

Инженерно-
гидрометеорологические
изыскания для строительства

Русловой процесс — взаимодействие потока и русла, при котором изменяется их состояние, сток наносов и объем речных грунтовых отложений. Русловой режим — совокупность характерных изменений речных русел под влиянием определяющих факторов. Русловые деформации — изменение морфометрических характеристик русла под влиянием стока воды, наносов.

Объекты исследования

- Реки и их бассейны
- Долины рек
- Русла рек
- Формы русла
- Русловые формы
- Частицы наносов и отложений

Признаки размера рек

- Площадь водосбора F^2
- Длина реки, км
- Расход воды, куб. м/с
- Порядок реки

Размеры водотоков по ГОСТ Р 59054-2020

ручьи

очень малые реки (F до 200 км^2)

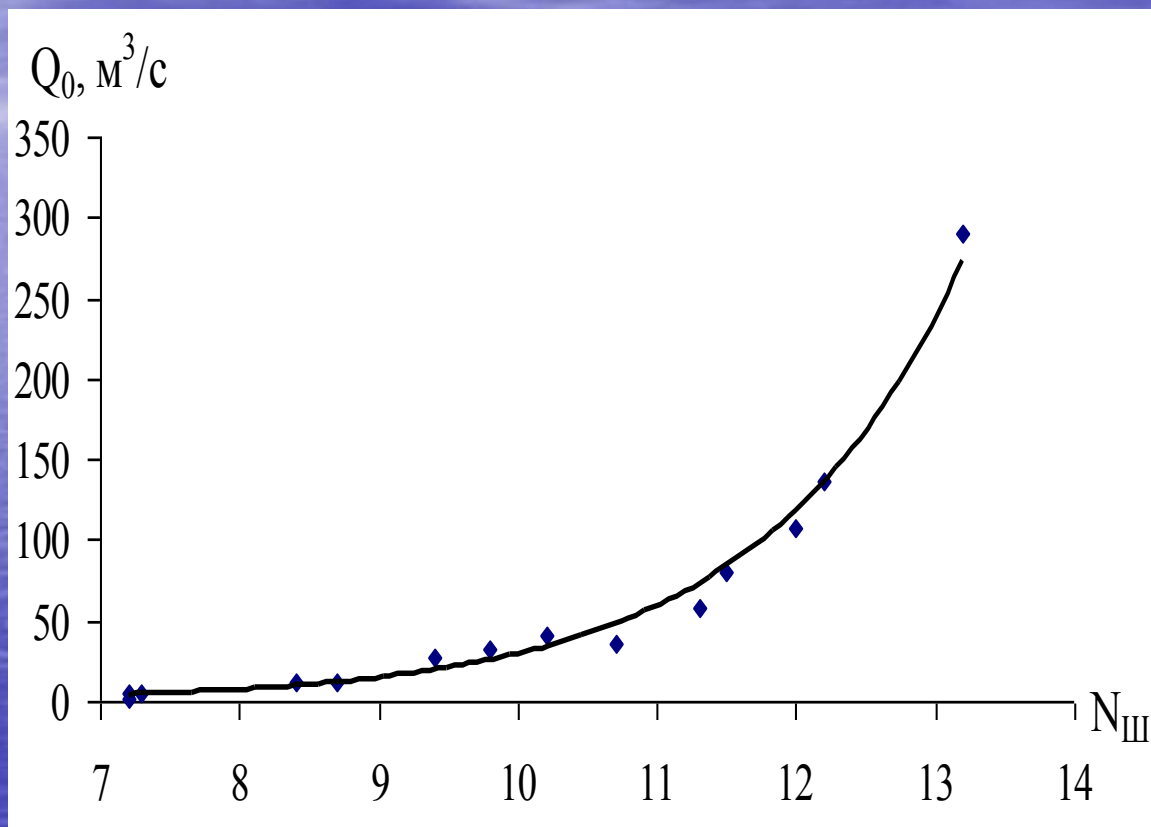
малые реки ($200 < F < 2000 \text{ км}^2$)

средние реки ($2000 < F < 5000 \text{ км}^2$)

крупные реки ($> 5000 \text{ км}^2$)

крупнейшие реки

Водоносность (Q_0) и порядки рек



Типы рек

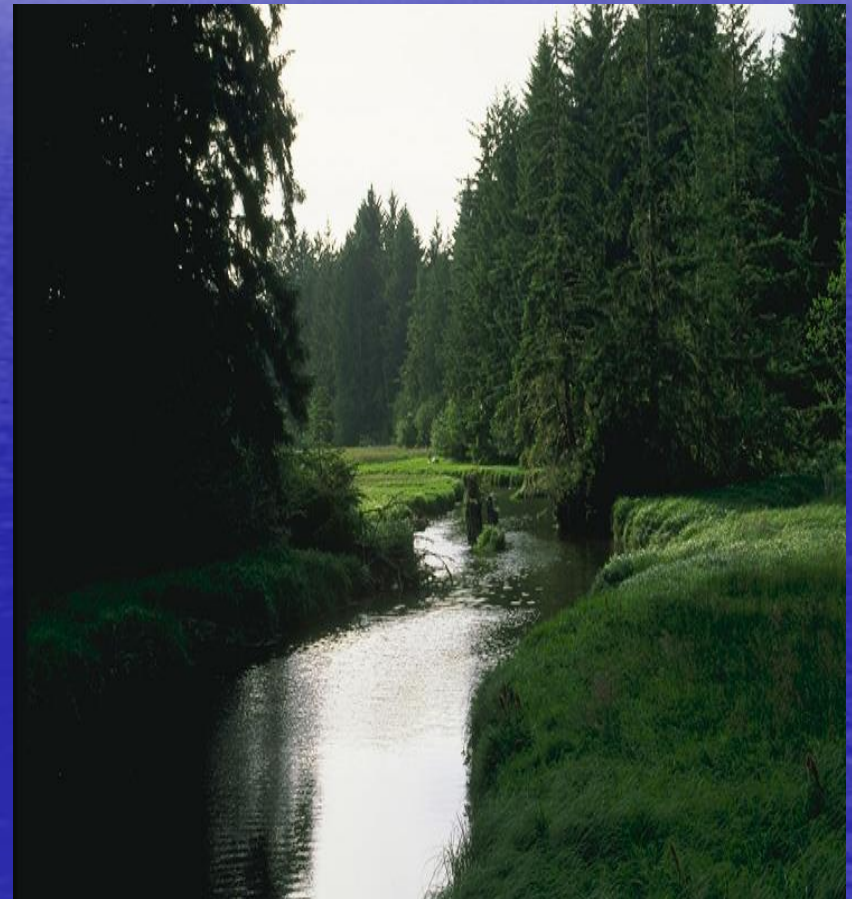
- равнинные
- горные
- полугорные

- Равнинные реки

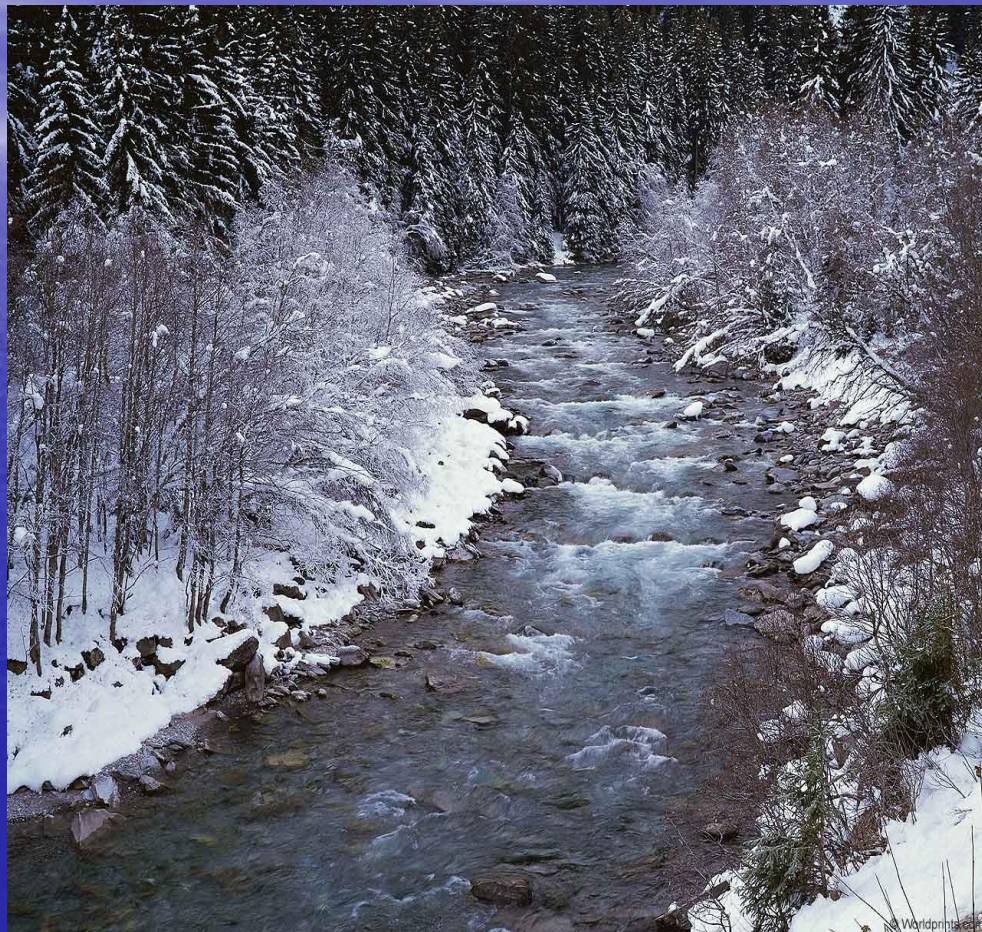
Поток спокойный

Число Фруда $Fr < 1$

Уклон реки $J < 0,7\text{‰}$



- Горные реки
Поток бурный
Число Фруда $Fr > 1$
Уклон реки $J > 7\text{‰}$



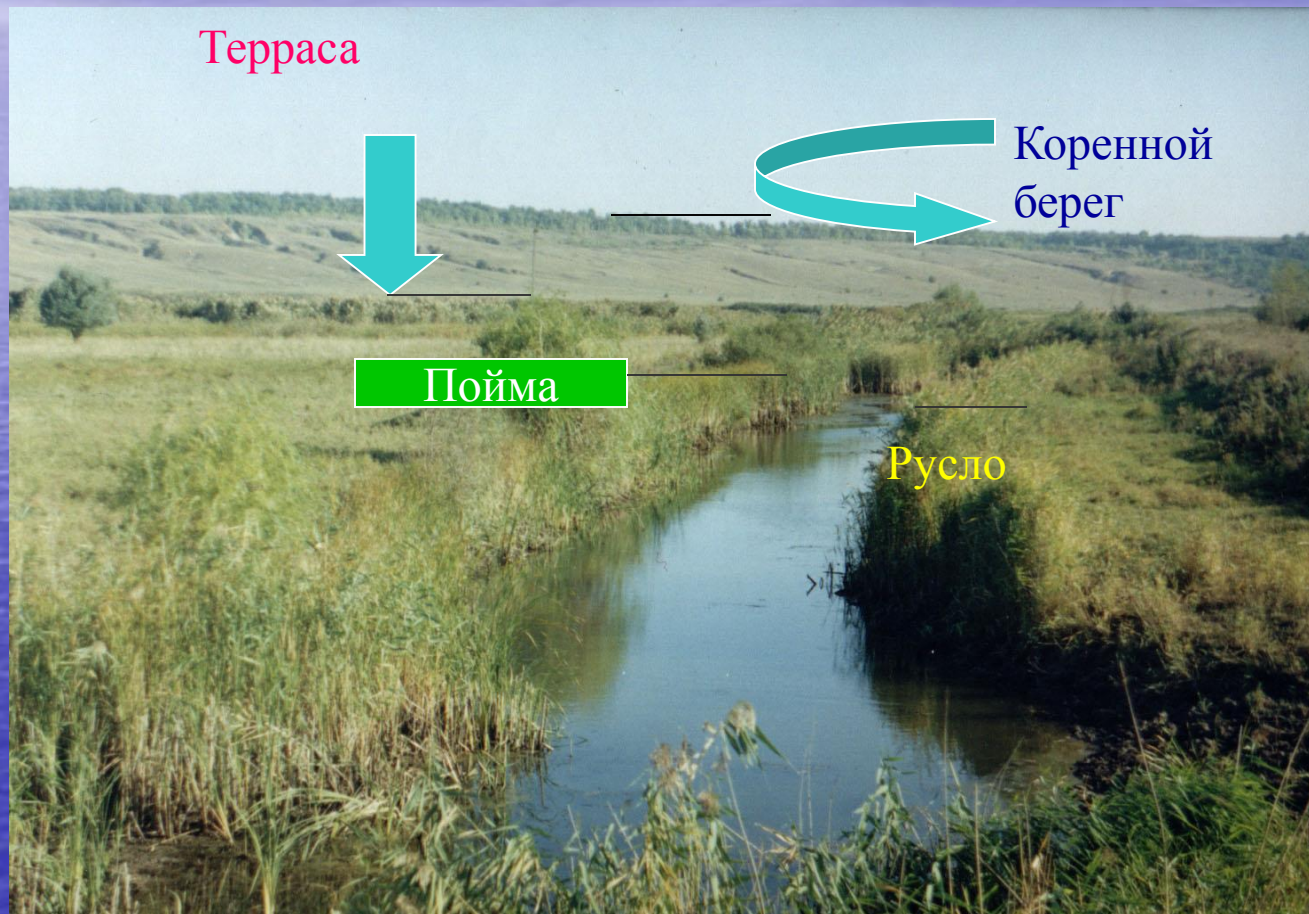
- Полугорные реки

Число Фруда $0,2 < Fr < 1,0$

Уклон реки $7 > J > 0,7\text{‰}$



Внутридолинный рельеф



Типы речных отложений

- русловые
- пойменные

Фракции речных отложений

- Валуны ($d > 100$ мм)
- Галька ($10 < d < 100$ мм)
- Гравий ($2 < d < 10$ мм)
- Песок ($0,05 < d < 2,00$ мм)
- Пыль ($0,01 < d < 0,05$ мм)
- Ил, глина ($d < 0,01$ мм)

Русловые деформации – изменение морфометрических характеристик русла под влиянием стока воды, наносов.

Проявление русловых процессов:

- деформации продольного профиля рек;
- изменения формы русла;
- движение русловых форм;
- устойчивость (неустойчивость) частицы в потоке воды и на поверхности дна.

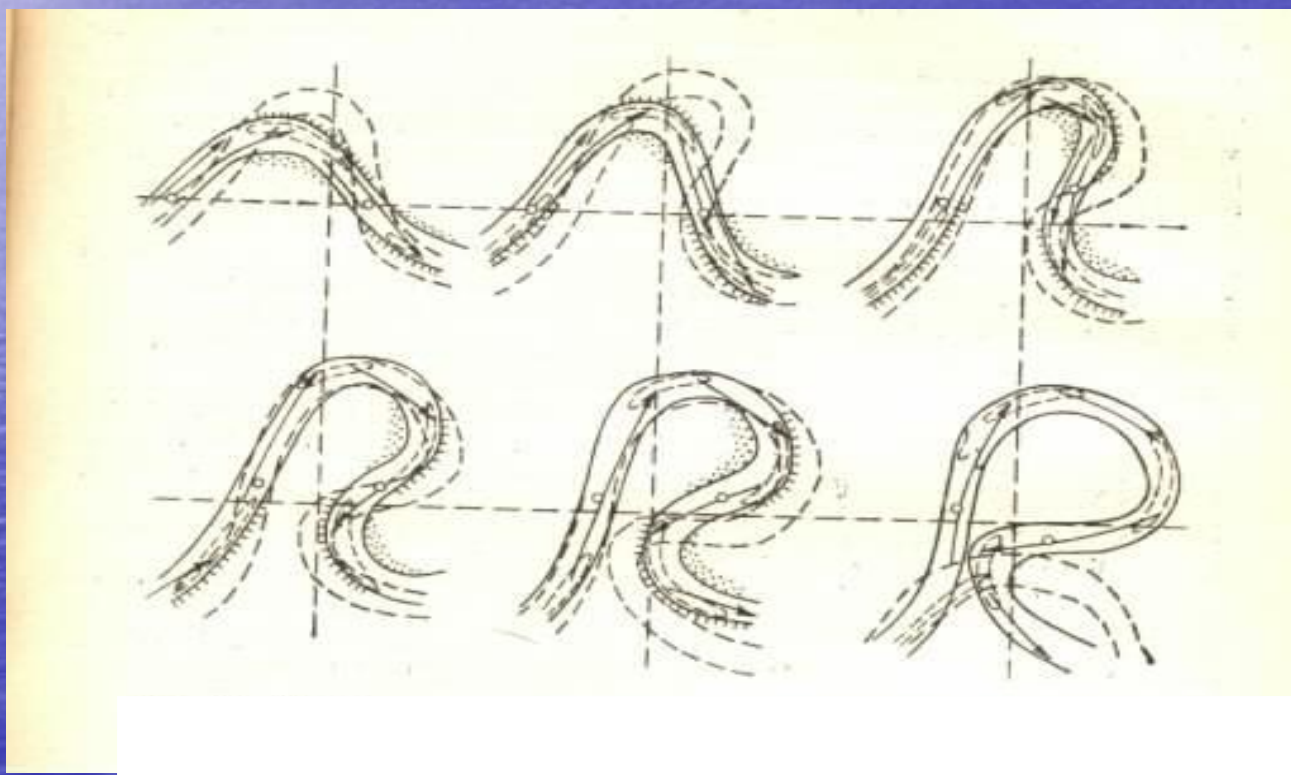
Виды русловых деформаций по форме проявления:

