

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО "ГАЗПРОМНЕФТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР"

М.Ю. ОРЕШКОВА, Т.В. ОЛЬНЕВА

22.03.2023

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГЕОМЕТРИИ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОРУСЛОВЫХ СИСТЕМ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА



ПЛАН ДОКЛАДА

ВВЕДЕНИЕ

1. ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ,
ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА.

3. МЕТОДИКА РАБОТЫ. СПОСОБ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУСЛОВЫХ ТЕЛ (ПАЛЕОКАНАЛОВ).

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Актуалистический пример. Река Амазонка.

ВВЕДЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. **Объект исследования** – палеорусловые системы, которые в настоящее время находятся в фокусе внимания и представляют особый интерес для открытия новых залежей углеводородов.
2. **Целью данной работы** является демонстрация возможностей морфометрического анализа на примере параметризации извилистых палеорусел, выявленных по результатам интерпретации сейсмических данных.
3. **Основная задача** заключается в определении численных параметров синусоидальности палеоканалов для расчёта мощности русловых отложений.
4. **Исходные данные** включают результаты динамической интерпретации сейсмических данных в интервале, ассоциируемом с пластом Ю4 тюменской свиты в пределах одной из площадей ЯНАО.

1. ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

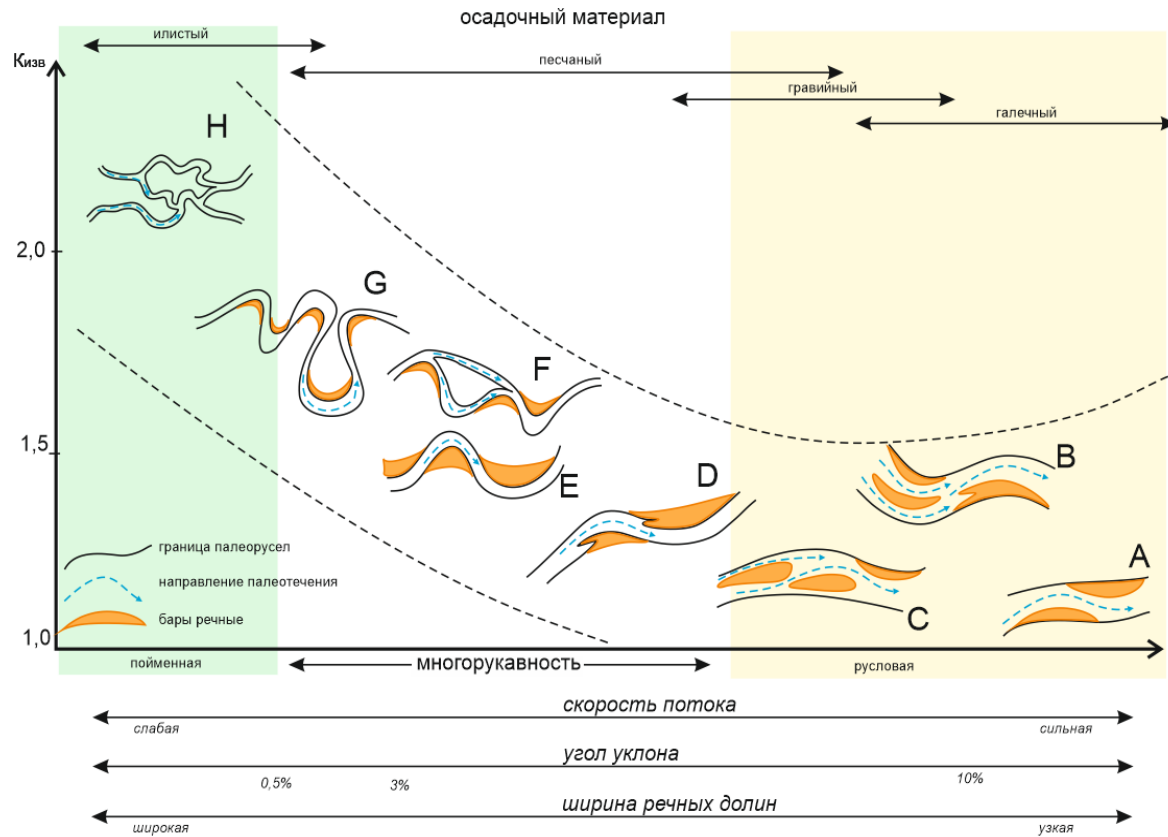
Аллювиальные отложения встречаются в разновозрастных геологических формациях по всему миру. Многообразие их современных аналогов позволяет активно использовать метод «актуализма» Чарлза Лайеля и проецировать наши знания об особенностях речного седиментогенеза, о морфологии рек, закономерностях их развития во времени и в пространстве на события, запечатленные в геологической истории.

