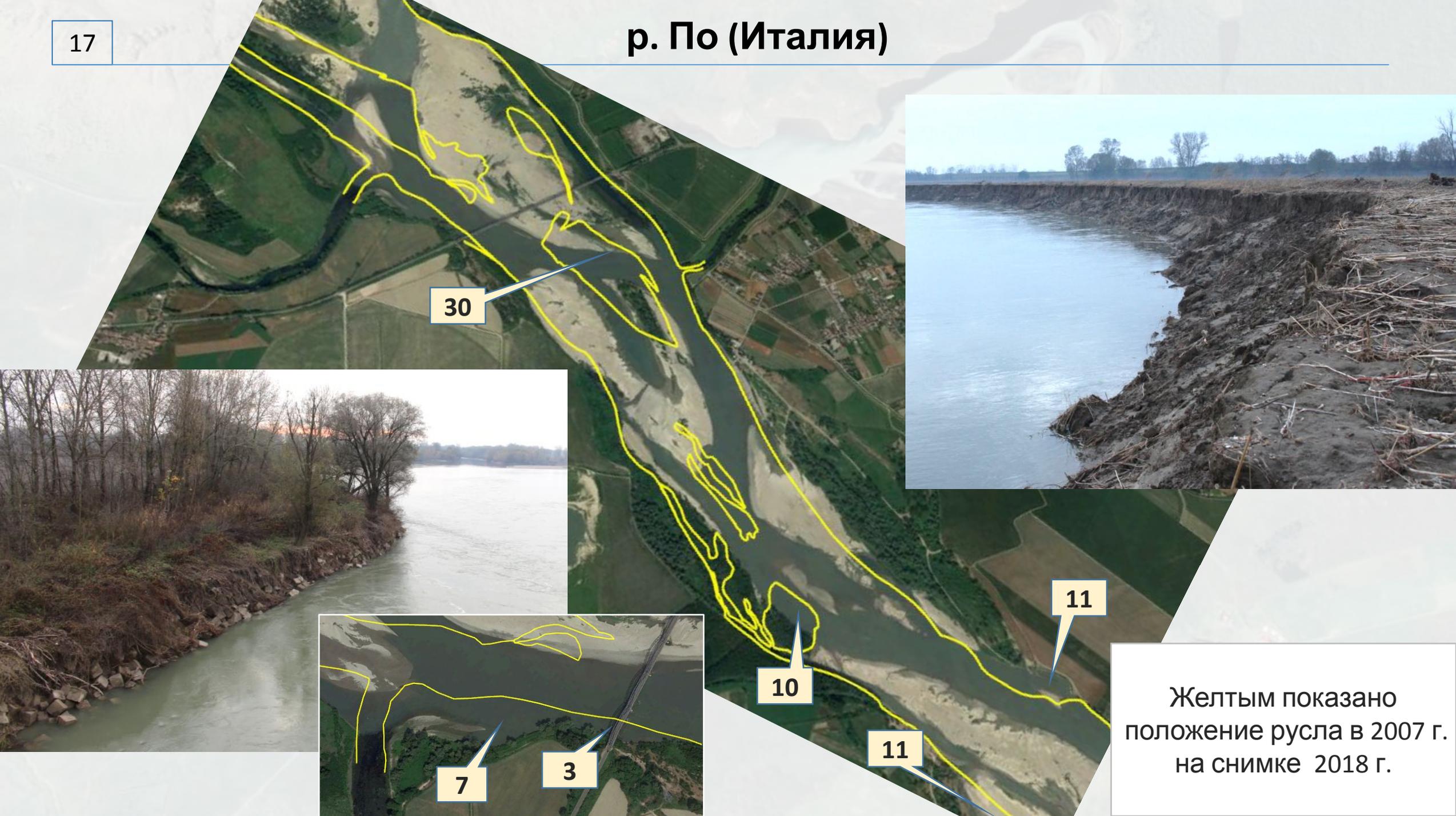


Деформации русла на реке Хотан за один год (2012-2013)