- вертикальные
- горизонтальные

Вертикальные деформации русла р. Алабуга (Экологическое русловедение..., 2000)



Продольное и поперечное смещение берега на участке излучины (горизонтальные деформации русла)



Местные горизонтальные деформации на одной из рек Республики Башкортостан

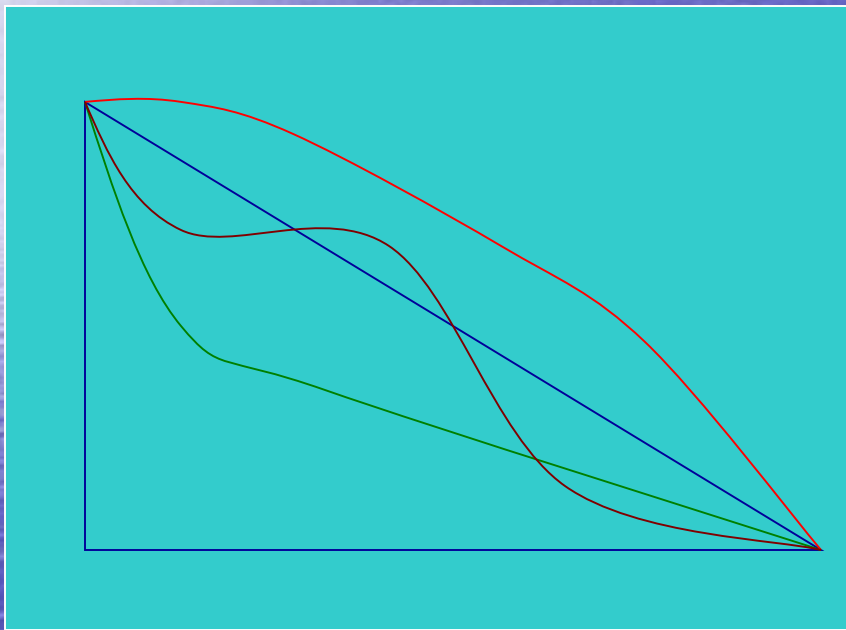


Типы деформаций по масштабу проявления

- $L_p = L$ (деформации продольного профиля) – общие
- $L_p < 0,1-0,5L$ (деформации в пределах однородного участка реки)
- $L_p = 0,01-0,10L$ (деформации в пределах однородного участка долины реки)
- $L_p = 10-20B$ (деформации по длине плес-перекатного участка реки)
- $0,01B < L_p < 10B$ (деформации при смещении русловых форм)
- $L_p < 0,01B$ локальные (местные) деформации

Общие деформации продольного профиля

Форма профиля



Причины деформации

Тектоника и денудация

Местный и общий базис эрозии

Удлинение реки или ее спрямление

Типы русловых деформаций по длительности проявления

- направленные (необратимые)
- периодические (циклические)

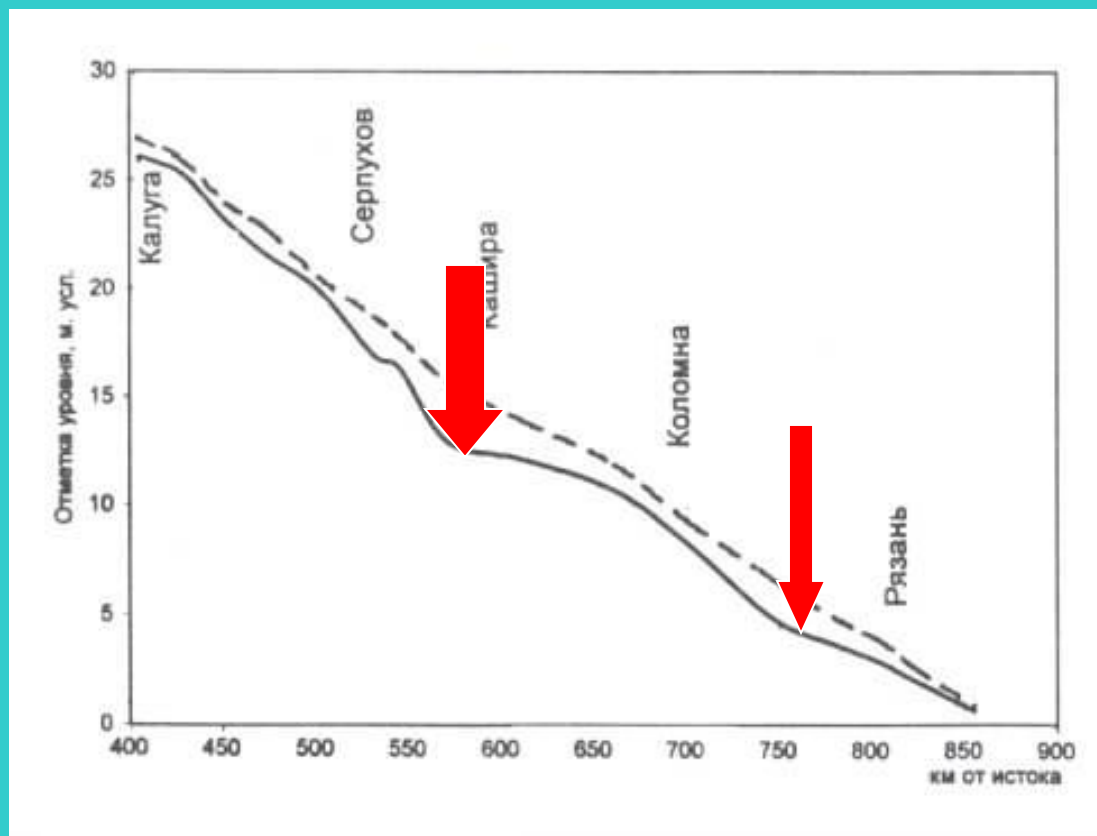
Причины русловых деформаций

- изменение стока наносов
- изменение транспортирующей способности потока

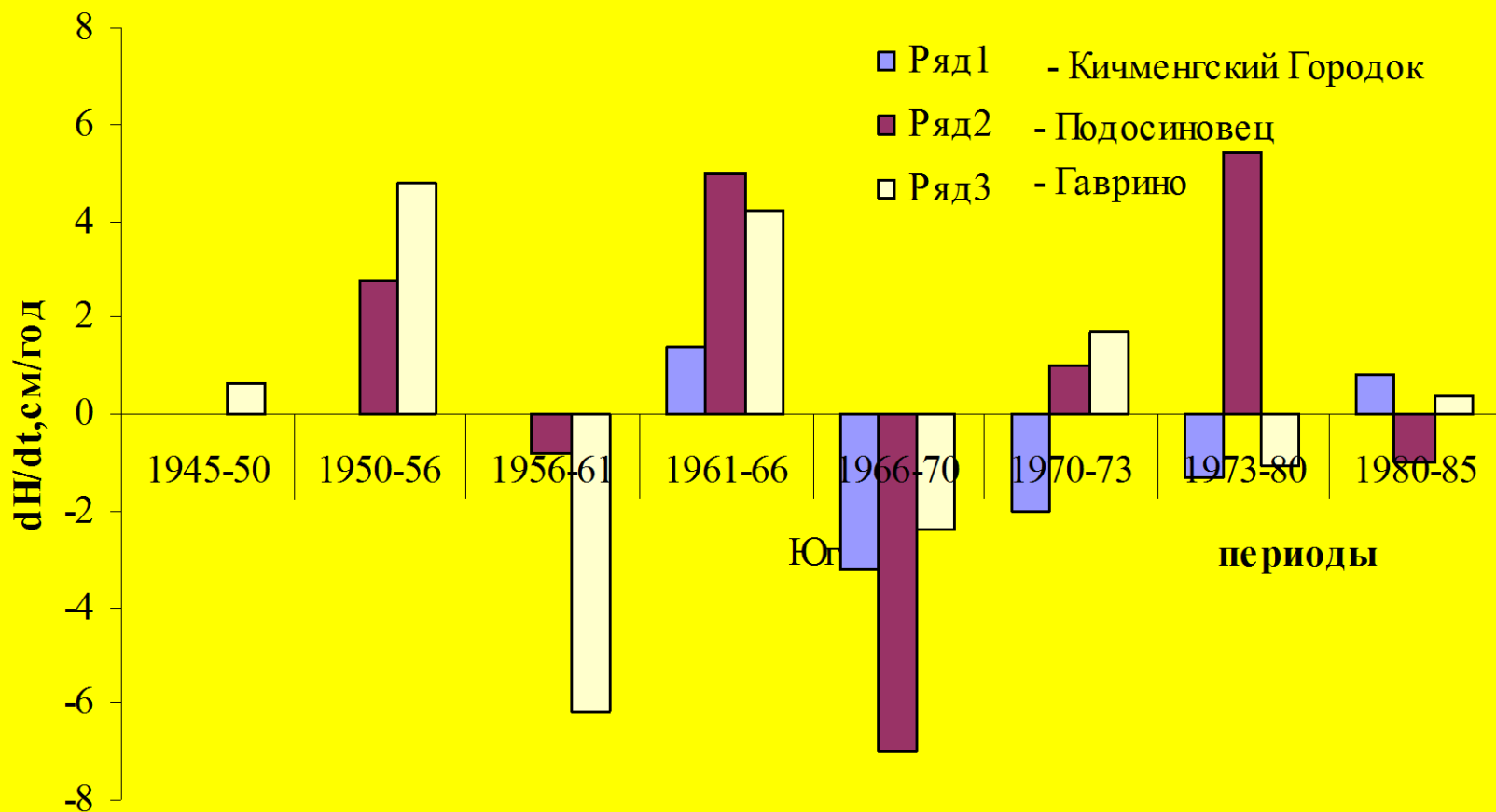
Морфодинамические типы русла

- относительно прямолинейные русла
- меандрирующие русла
- разветвленные русла

Направленные вертикальные переформирования продольного профиля реки



Характеристика изменчивости отметок дна в некоторых створах русла р.Юг



Относительно прямолинейное русло



Выделение прямолинейных участков русла (Морфодинамические типы русел..., 1998)

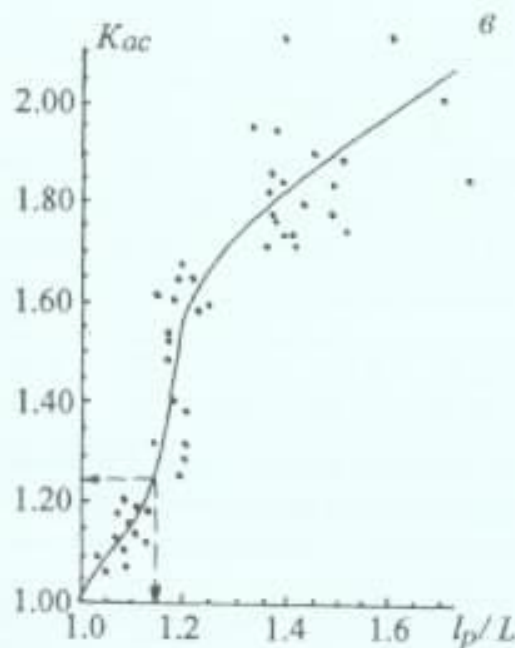
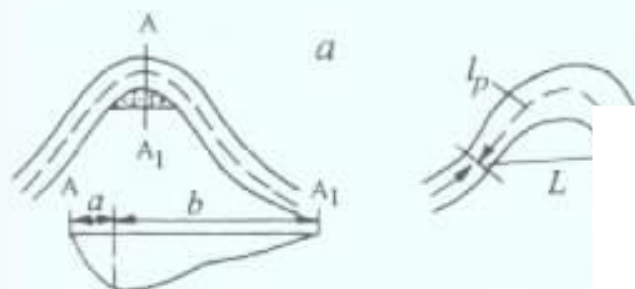


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента асимметрии K_{ac} от степени излучины — угла кривизны l_p/L : а, б — способы определения, соответственно, $K_{ac} = b/a$ и l_p и L ; в — графически $K_{ac} = f(l_p/L)$

Речные излучины



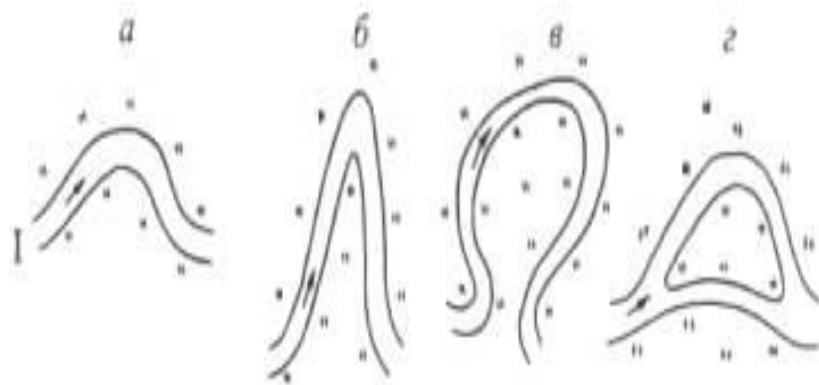
Характеристики излучин



l/L = коэффициент развитости излучины, l - длина излучины, L - шаг излучины, r - радиус кривизны, B_M - ширина пояса меандрирования

Развитость излучин

Коэффициент l/L



а) $1,15 < l/L < 1,40$

б) $l/L > 2,0$

в) $l/L > 3,0$

г) $l/L = 1,5-2,0$

а – сегментная с продольным перемещением; б – синусоидальная (с поперечным перемещением); в – петлеобразная (с продольно-поперечным перемещением); г – прорванная

Условия развития излучин

- свободные
- затрудненные
- ограниченные

Литология грунтов и русловые процессы

Условия развития деформаций

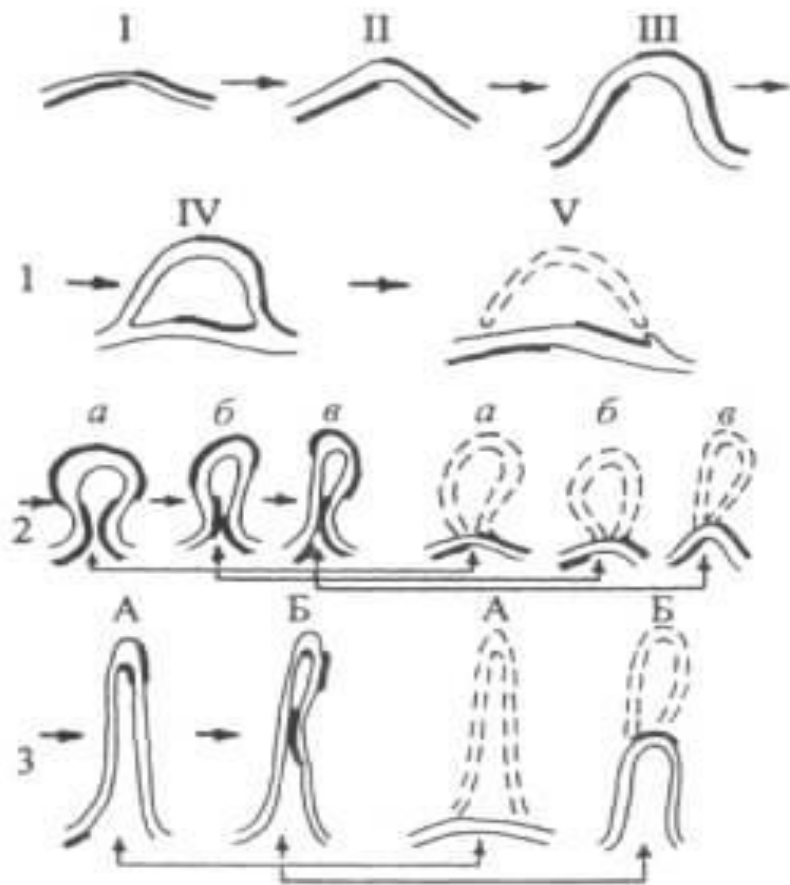
- фактор изменения речных наносов
- фактор изменения интенсивности русловых процессов

Свободные излучины

Ширина поймы $B_{\Pi} > 3-4B$
Ширина пояса меанд-
рирования $B_m < B_d$,
где B_d – ширина долины