В настоящее время морфологическая типизация погребенных речных систем нашла свое активно практическое применение в связи с задачами поиска литологических ловушек углеводородов по результатам интерпретации сейсмических данных. Это обусловлено важностью понимания архитектуры речных систем для картирования потенциальных объектов и прогноза свойств резервуаров.

Классификации речных каналов / осадочных тел.

Автор классификации	Вид классификации	Пояснения
Pettijohn et al., 1972	Морфологическая общая	Не учитывает генезис, только морфологию
Rich, 1923	Морфометрическая частично	Учитывает отношение длины к ширине
Schumm, 1981, 1985	Морфологическая	Комплекс признаков, 14 типов
Friend et al., 1979	Морфометрическая частично	Учитывает отношение мощности (глубины) к ширине
Муромцев, 1984	Морфологическая общая	Не учитывает генезис, характеризует простые и сложные тела по морфологии
Hirst, 1991	Морфометрическая частично	Основана на отношении мощности (глубины) к ширине, сочленении тел
Чалов, 2015	Гидрологическая/ географическая	Учитывает уклон и площадь бассейна водосбора реки, порядок реки
Rosgen, 1994, 1996	Гидрологическая	Учитывает уклон, поперечный профиль долины, морфология русла, 94 типа русел
Gibling, 2006	Морфометрическая частично	Базируется на ширине, мощности, площади
Miall, 2006	Морфометрическая частично	Учитывает отношение мощности (глубины) к ширине, сочленение тел

ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ



Морфогенетические типы палеорусел

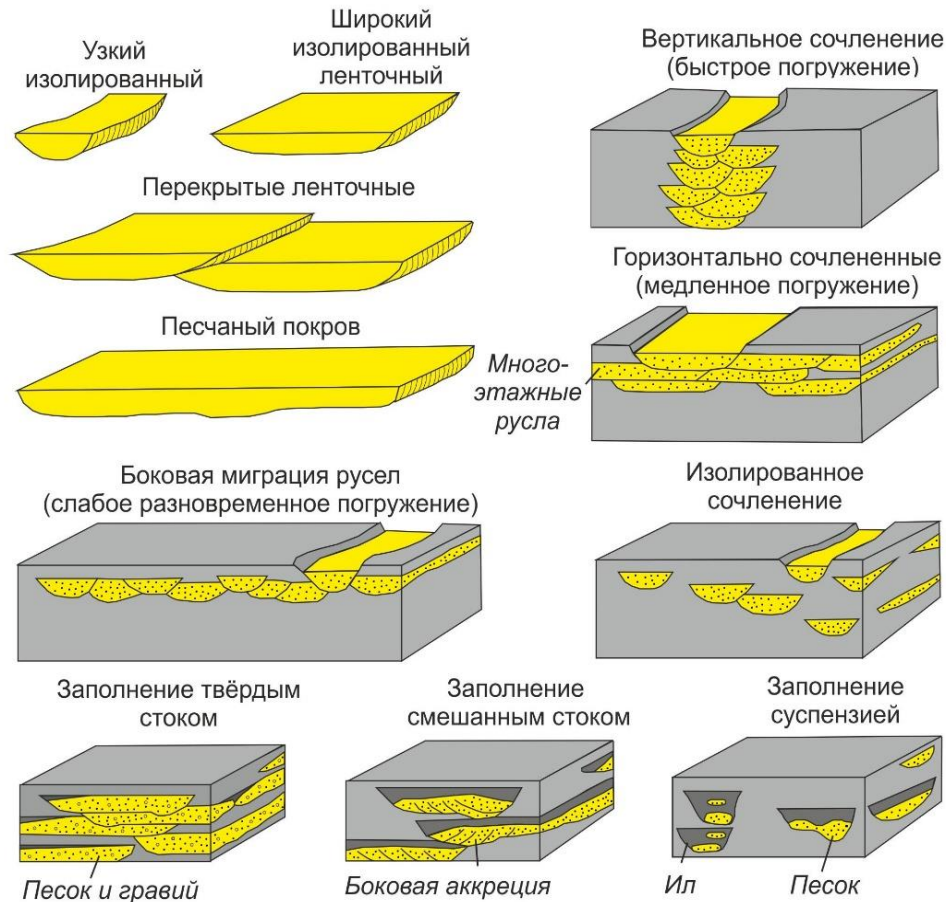
(по Miall, 1977; Rust, 1978 с дополнениями Жуковской Е. А.)