р.
Брахмапутра
Максимальный размыв
берега около 200 м/год

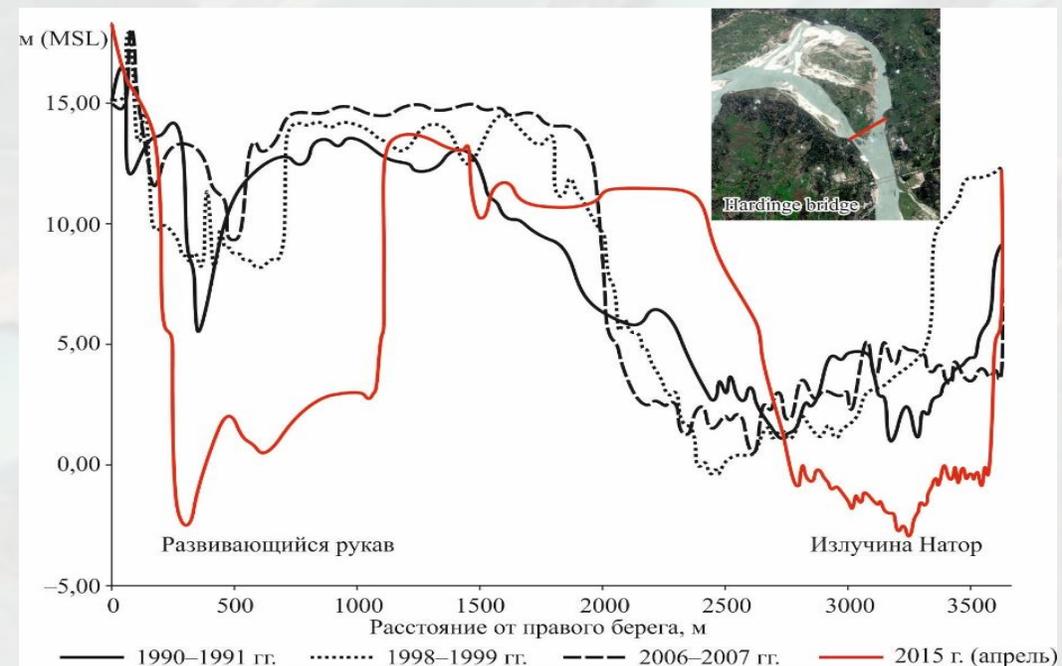




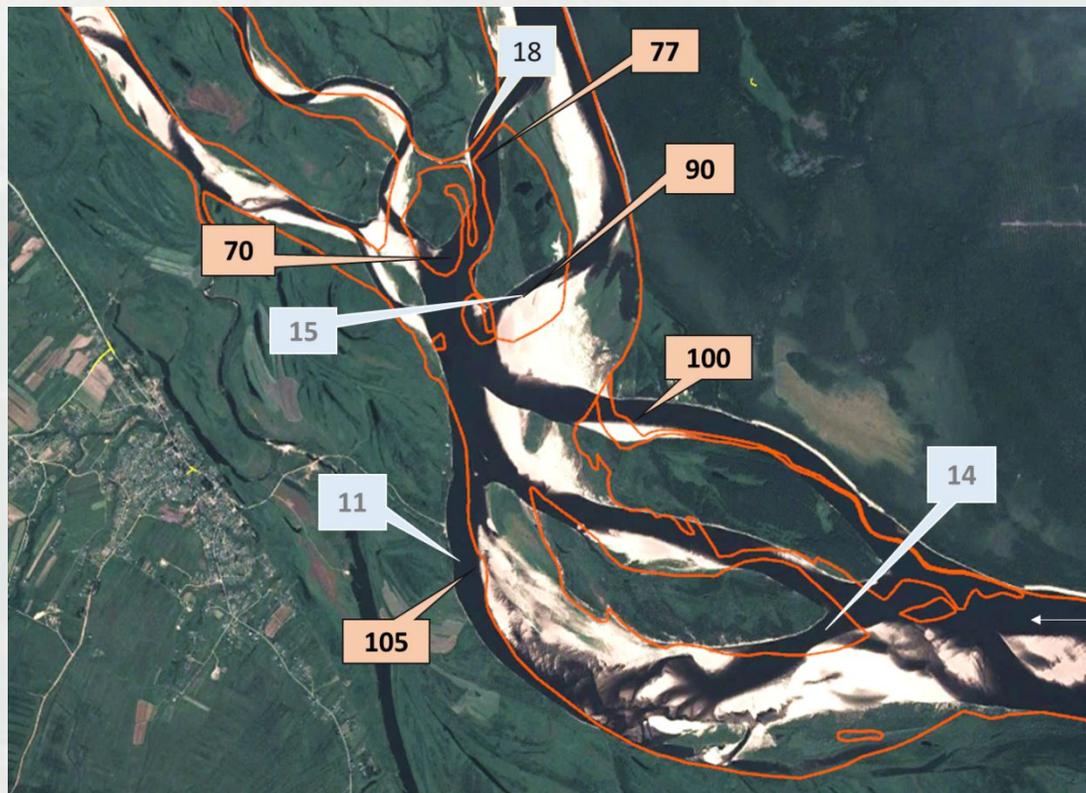
Изменение поперечного профиля в результате размыва берегов



- 1 – Размыв левого берега за период с 2011 по март 2014 г;
- 2 – размыв берега за период с марта 2014 по июнь 2015 г;
- 3 – динамическая ось потока в протоке в 2011 г.



Поступление в русло продуктов размыва



1986



2017



р. Северная Двина

С активно размываемых участков в русло поступает в среднем 50-150 тыс. м³/год наносов (что сопоставимо с объемами дноуглубительных прорезей).

В годы с наибольшими размывами – до 0,5-1,5 млн. м³.

Укрепление берегов на р.Ганг (Бангладеш)



Размыв берегов - сложный многофакторный процесс

1. Основной фактор, влияющая на размыв – устойчивость русела, строение берегов.
2. В руслах со слабой устойчивостью, где берега сложены легкоразмываемыми породами важнейшим фактором является водоносность реки и ее гидрологический режим.
3. Развитие форм русла (излучин) способствует изменению угла подхода потока к берегу, а, следовательно, увеличению размыва.
4. Важную роль в размыве берегов играет русловой рельеф, оказывающий направляющее влияние на поток.
5. При изменении русла (строительство плотин) в нижних бьефах гидроузлов поток осветлен, что сказывается на увеличении скоростей размыва.
6. В результате размыва берегов в русло поступает большое количество наносов, которые осаждаюсь способствуют формированию форм руслового рельефа (гряд).
7. Результатом размыва также является изменение продольного профиля реки.

An aerial topographic map of a region, likely in the Balkans, showing a river winding through a valley. The terrain is color-coded by elevation, with brown and tan for higher elevations and green for lower elevations. Agricultural fields and some buildings are visible in the lower right quadrant. The text "СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ" is overlaid in the center of the map.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