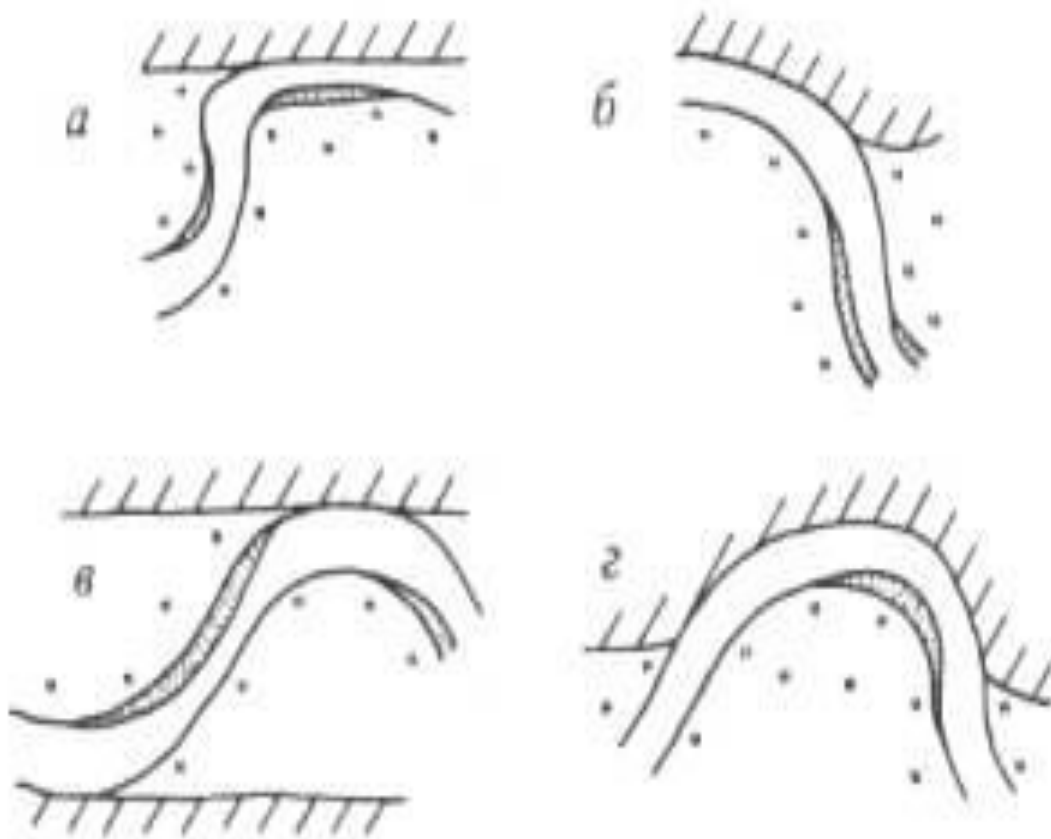
Эволюция излучин в свободных условиях



I-V – стадии развития излучин; 1, 2, 3 – пути возможной трансформации крутых излучин; а, б, в – варианты трансформации петлеобразных излучин; А, Б – варианты трансформации синусоидальных излучин. Утолщенными линиями показаны зоны размыва берегов

Затрудненные условия формирования излучин

$$B < B_{\text{п}} < 3-4B$$



а – вынужденная; б – адаптированная с верхним крылом у коренного берега; в – сегментная, с продольным перемещением; г – вписанная

Сегментная адаптированная излучина

$$B < B_{\Pi} < 3-4B$$



Врезанные излучины р. Лены
(ограниченные условия меандрирования).
Фото Б.Н. Власова



Врезанные излучины Рейна. Фото А.М. Алабяна



Разветвления

```
graph TD; A[Разветвления] --> B[осередковые]; A --> C[русловые]; A --> D[пойменные];
```

осередковые

русловые

пойменные

Русловые разветвления рек



Типы разветвлений

- Простые одиночные русловые разветвления

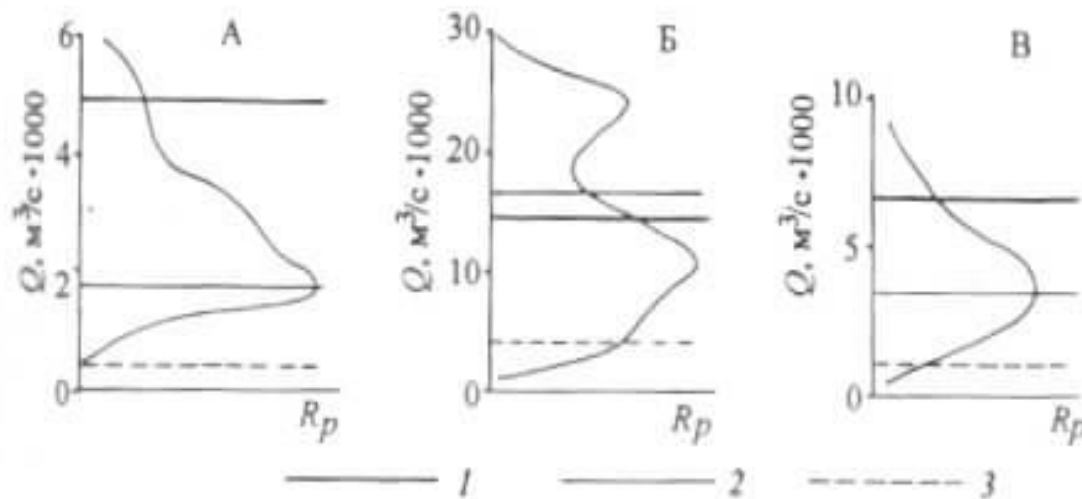


р. Чулым
(с. Красная
Горка)

р. Ветвей
(п-ов Камчатка)



Формирование пойм и руслоформирующие расходы воды



А – верхняя Обь, Б – нижняя Обь, В – Чулым. 1 – линия "поймы", 2 – линия "многоруканности", 3 – линия "осередков".

$Q_p = \max (R_p)$
 R – расход русловых
наносов,
 P – повторяемость
ежедневных
расходов воды

Русловые формы

- макроформы
- мезоформы
- микроформы

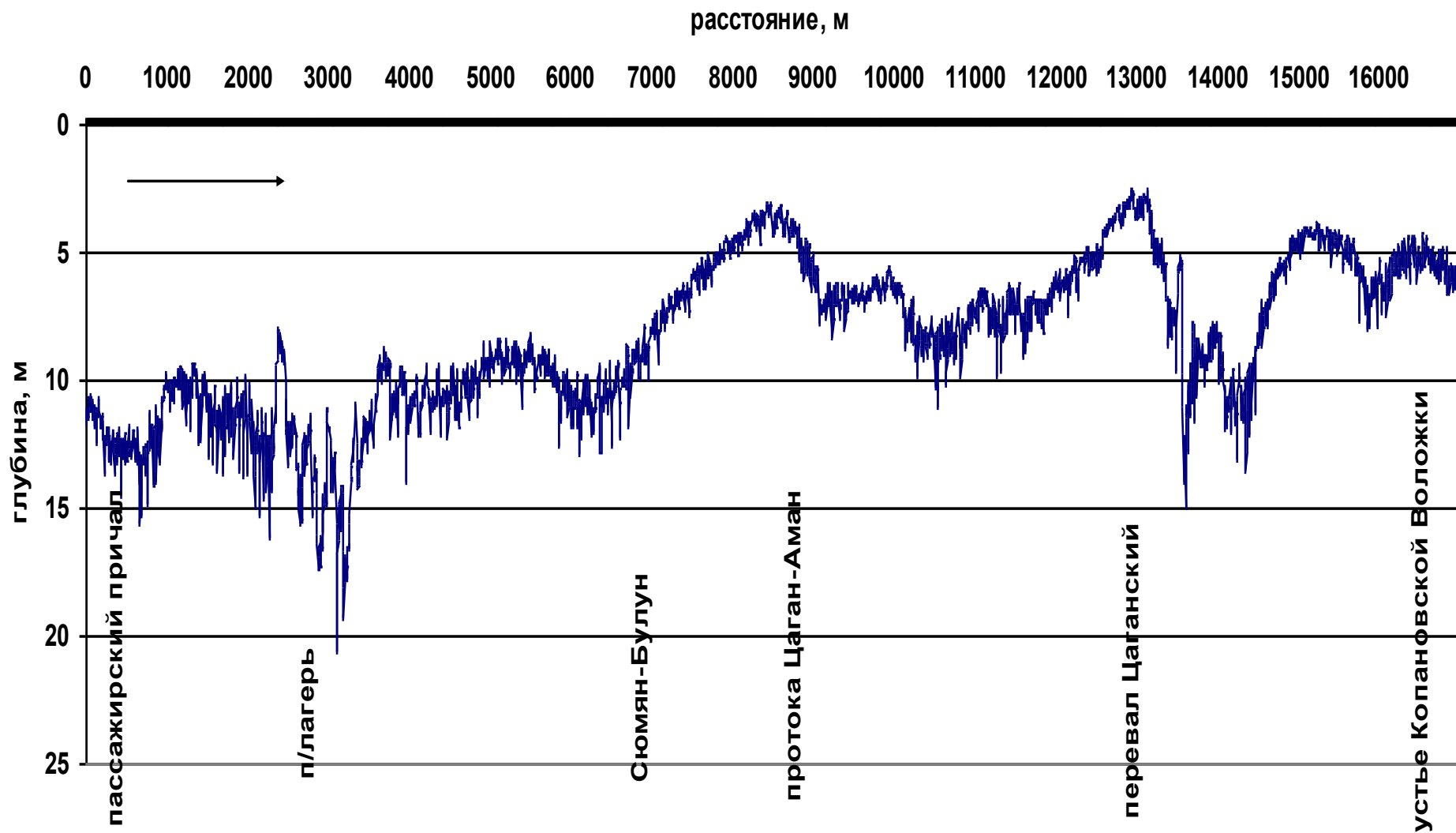
Поверхность побочня (макроформы в русле р. Северная Двина



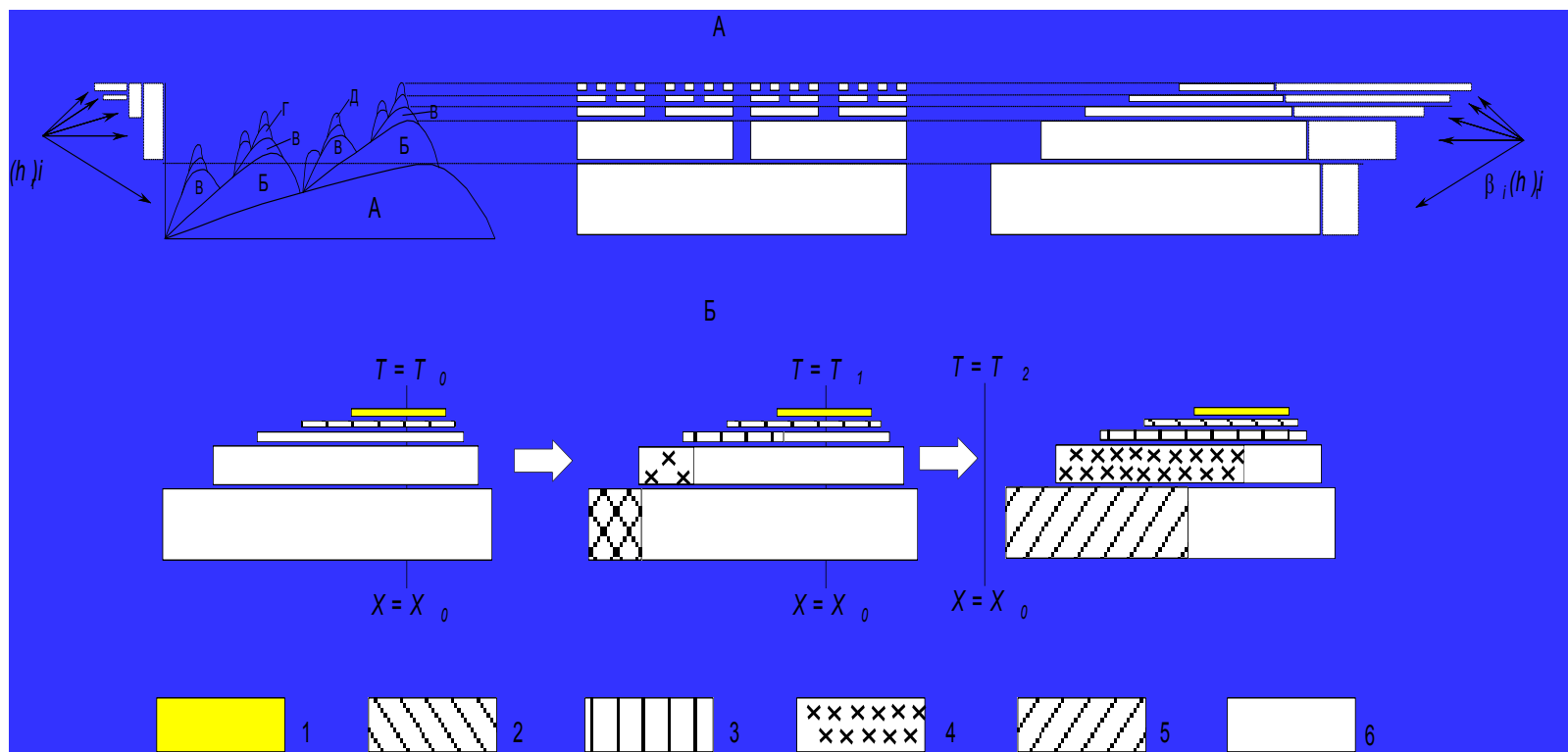
обочень на малой реке



Структура гряд в низовьях р. Волги (данные В.Н. Коротаева)



Элементы иерархии гряд



Плановое положение макроформ и шаг гряд

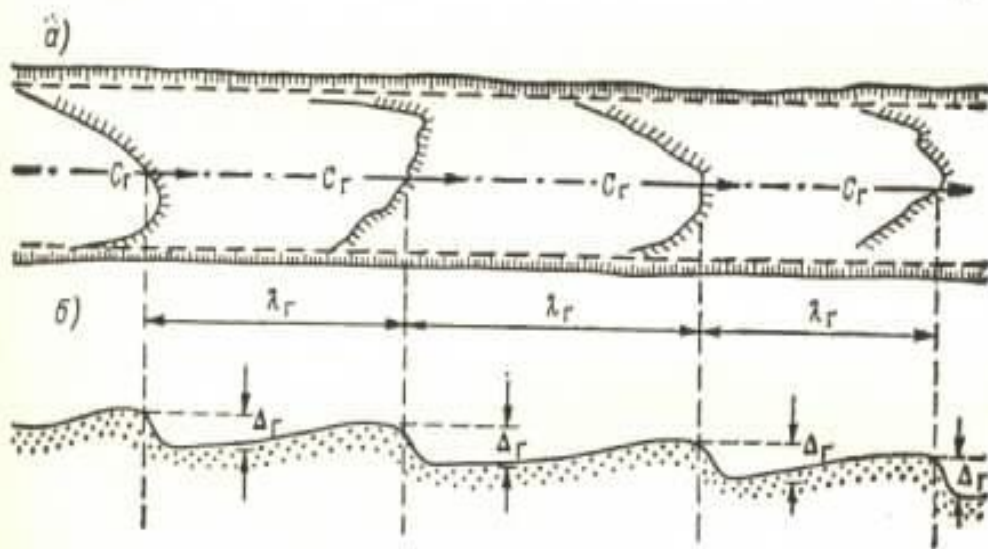
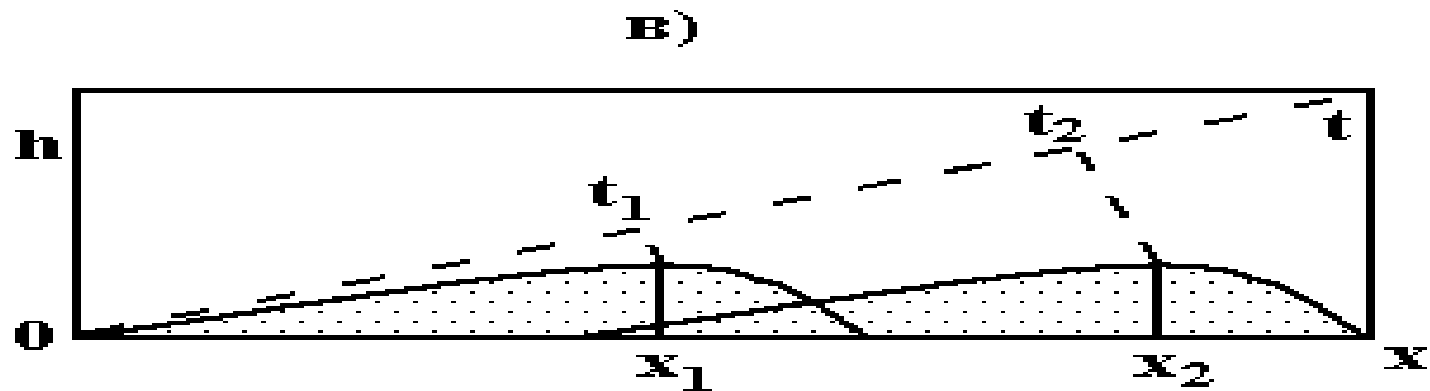
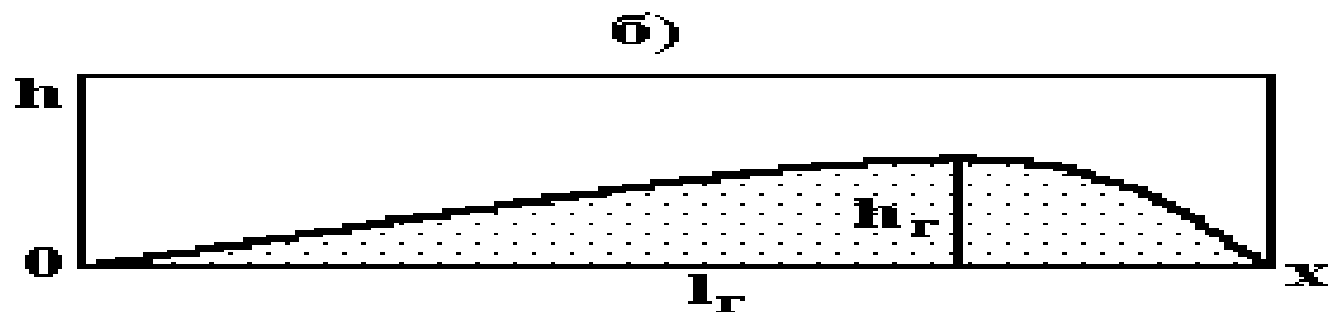
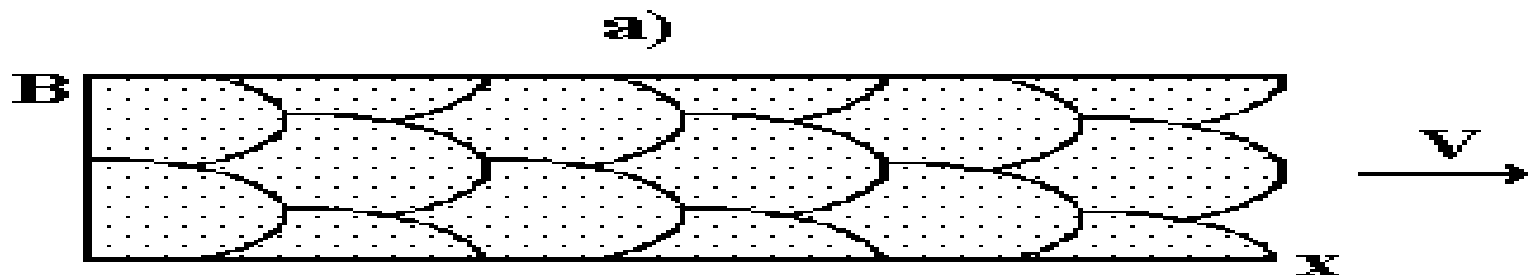