A – спрямленное ленточногрядовое/побочное, B – ветвящееся побочное, C – ветвящееся осередковое, D – слабоизвилистое /спрямленное, E – меандрирование ограниченное, F – меандрирование прорванное/незавершенное, G – меандрирование свободное, H – анастомозирующее.

Типы современных речных систем и их характеристики.

Морфологический тип речной системы	Тип русла	Тип меандрирования	$K_{изв.}$	Размер рек	Кол-во рек в РФ	Морфология излучин
Спрямленные реки	A, B, D		1,0-1,2	Малые	15	
Разветвленные (с блуждающим руслом)	C		1,1-1,4	Малые и средние	10	
Меандрирующие	G	Свободное	1,5-3	Крупнейшие	57	Сложные
			1,7-3,5	Средние и большие		Большие углы разворота, сундучные, омеговидные, сложные
			> 2	Малые широкопойменные		Крутые сегментные излучины
	E	Ограниченное	1,4-2	Малые и средние	5	Сегментные, синусоидальные
	F	Незавершенное	1,1-1,7		8	Не достигают больших углов разворота, сегментные
G, E	Вынужденное				2	Сегментные, синусоидальные, омеговидные
Анастомозирующие	H		1,4-1,7		3	Сложные, большое разнообразие

ТИПИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ



Варианты взаимного расположения русел в вертикальном сечении

Статистика свидетельствует, что мощность одиночных каналов даже очень крупных современных рек не превышает 30 м, в основном это величины до 10-15 метров. Поэтому с высокой долей вероятности, аллювиальные отложения мощностью свыше 25 м будут представлять систему из вертикально сочлененных русел. На рисунке приводится возможное взаимное расположение русел и варианты образованных песчаных тел. Подобные варианты строения погребенных русловых комплексов следует априорно иметь ввиду, рассматривая длительно эволюционирующие речные системы.