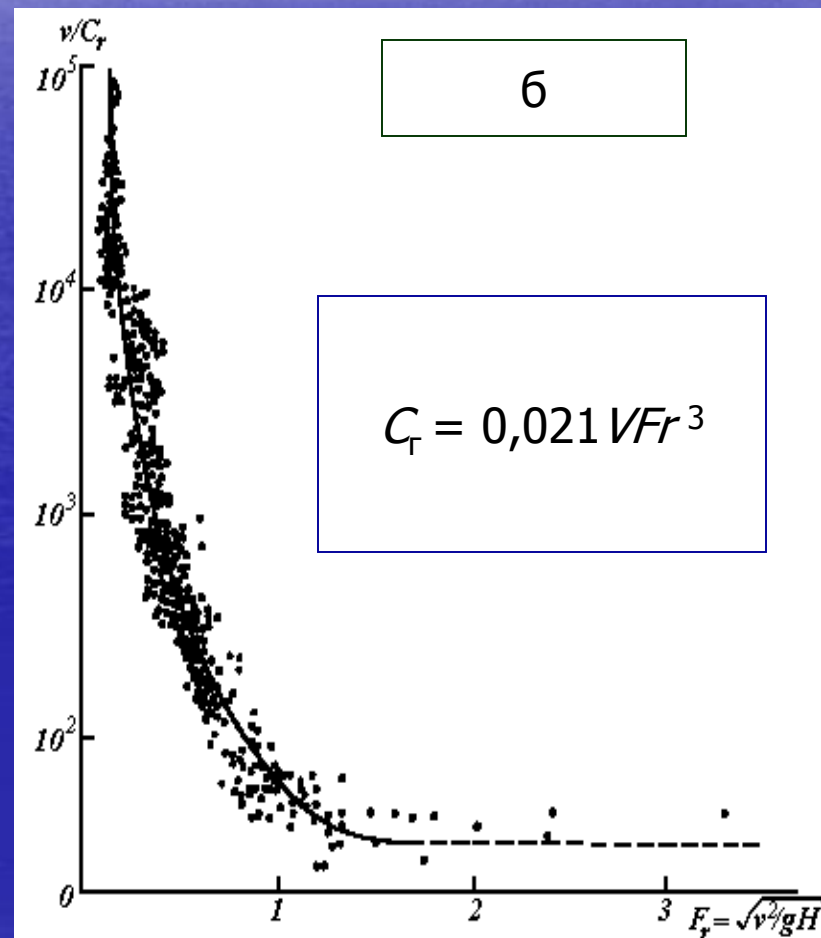
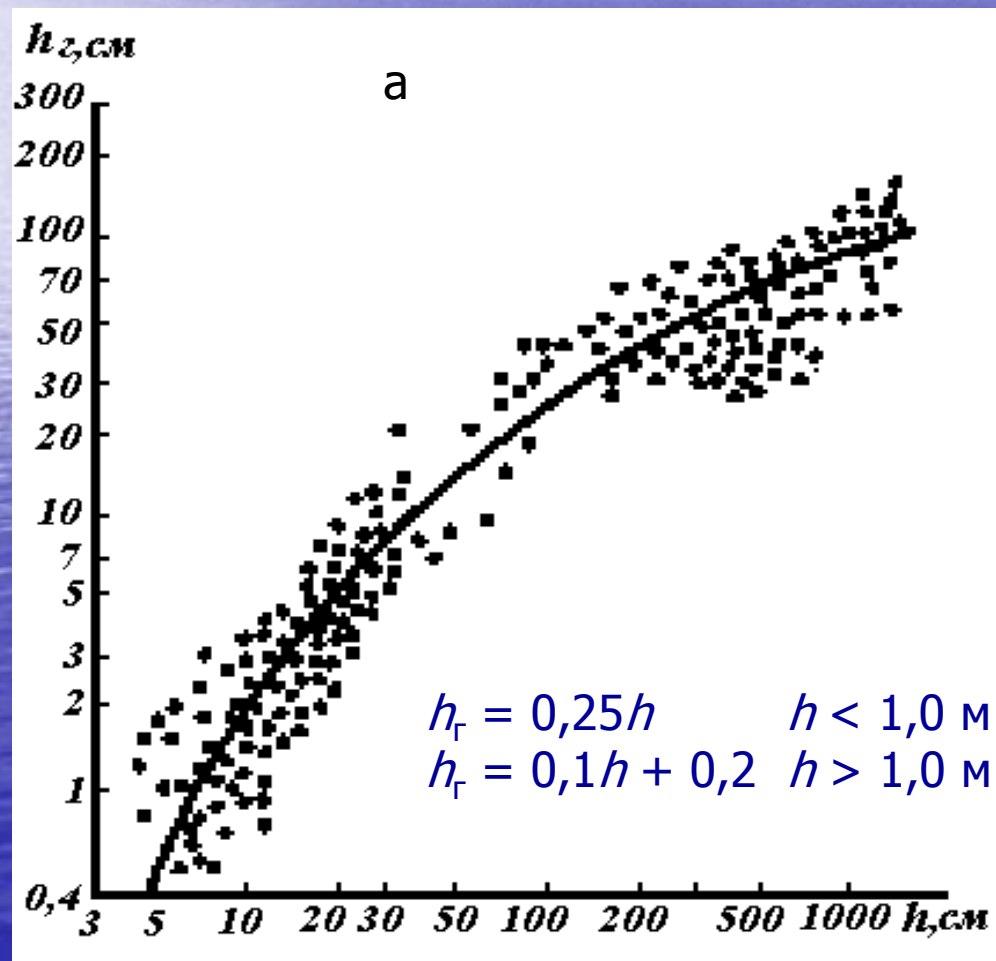
Рис. 6.1. Ленточногрядовый тип руслового процесса.

а — план, б — продольный профиль русла: λ_r — шаг гряд, Δ_r — высота гряд, C_r — скорость гряд.

Плановое положение (а), продольный профиль (б) и
смещение микроформ (в)



Изменение высоты (а) и скорости смещения (б) микроформ руслового рельефа



Соответствие терминов в классификациях типов гряд

- Перекаты
- Осередки
- Дюны
- рифели

Макроформы

Мезоформы

Микроформы

Гряды А

Гряды Б

Гряды В

Гряды Г, Д

Гряды и расходы влекомых наносов

$$G = 0,6 B_a p h_{\Gamma} C_{\Gamma}$$

$$G_{\Pi} = G_{\text{м}} + G_{\text{пол}} = 0,6 B_a p [(h_{\Gamma} C_{\Gamma})_{I_{\text{м}}} + (h_{\Gamma} C_{\Gamma})_{i_{\text{пол}}}]$$

Устойчивость и ее виды

Устойчивость — способность объекта выдерживать нагрузки без изменения свойств и структуры

устойчивые русла — неразмываемые

динамически

стабильные

неустойчивые русла — размываемые

заиляемые

Коэффициенты устойчивости частиц

Число Лохтина

$$Л = d/(dH),$$

где d – средний диаметр частиц, dH – падение уровня на длине реки 1000 м

Коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева

$$K_c = d / (JB),$$

где J – уклон реки

Коэффициент устойчивости М.А. Великанова

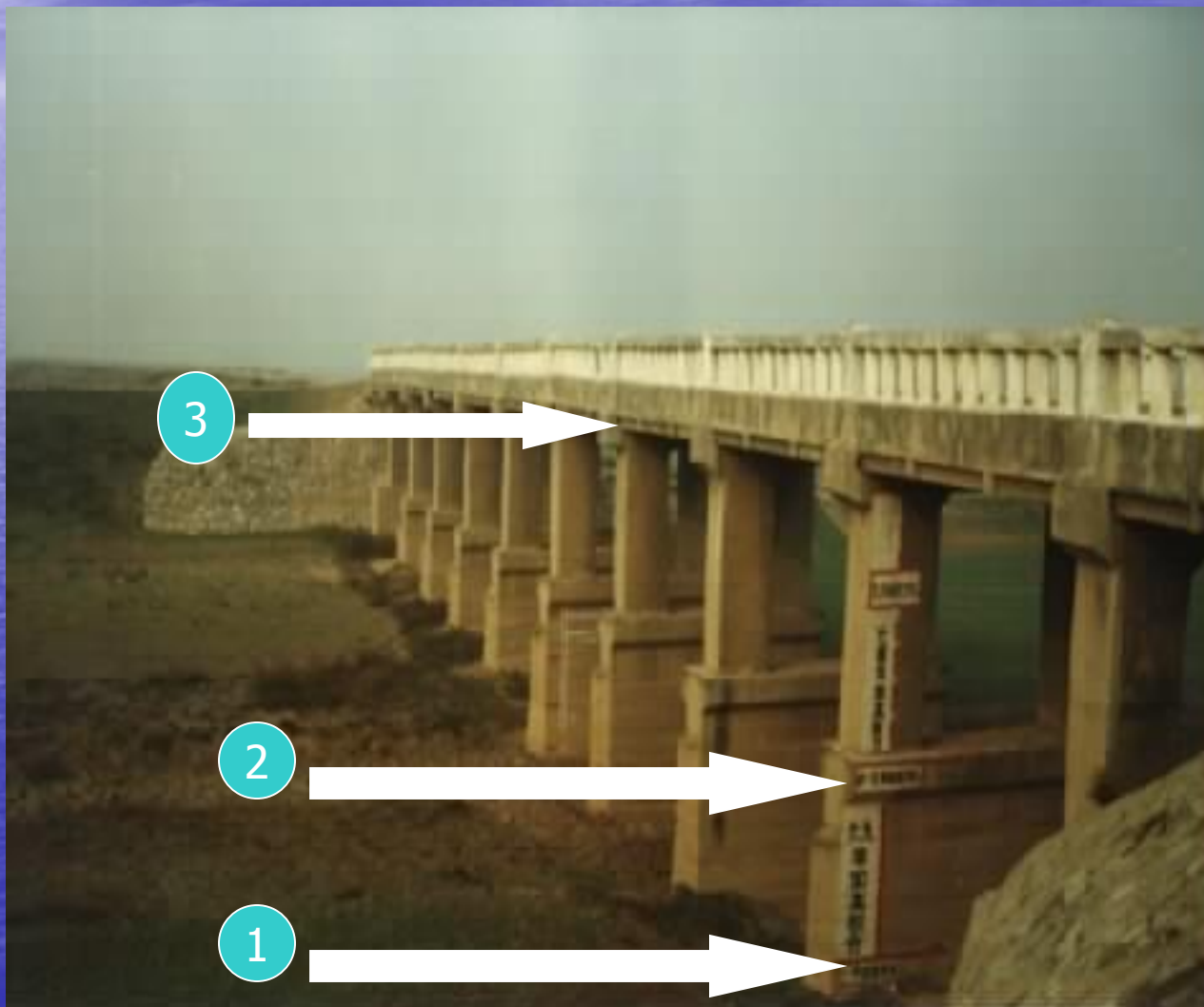
$$K_y = gd / v^2$$

Классификация рек по устойчивости

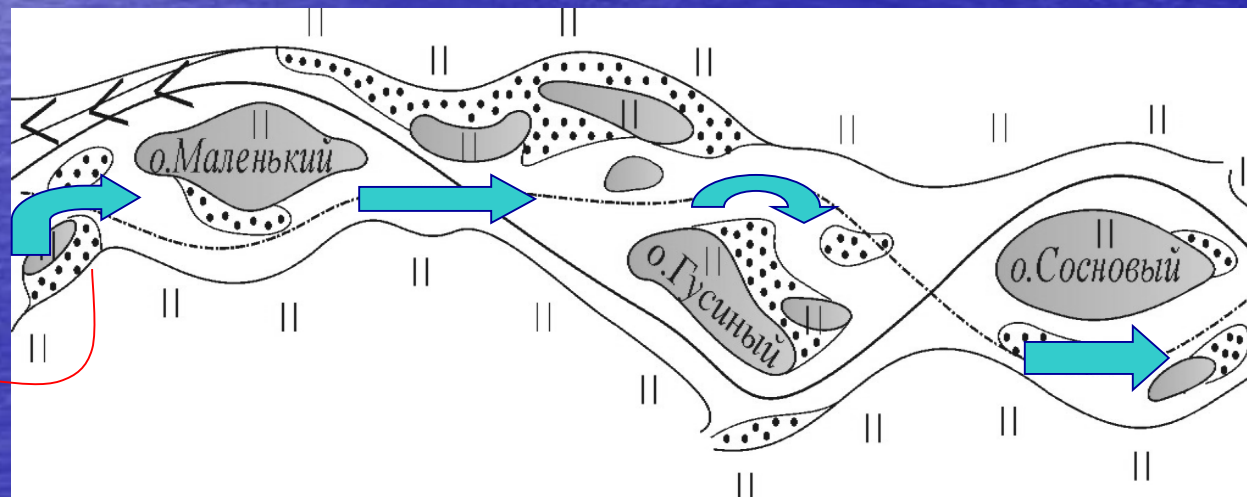
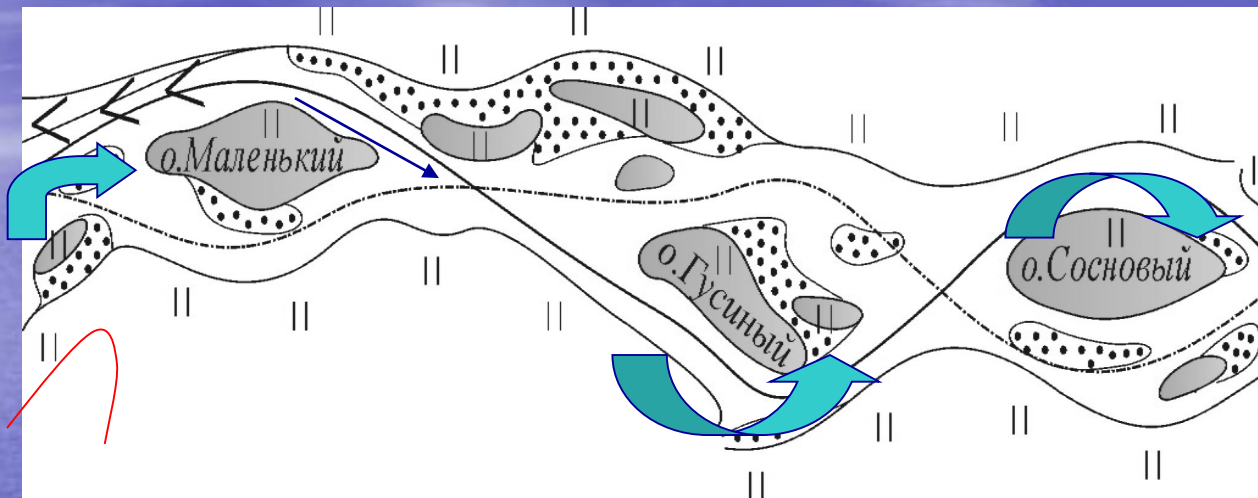
Степень опасности (устойчивость русла)	Показатели			Интенсивность русловых деформаций				
	опасности	устойчивости		C	U	U_{max}	T	$L\%$
	баллы	L	K_c	м/год	м/год	м/год	годы	Длины
Высокая (неустойчивые русла)	4	<2	<6	>500	>10	>50	3–10	>80
Повышенная (слабоустойчивые русла)	3	2–5	6–16	300–500	5–10	>20	10–20	60–80
Умеренная (относительно устойчивые русла)	2	5–1	15–2	250–300	2–5	>10	20–80	30–60
Слабая (устойчивые русла)	1	10–0	20–10 0	10–50	<2	>5	>80	<20
Отсутствует (абсолютно устойчивые русла)	0	>50	>100	<10	размыва нет		русло стабильно	

Примечания: C – скорость смещения отмелей; U – скорость размыва берегов; U_{max} – максимально возможные размывы берегов; T – периодичность развития и отмирания рукавов; L – протяженность зоны размыва.

Неустойчивость поперечного русла ирригационного канала
в бассейне р. Хуанхэ (1, 2, 3 – последовательное положение
полотна автодороги)



Нарушение внутрирусловой устойчивости



Русловой режим рек

Русловой режим — совокупность
характерных изменений речных русел
под влиянием определяющих
факторов

Типы русловых режимов ГГИ

- Режим поведения частицы
- Грядовый режим деформаций поверхности дна
- Режим плес-перекатных участков (побочной процесс и движение ленточных гряд)
- Режим переформирования форм русла
 - ограниченное меандрирование
 - свободное меандрирование
 - незавершенное меандрирование
 - образование русловых разветвлений
 - эволюция пойменных разветвлений

Описание на участке проектируемого перехода

- Положение перехода по пикетажу
- Геометрия долины
 - - степень выраженности
 - - ширина между водоразделами
 - - ширина днища
 - - глубина вреза
 - - форма склонов долины
 - - средняя крутизна склонов
 - - продольный уклон дна долины

Морфология дна и экзогенные процессы

- тип русла, параметры излучин и разветвлений
- характеристика поймы: тип, степень развитости, расположение, ширина, высота поверхности, растительность
- характеристика береговых уступов: тип (коренной, террасовый, пойменный), литологический состав, высота, крутизна, степень задернованности, склоновые процессы, размывы

Характеристика русла

- русловой рельеф (плесы, перекаты, пороги)
- параметры русла и потока средние и характерные на участке (ширина, глубина, скорость течения)
- руслообразующие наносы (состав и распределение по формам руслового рельефа)
- наличие препятствий в русле и их воздействие на поток

Основные выводы по проведению инженерно-гидрометеорологических изысканий

- Необходимо указать и обосновать места развития опасных экзогенных процессов (по устойчивости и стабильности берегов, форм русла, русловых форм, дна)
- Следует дать прогноз развития неблагоприятных процессов (как при естественном развитии процессов, так и при их изменении во время строительства)

Подготовка отчета по проведению инженерно- гидрометеорологических изысканий

Основные положения о составе отчета по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям

- **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**
- 1.1 Наименование объекта
- 1.2 Основание для производства инженерных изысканий
- 1.3 Заказчик работ
- 1.4 Основные трассировочные и технические параметры объекта
-
- **2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИЗЫСКАНИЙ**
- 2.1 Физико-географическая характеристика района
- 2.1.1 Рельеф
- 2.1.2 Гидрография и гидрология
- 2.1.3 Климат
- 2.1.4 Почвы и растительность
- 2.2 Характеристика участка изысканий
-
- **3. СОСТАВ, ОБЪЕМЫ И МЕТОДИКА ИЗЫСКАНИЙ**
- 3.1 Инженерно-гидрометеорологические изыскания
- 3.1.1 Сбор исходных данных
- 3.1.2 Основные объемы инженерно-гидрометеорологических работ
- 3.1.3 Гидрологическая изученность и исходные данные
- 3.1.4 Гидрологическая характеристика пересекаемых водотоков
- 3.1.5 Методика расчета максимальных расходов воды весеннего половодья или экстремальных паводков
-
- **4. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗЫСКАНИЙ**
- 4.1 Организация полевых работ
- 4.2 Технический контроль и приемка работ
- 4.3 Техника безопасности, охрана труда и окружающей среды

Характеристика района изысканий

- Гидрометеорологическая изученность района изысканий, возможность использования имеющихся материалов наблюдений постов и станций Росгидромета, других министерств и ведомств, материалов прошлых лет
- Характеристика гидрометеорологических и техногенных условий района строительства, в т.ч. климатические условия, гидрологический режим водных объектов, опасные гидрометеорологические процессы и явления

Опасные гидрометеорологические явления

■ Метеорологические явления и процессы.

- - оттепели в зимние месяцы и «возврат холодов» весной, определяющие возможность формирования наледей на реках и в пределах планируемых водопропускных сооружений насыпи, нарастания льда на полотне;
- - ветровой перенос снега в зимний период, определяющий возможность занесения полотна, водопропускных сооружений в нем и перераспределение запасов снега в пользу отрицательных форм рельефа (овражно-балочной сети, долин водотоков и т.д.), сказывающееся на условиях формирования стока воды и максимальных уровнях в период половодья для пересекаемых малых водотоков;
- - ветровое воздействие в летний период, определяющее выдувание мелких частиц из насыпи, что ведет к нарушению устойчивости ее откосов;
- - продолжительность гроз, туманов, гололеда, изморози и т.д.

Опасные гидрологические явления и процессы

- - наивысшие уровни и расходы воды в период весеннего половодья, определяющие размеры водопропускных сооружений и габариты мостовых переходов, величину затопления прилегающих к линейному объекту поверхностей;
- - заторные явления в период половодья, повышающие уровни воды до экстремальных значений при наложении на высокие уровни волны половодья, часто изменяющие морфологию русла, его морфометрические характеристики и гидравлические характеристики потока;
- - специфические условия формирования стока воды в половодье для малых водотоков;
- - русловые процессы.

Основные фондовые материалы

■ Метеорологические данные

- Справочник по климату СССР, Часть II, Температура воздуха и почвы.
- Справочник по климату СССР, Часть III, Ветер.
- Справочник по климату СССР, Часть IV, Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров.
- СП 131.13330. 2020 «СНиП 23-01-99*. Строительная климатология».

Основные недостатки при использовании справочников
по климату СССР - информация для метеостанций
приводится на середину - конец 60-х гг. XX в.

Необходимо проводить сбор дополнительных
сведений с ближайших к объекту
метеорологических станций.

По данным Всемирной Метеорологической
Организации (ВМО) изменения климатической
ситуации прослеживается с конца 70-х гг. XX в.

Основные фондовые гидрологические материалы

- Официально опубликованные документы Ростидромета
 - Ресурсы поверхностных вод СССР (монография).
 - Ресурсы поверхностных вод СССР, «Основные гидрологические характеристики» (ОГХ) (соответствующие тома).
 - Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (соответствующие тома и выпуски) – гидрологические ежегодники.

- Дополнительные сведения
 - труды Государственного гидрологического института.
 - данные по материалам изысканий прошлых лет по исследуемому району.

Основные недостатки при использовании справочных данных по гидрологической информации в фондовых материалах

- Ресурсы поверхностных вод СССР (монографии) - включают обобщающие данные на конец 60-х гг. XX в.
- Ресурсы поверхностных вод СССР, «Основные гидрологические характеристики» (ОГХ) - включают обобщающие данные на середину 80-х гг. XX в.
- Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (гидрологические ежегодники) - опубликованы данные на конец 80-х - середину 90-х гг. XX в.

На этапе полевых исследований инженерно–гидрометеорологические изыскания выполняются в соответствии с требованиями

- СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (с изменением № 1).
- СП 482.1325800.2020 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ».
- СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

Расчеты максимального стока воды половодья и дождевых паводков при отсутствии данных наблюдений

- Определение максимального расхода воды по редукционной формуле с использованием рек – аналогов, имеет малую эффективность в результате нехватки опубликованных данных, т. к. необходимо определение среднемноголетнего стока воды h_0 . Применяется метод построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов (в соответствии пункта 7.2 СП 33-101-2003)

Последовательность построения региональных зависимостей

- А) сбор информации по наиболее продолжительным рядам наблюдений за максимальными расходами воды (максимальные срочные в году, максимальные весеннего половодья и дождевых паводков) в районе проектирования с учетом информации за последние годы наблюдений;
- Б) приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду и восстановление пропусков наблюдений с привлечением данных наблюдений пунктов — аналогов;
- В) оценка однородности и стационарности как исходных рядов, так и рядов наблюдений максимальных расходов воды, приведенных к многолетнему периоду. Оценка однородности рядов гидрологических наблюдений осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ условий формирования речного стока заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для количественной оценки статистической однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова-Граббса и Диксона), критерии однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерий Стьюдента);
- Г) по однородным и стационарным многолетним рядам определяются параметры распределения и расчетные значения максимальных расходов воды однопроцентной обеспеченности. На основе максимальных расчетных расходов воды и площадей водосборов определяются модули максимального стока однопроцентной обеспеченности.

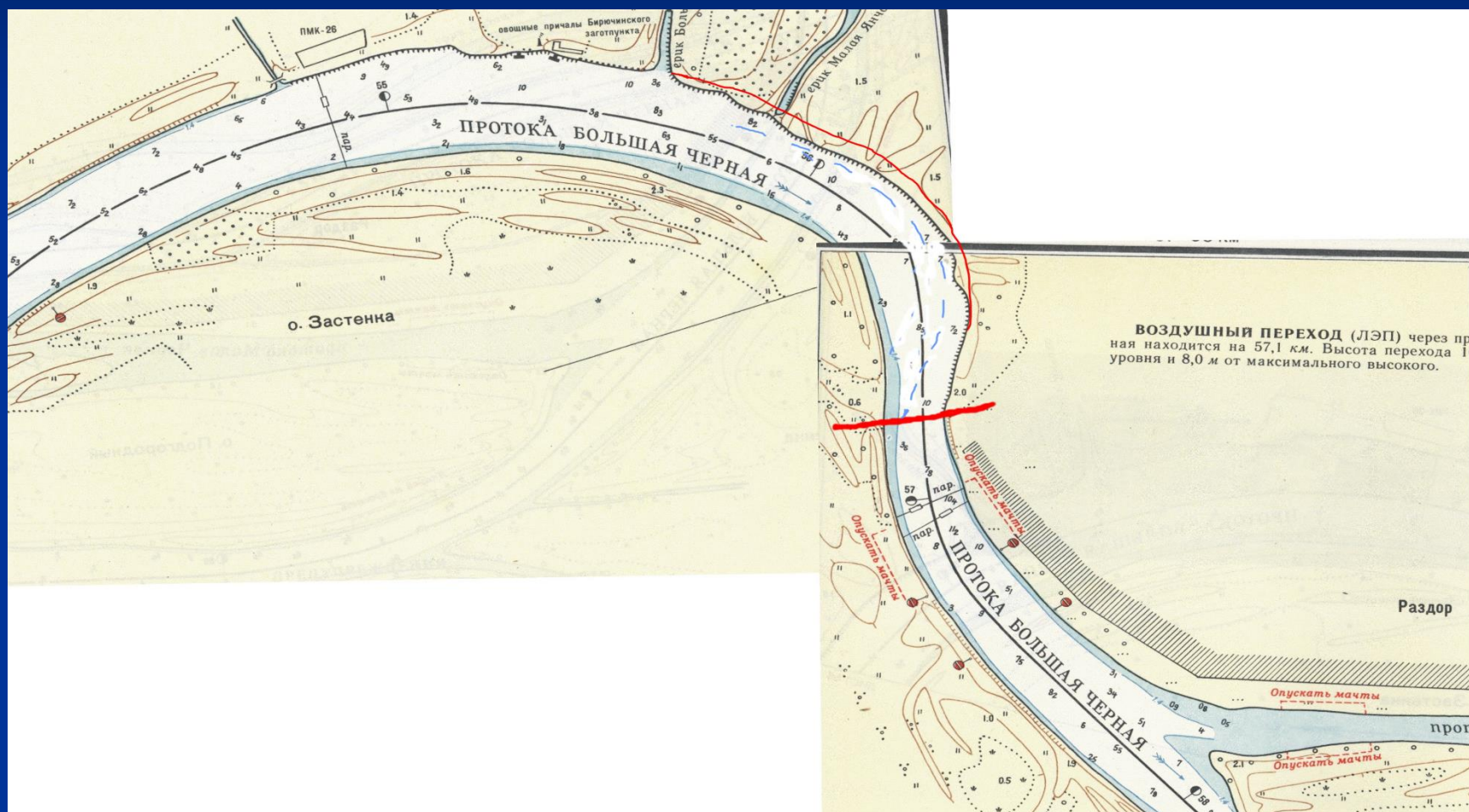
Наиболее часто повторяющиеся ошибки в технических отчетах

- 1. Не приводятся данные о большинстве характерных расходов воды для водотоков различной обеспеченности.
- Отсутствие этих данных не дает четкого представления о водном режиме водотоков и затрудняет понимание возможного воздействия строительства и эксплуатации линейных объектов на изменение гидрологических характеристик и экологического состояния водотоков.
- 2. Обычно слабо рассматривается гидрохимический режим водотоков (раздел общая характеристика).
- Не дает возможность оценить степень возможного гидрохимического загрязнения водотоков в результате строительных работ и негативного воздействия природных вод на проектируемые конструкции и сооружения (агрессивность).

Наиболее уязвимый раздел отчетов

- Русловые процессы.
- При проектировании переходов через водотоки является одним из важных разделов.
- Определяет :
 - степень надежности возводимых конструкций;
 - ряд вероятных негативных последствий строительства.

Негативные последствия горизонтального смещения излучины в районе с. Раздор (дельта р. Волги)



Описание на участке проектируемого перехода

- Положение перехода по пикетажу
- Геометрия долины
 - степень выраженности
 - ширина между водоразделами
 - ширина днища
 - глубина вреза
 - форма склонов долины
 - средняя крутизна склонов
 - продольный уклон дна долины

Морфология дна и экзогенные процессы

- тип русла, параметры излучин и разветвлений
- характеристика поймы: тип, степень развитости, расположение, ширина, высота поверхности, растительность
- характеристика береговых уступов: тип (коренной, террасовый, пойменный), литологический состав, высота, крутизна, степень задернованности, склоновые процессы, размывы

Характеристика русла

- русловой рельеф (плесы, перекаты, пороги)
- параметры русла и потока - средние и характерные на участке (ширина, глубина, скорость течения)
- руслообразующие наносы (состав и распределение по формам руслового рельефа)
- наличие препятствий в русле и их воздействие на ПОТОК

Антропогенные изменения русловых процессов



Затопление пойм и заиление русел рек вследствие подпора рек в верхнем бьефе гидроузлов



Изъятие воды из р. Сокраменто (США)



Размыв русла Калауса и его притоков вследствие
антропогенного увеличения водоносности реки.
(Фото А.В. Чернова)



Подводный тип перехода газопроводов через реки



Мостовой переход через р. Клязьма



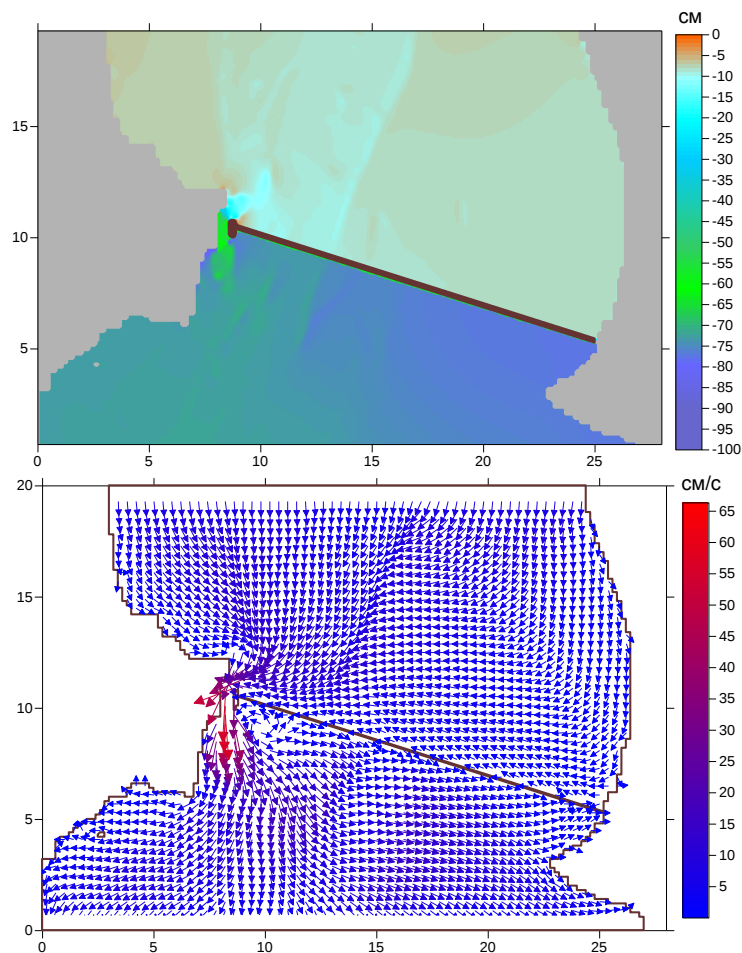
Специальные виды исследований

- Планируемое строительство перехода через пролив Невельского (материк — о-ов Сахалин)