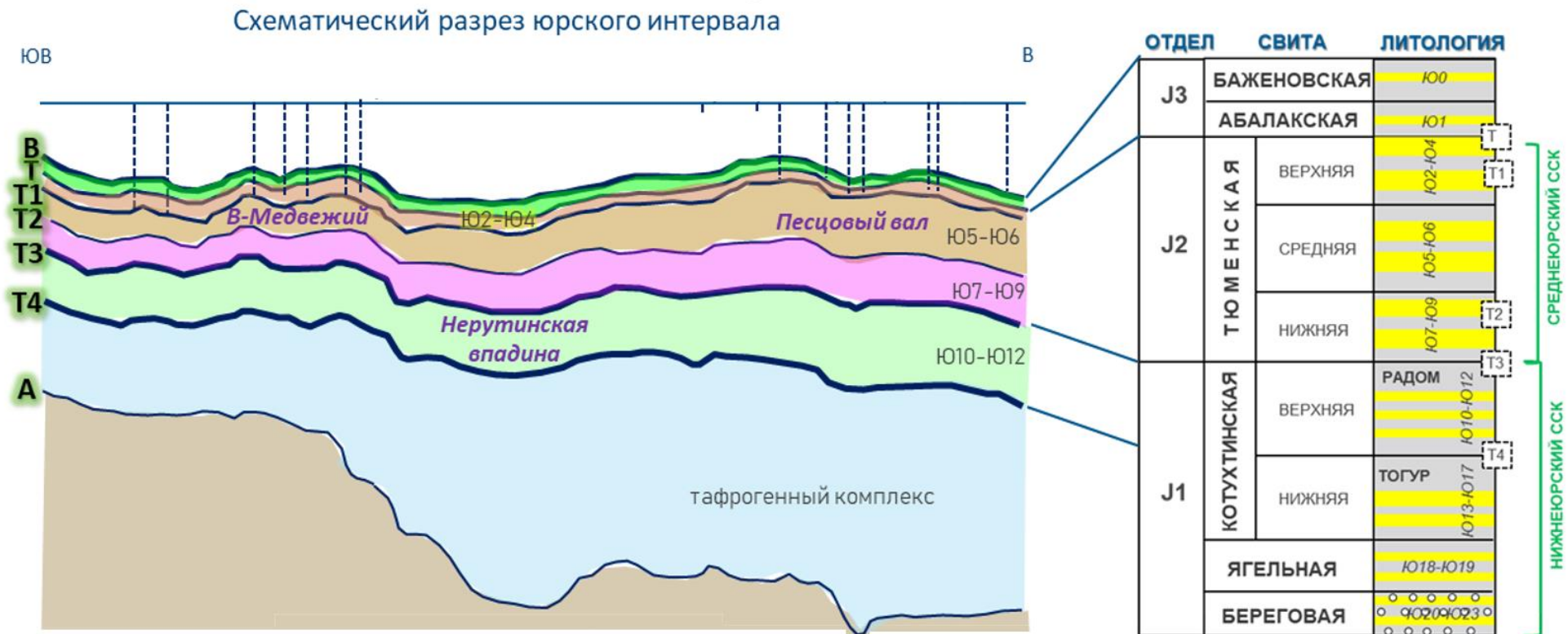
2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