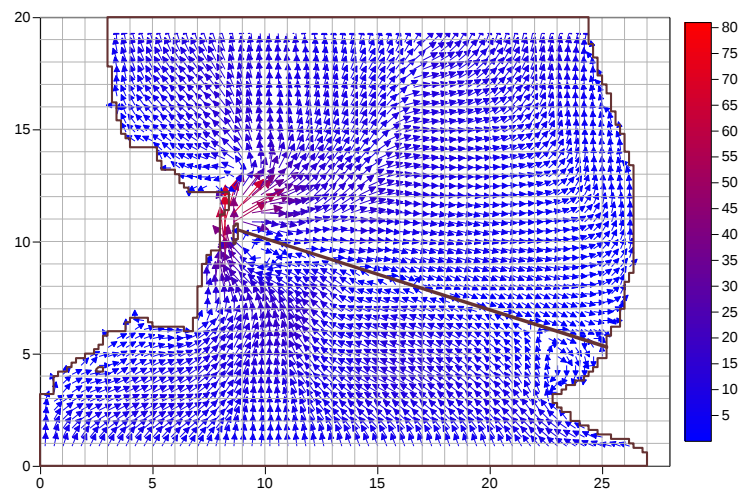
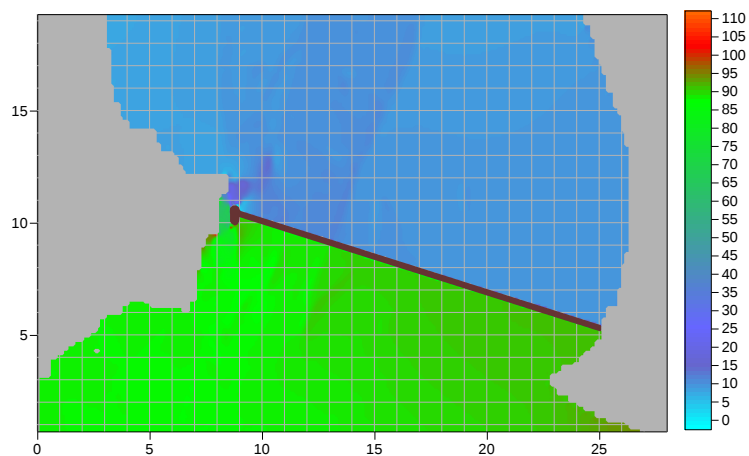
Проектируемое положение створов переходов



Изменение положения водной поверхности и скоростное поле потока при окончании отлива (15 часов). Зона выноса взвешенного материала

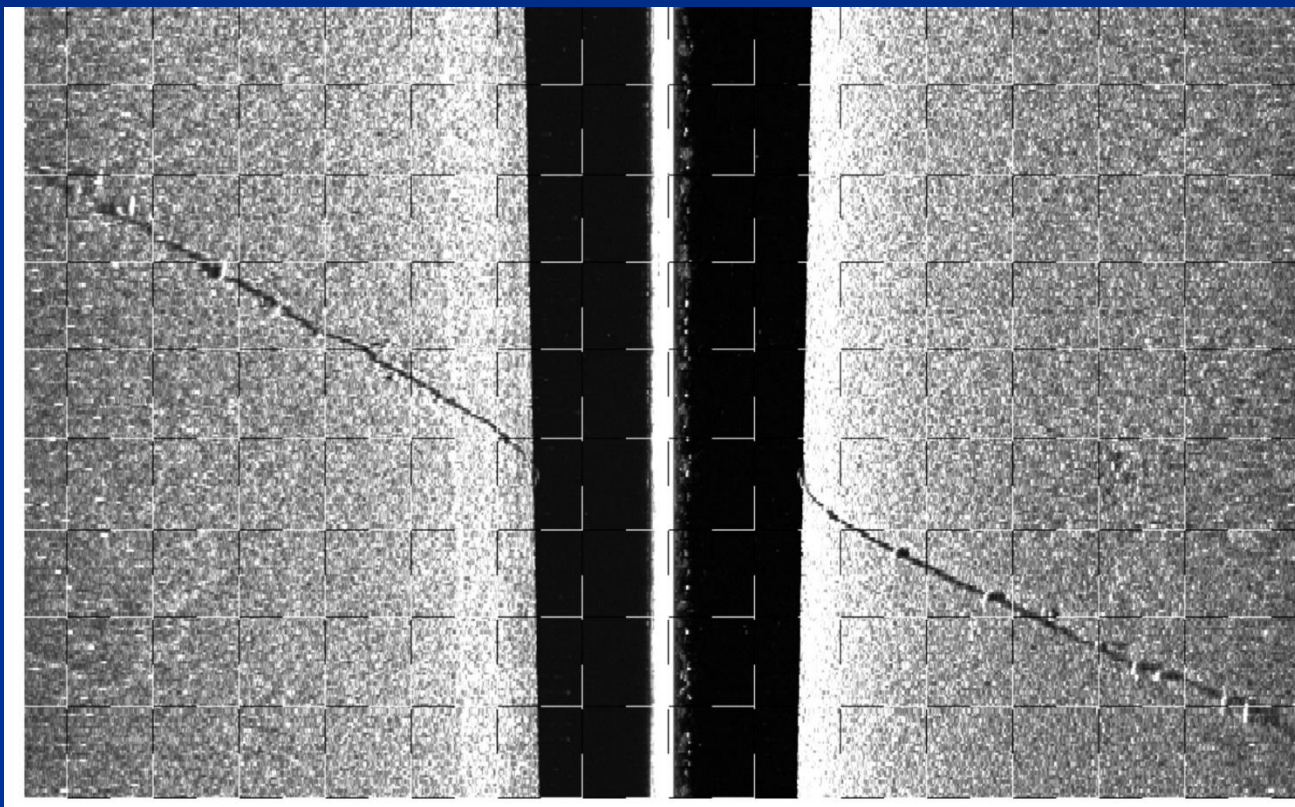


Изменение положения водной поверхности и скоростное поле на пике приливной фазы (22 часа)

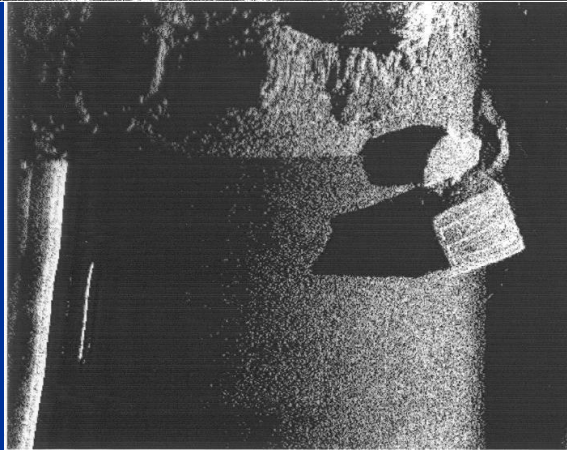
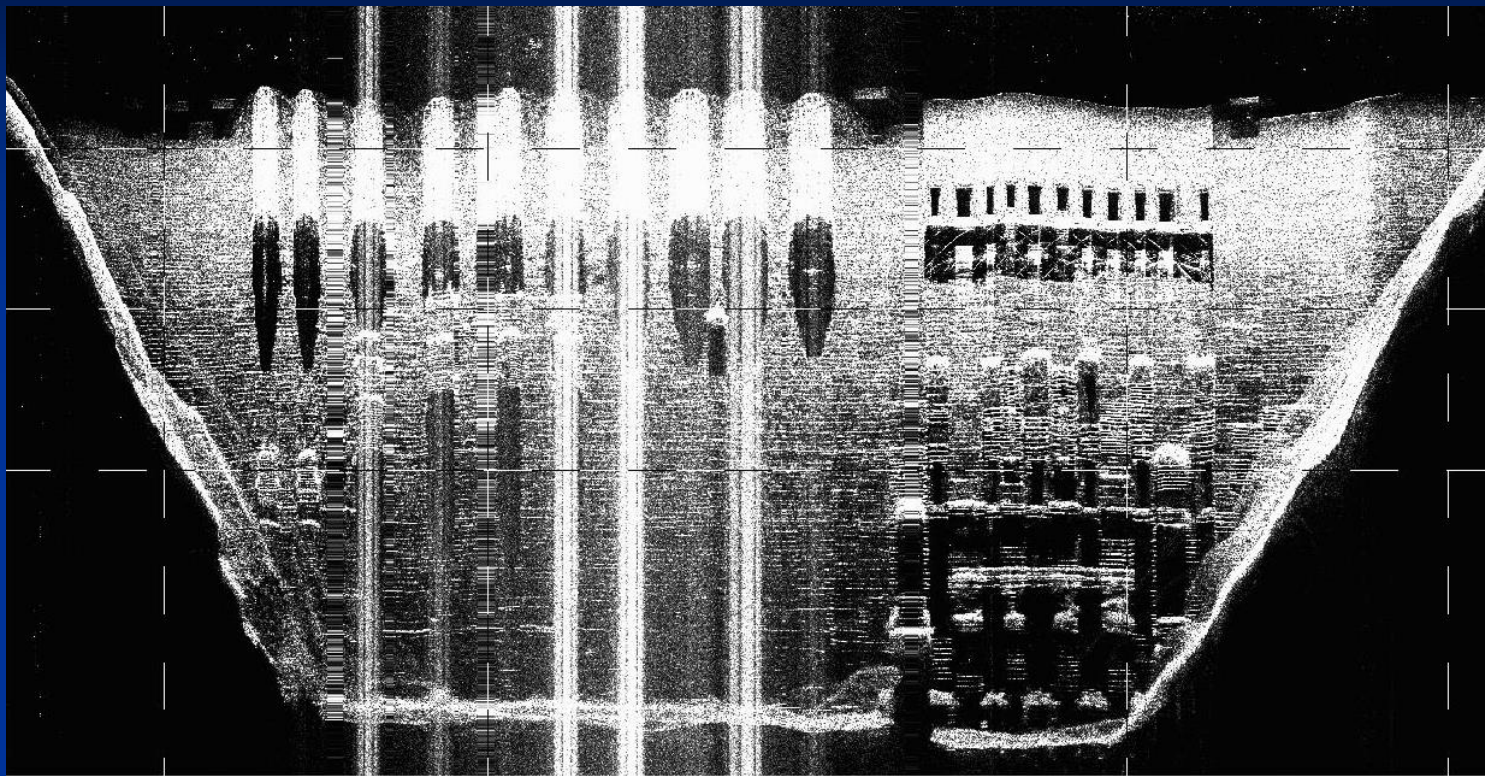


Использование акустических приборов

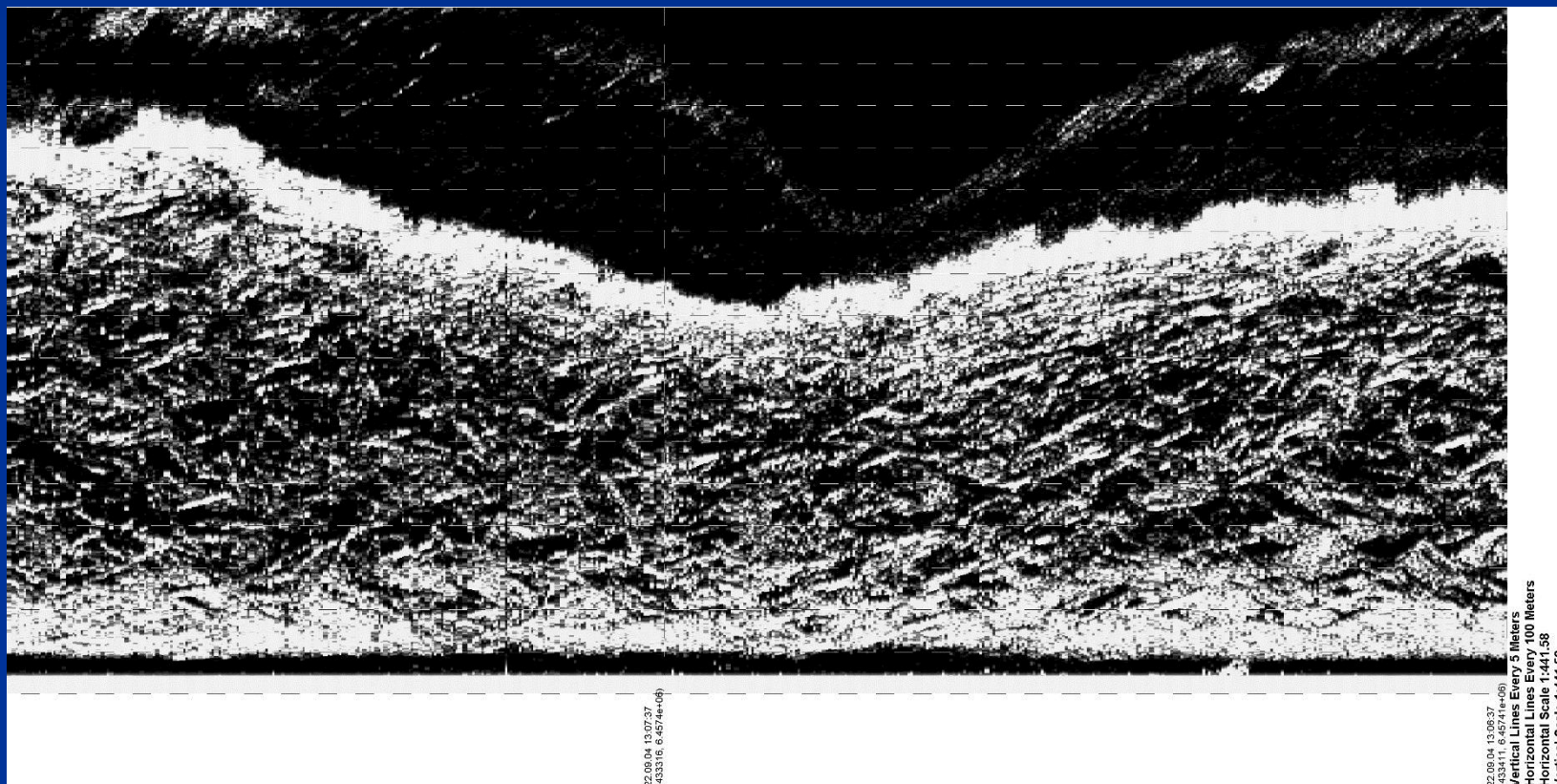
Подводный переход телефонного кабеля в рукаве Кривая Болда (дельта р. Волги)



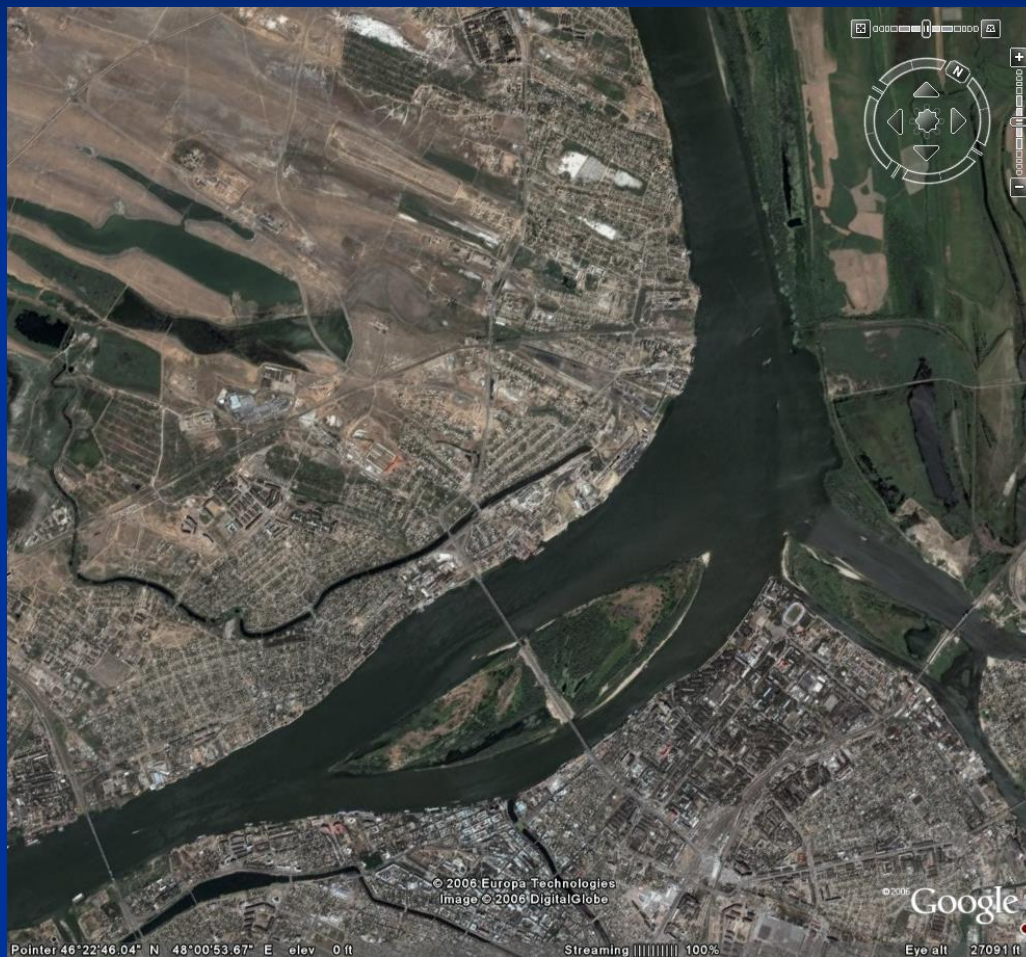
Саяно-Шушенская ГЭС, 1996



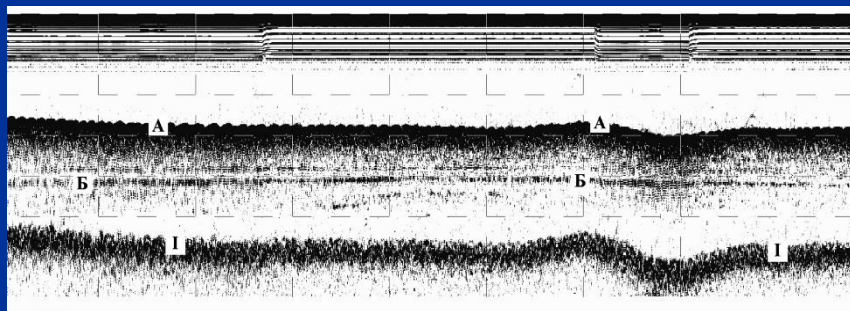
Экологическое обследование дна (скопление затонувшей древесины)



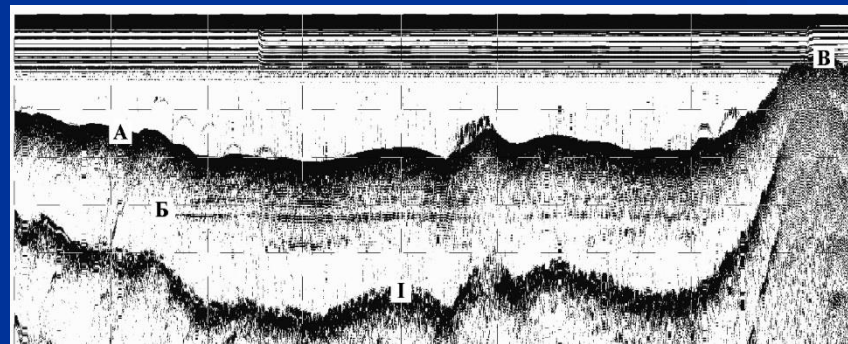
Пересечение Волги в районе г. Астрахани



Определение положения кровли дочетвертичных грунтов с помощью профилографа «Мезоскан» в районе Трусовского автодорожного моста (г. Астрахань)



Продольный профиль



Поперечный профиль

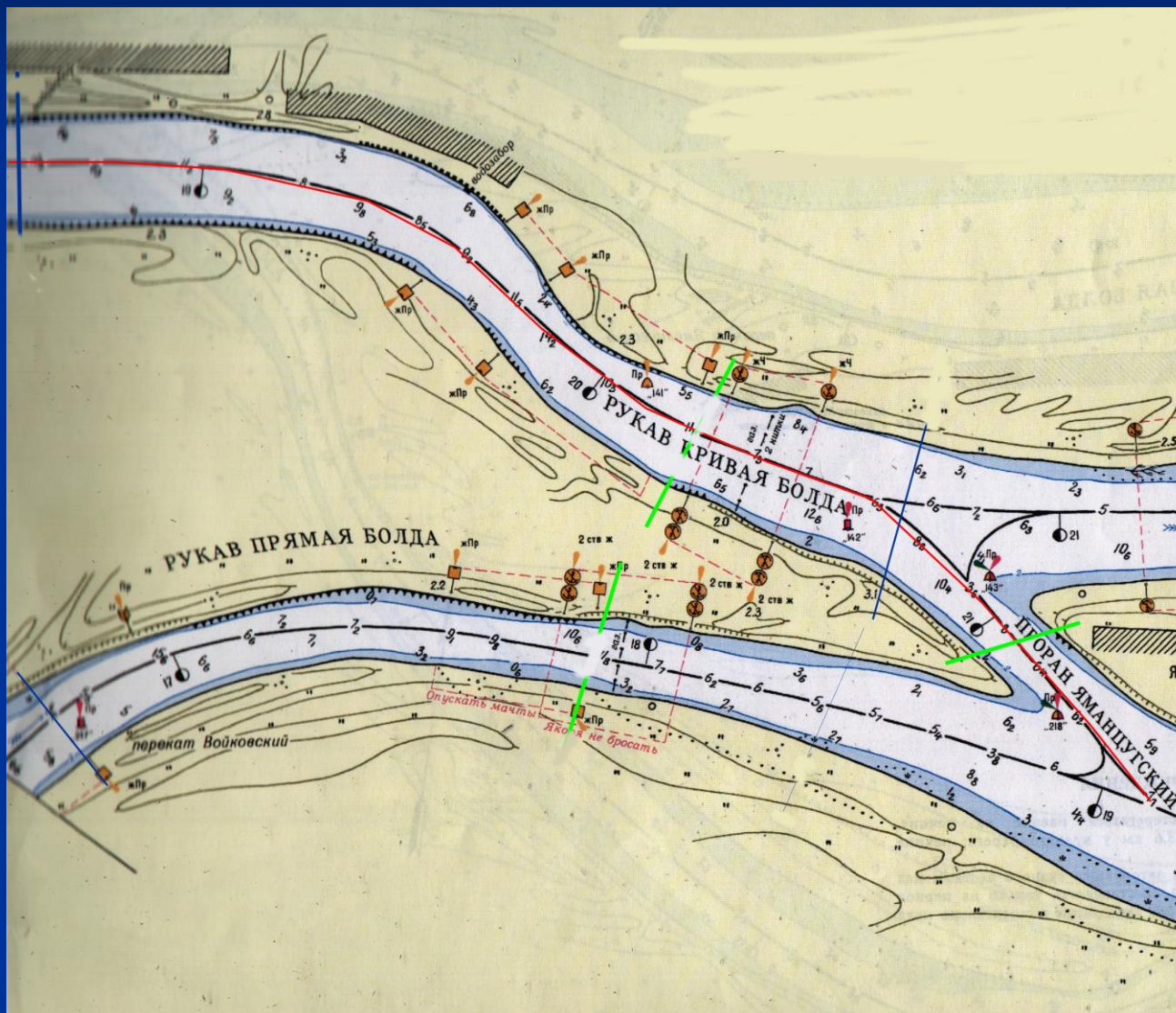
Долгосрочное
прогнозирование русловых
деформаций при
строительстве подводных
переходов
(на примере дельты р. Волги)

Объекты исследования

Дельтовые рукава р. Волги
Кривая и Прямая Болда



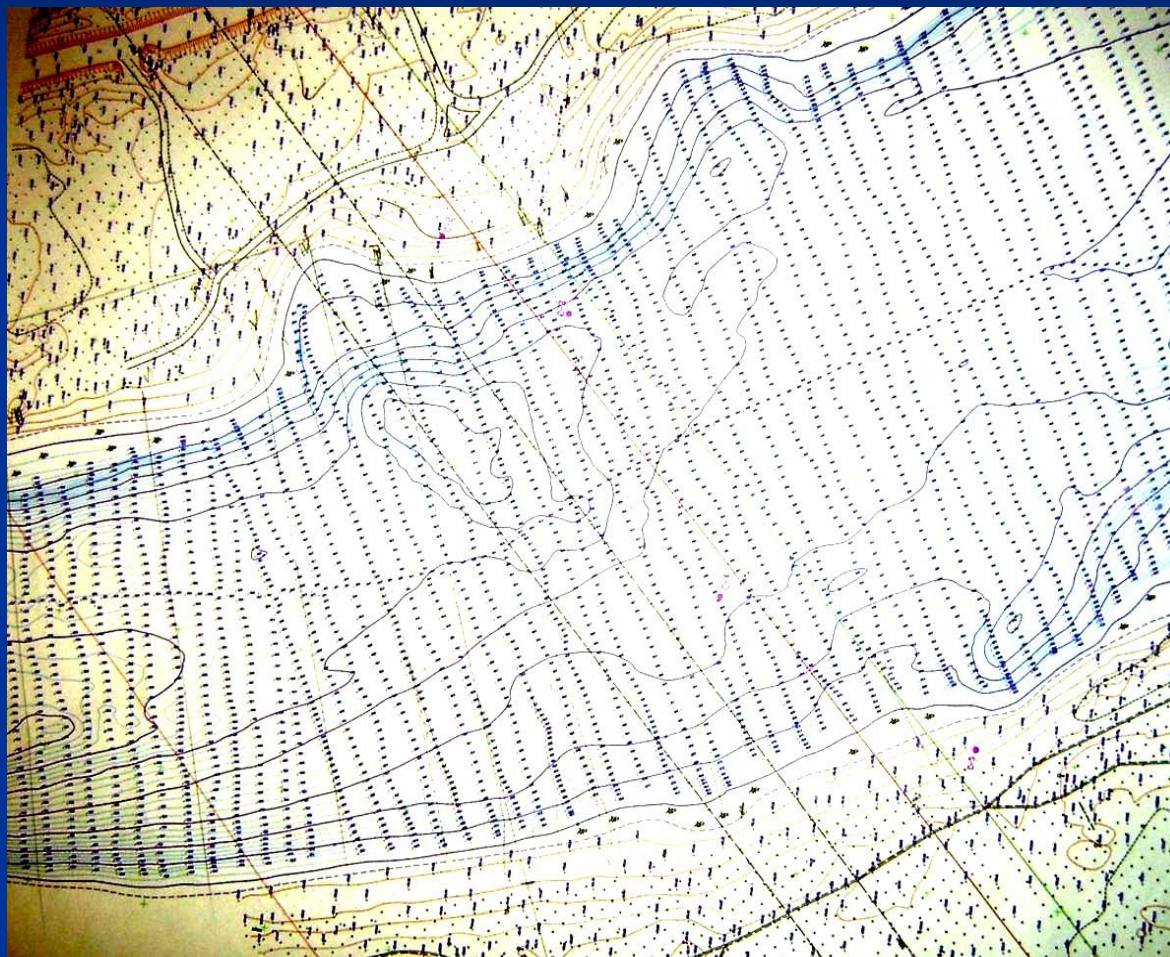
Участок планируемого строительства подводного перехода



Участок рукава Прямая Болда



Участок рукава Кривая Болда

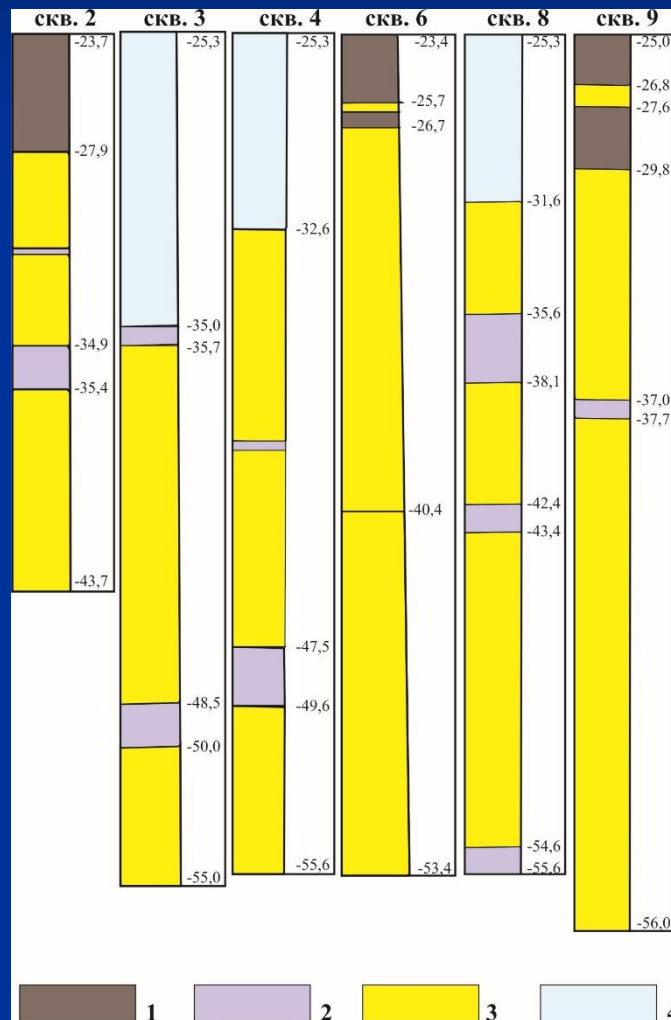


Изменение распределения суммарных расходов воды по рукавам Прямая и Кривая Болда в зависимости от отметок уровня за период 1956–1985 гг.

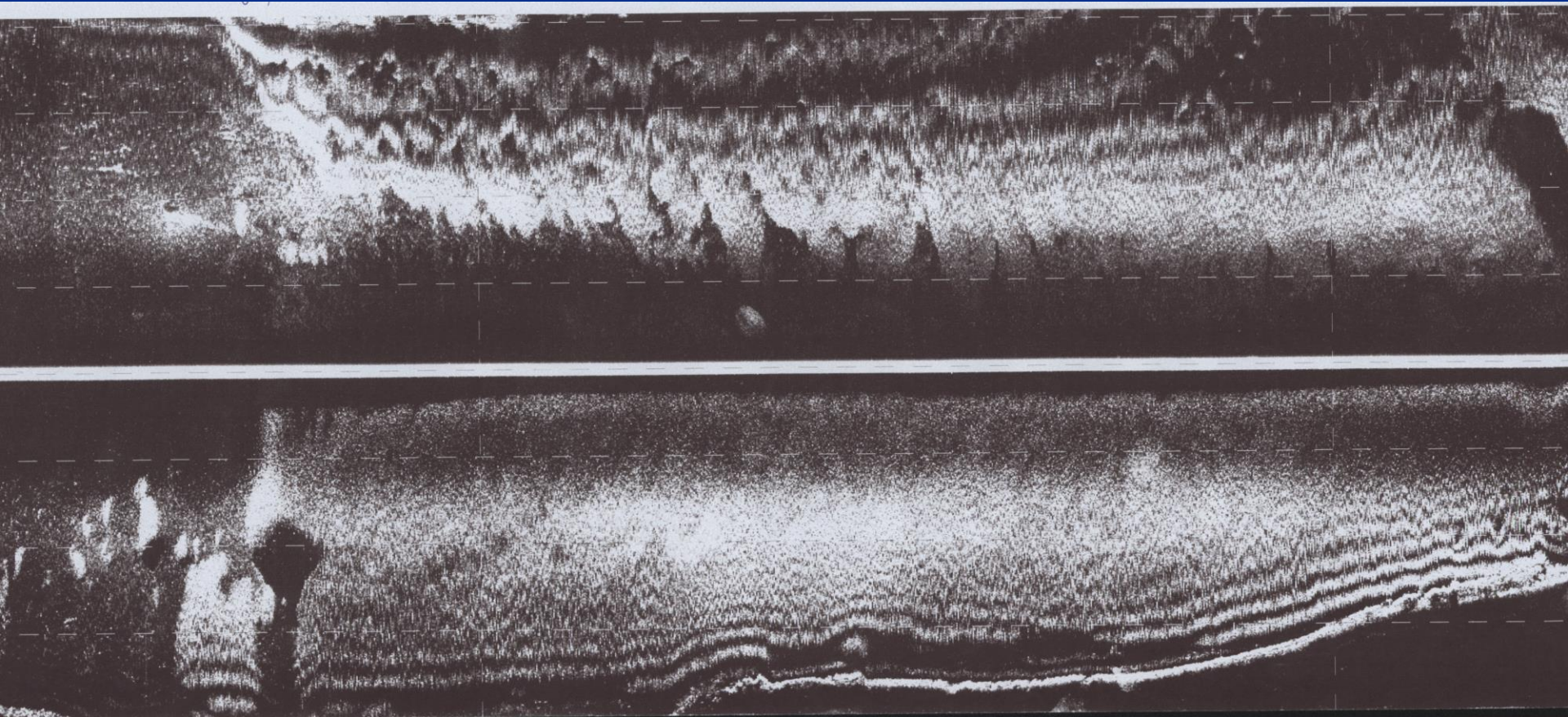
Отметка уровня по Астраханскому г.п., м БС	Расход воды в рукаве Прямая Болда, м³/с		Расход воды в рукаве Кривая Болда м³/с		Суммарный расход воды, м³/с		Изменение расхода воды ΔQ , м³/с / %
	По Байдину и др, 1956	По данным института «Гипроречтранс»	По Байдину и др, 1956	По данным института «Гипроречтранс»	По Байдину и др, 1956	По данным института «Гипроречтранс»	
-26,00	-	107	-	328	-	435	—
-25,00	-	187	-	570	-	757	—
-24,00	410	302	870	900	1320	1202	-118/8,9
-23,00	580	504	1450	1408	2210	1912	-298/13,5
-22,00	1075	—	2200	—	3905	—	—