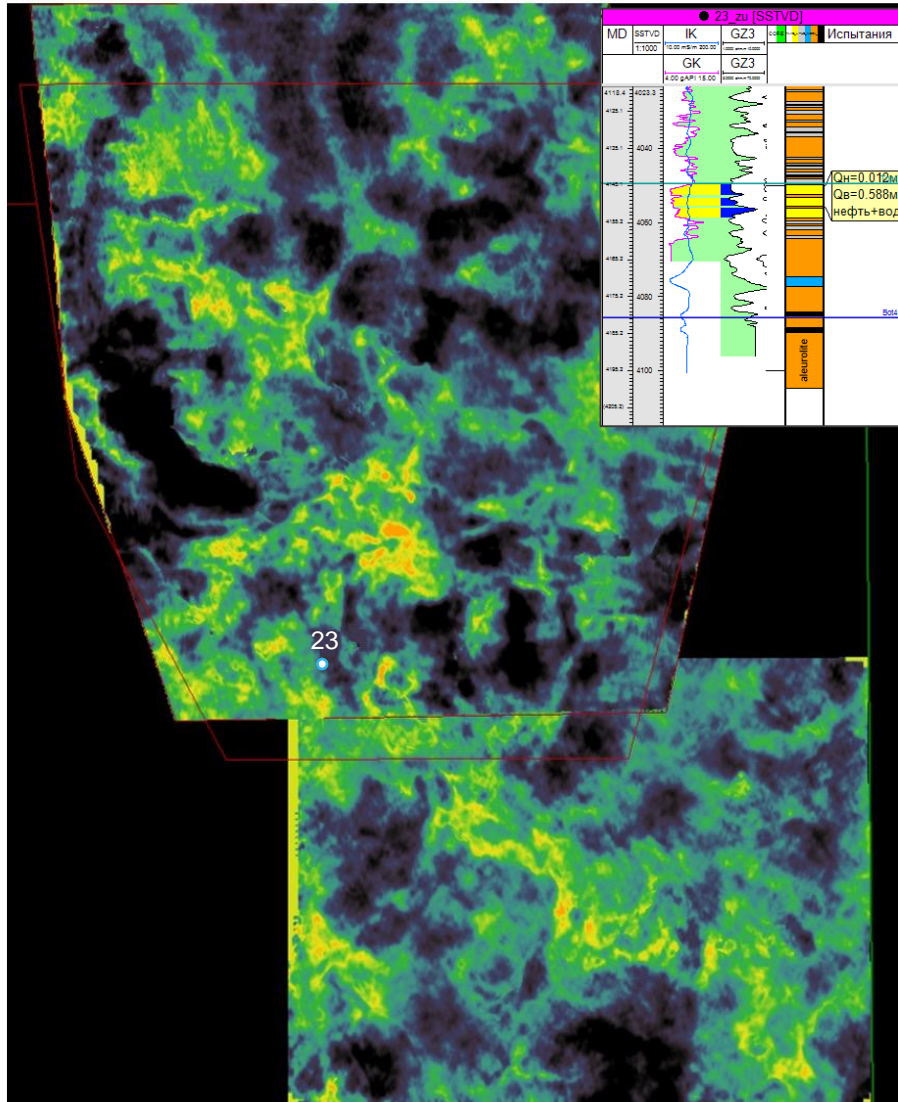


Площадь исследований расположена в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области.



Перспективы нефтегазоносности отложений юрского возраста в пределах изучаемой площади связываются с ловушками структурного и литологического типа комплекса Ю1-Ю4.

2. ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА



- По результатам атрибутивного анализа в целевом интервале, ассоциированным с пластом Ю4, выделяется система каналов меандрирующего типа, формирующих многочисленные меандровые косы.
- Эффективные мощности изменяются от 2 до 28,5м. Комплекс отложений прибрежной равнины (переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников с прослоями углей) охарактеризован керном в одной из скважин рассматриваемой площади в интервале 4035-4050,5м.
- Отложения предположительно меандровой косы вскрыты в скважине «Х» в интервале 4059-4099 м, в скважине «У» в интервале 4038-4056 м.
- Результаты данных бурения характеризуют обстановку осадконакопления как прибрежно-морскую с формированием речных систем меандрирующего типа. Наилучшие по ФЕС коллектора связаны с отложениями меандровых кос и конусов разлива, по интерпретации кривой ГК представлены песчаными пачками с уменьшением зернистости вверх по разрезу.

3. МЕТОДИКА РАБОТЫ

**СПОСОБ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РУСЛОВЫХ ТЕЛ (ПАЛЕОКАНАЛОВ)**

3. МЕТОДИКА РАБОТЫ



Измерения параметров, необходимых для диагностики морфогенетического типа палеоканала и типа речной системы на примере LIDAR (лазерное сканирование) изображения, показывающего 1500-летнее движение реки Уилламетт в штате Орегон (создатель - Дэниел Коу)

Условные обозначения: А - амплитуда (высота) излучины; В - ширина пояс руслоформирования; С - период (длина) излучины; D - полупериод (шаг) излучины.