Геологическое строение района газопровода по данным скважин

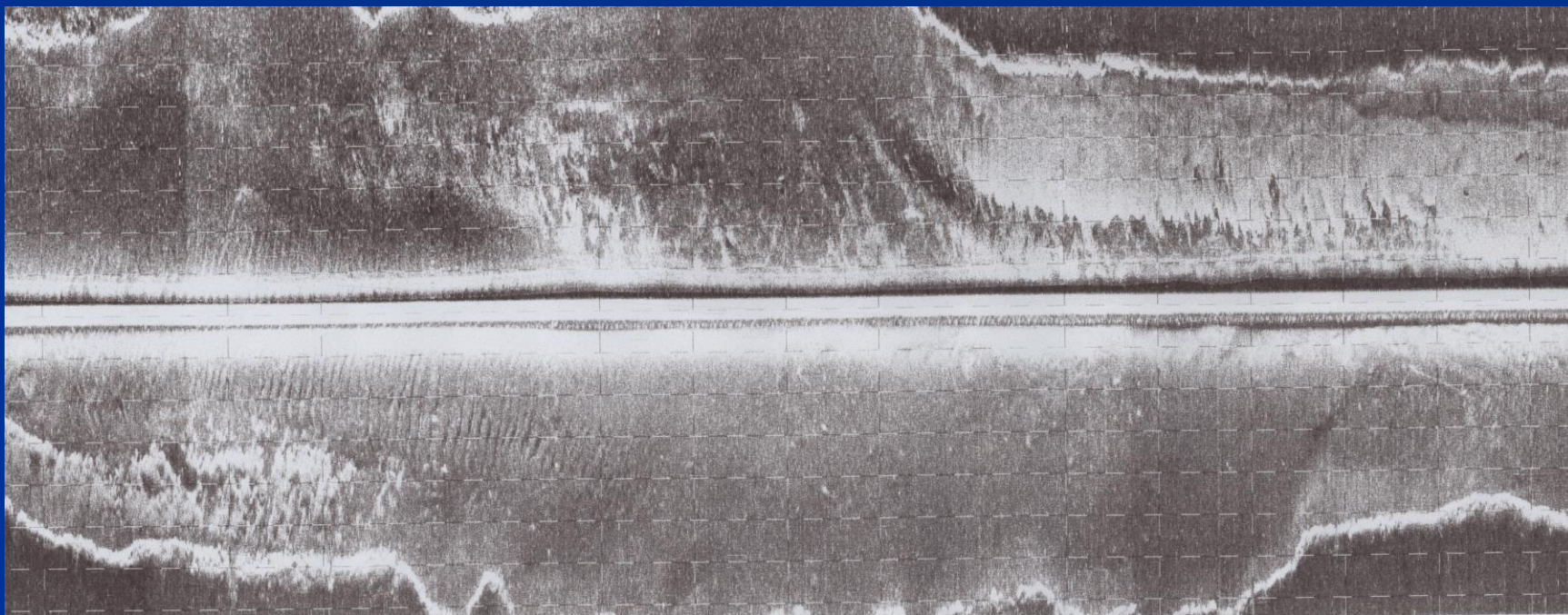
1 – суглинки пойменные, 2 – глины, 3 – пески, 4 – вода



Гидролокационное изображение дна рукава Кривая Болда в районе газопровода



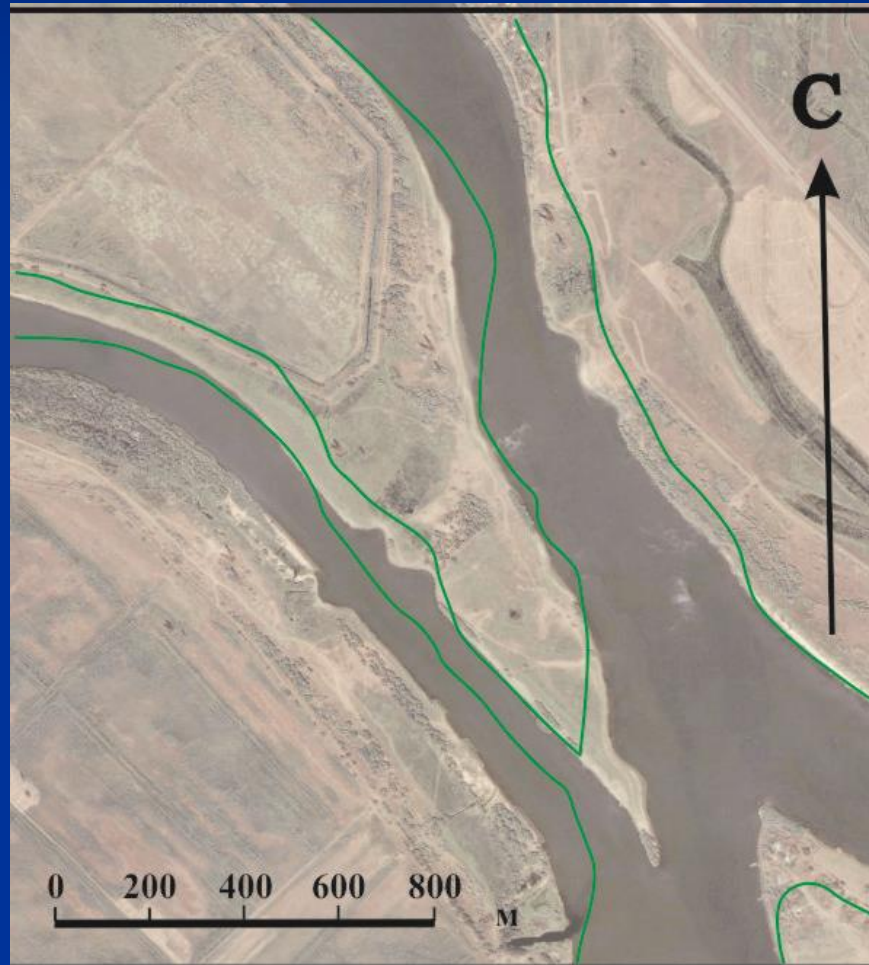
Гидролокационное изображение дна рукава Прямая Болда в районе газопровода



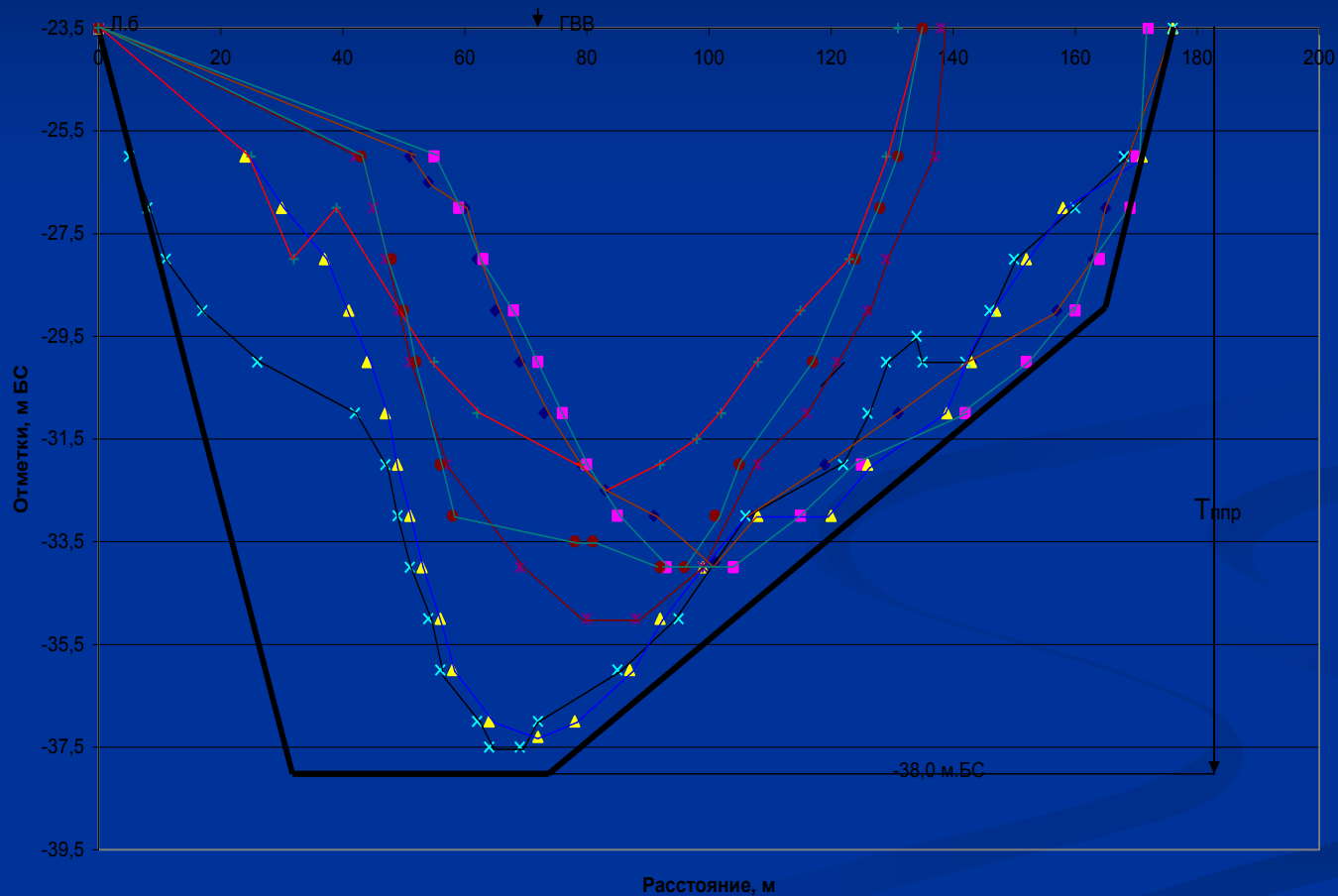
Горизонтальная динамика береговой линии участка газопровода за период 1961–2010 гг.



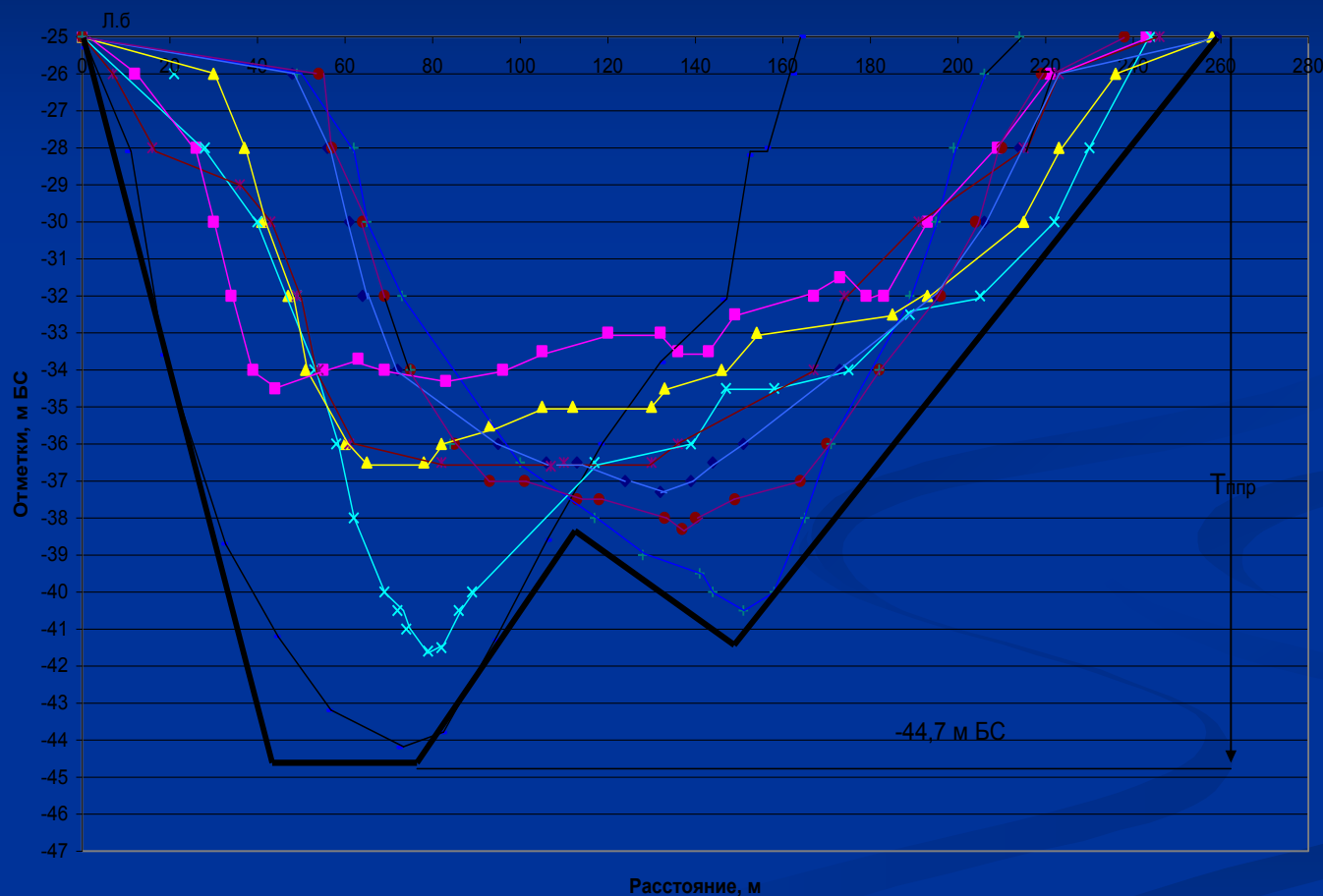
Прогнозное положение русел рукавов Прямая и Кривая Болда через 100 лет при сохранении современных максимальных темпов размыва



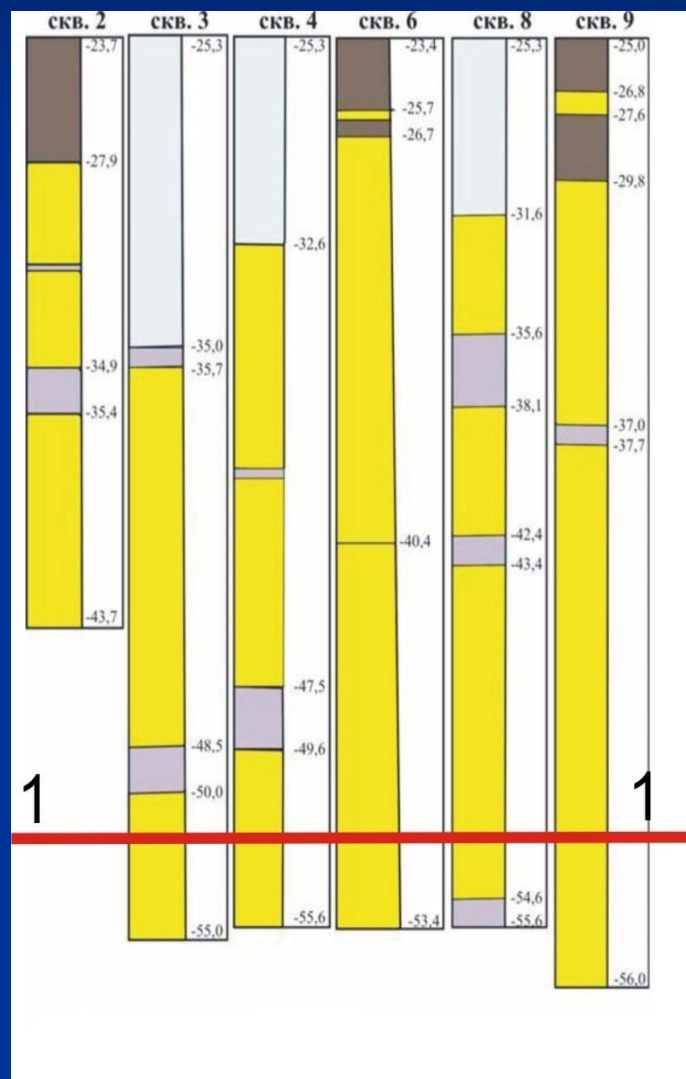
Совмещенные профили поперечного сечения русла Прямая Болда для определения T_{np}



Совмещенные профили поперечного сечения русла Кривая Болда для определения T_{npr}



Рекомендуемое заглубление проходки ННБ через Кривую и Прямую Болду



Спасибо за внимание