Для реализации поставленной задачи использовался подход, изложенный в патенте Ольневой Т.В., Жуковской Е.А. [2018], который заключается в применении численных зависимостей, установленных для современных рек к аналогичным палеосистемам.

Если русло нечетко проявлено в сейсмических данных, то достаточно интерпретации на амплитудном слайсе пояса руслоформирования и определения его ширины, чтобы по зависимости Collinson (1978) для объектов свободного меандрирования рассчитать вероятную мощность отложений.

При уверенной интерпретации палеоканала по сейсмическим данным существует возможность рассчитать коэффициент извилистости на основе измерений длины русла, длины долины и вычисления их отношения. Коэффициент извилистости позволяет дополнительно обосновать морфологический тип речной системы. Длина волны (шага) меандра связана почти прямолинейной зависимостью с шириной русла и с радиусом кривизны меандра.

3. МЕТОДИКА РАБОТЫ

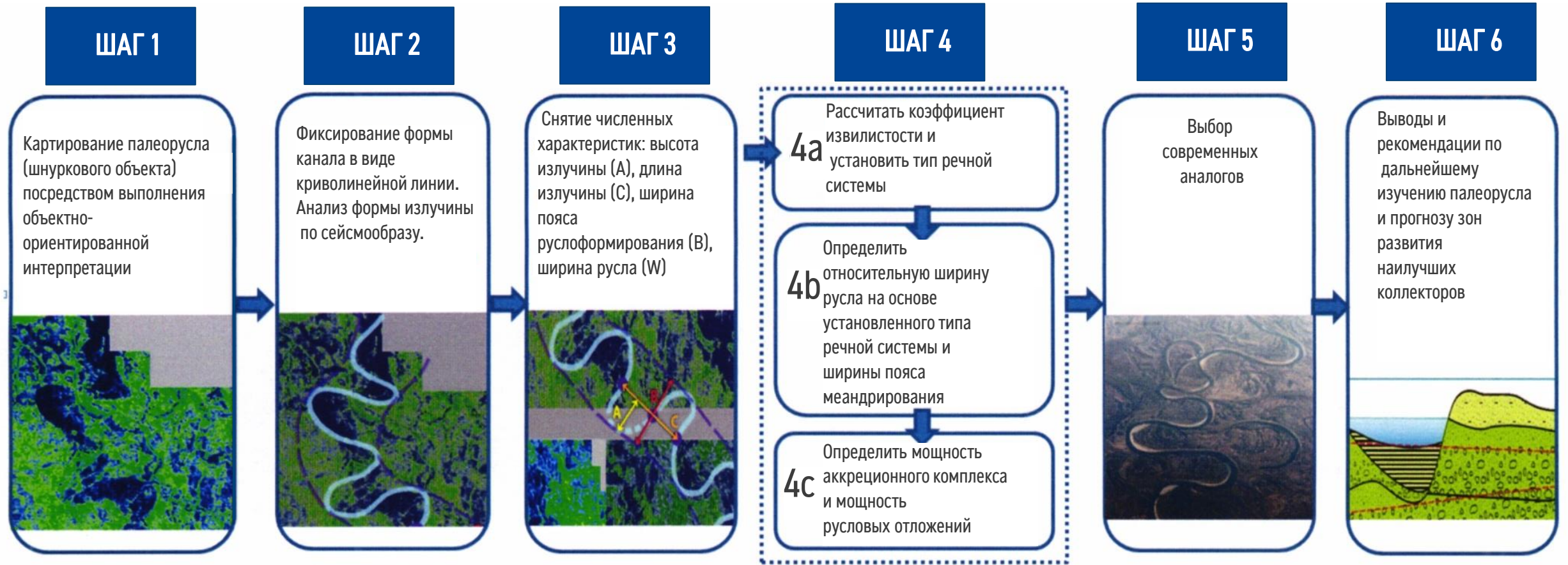
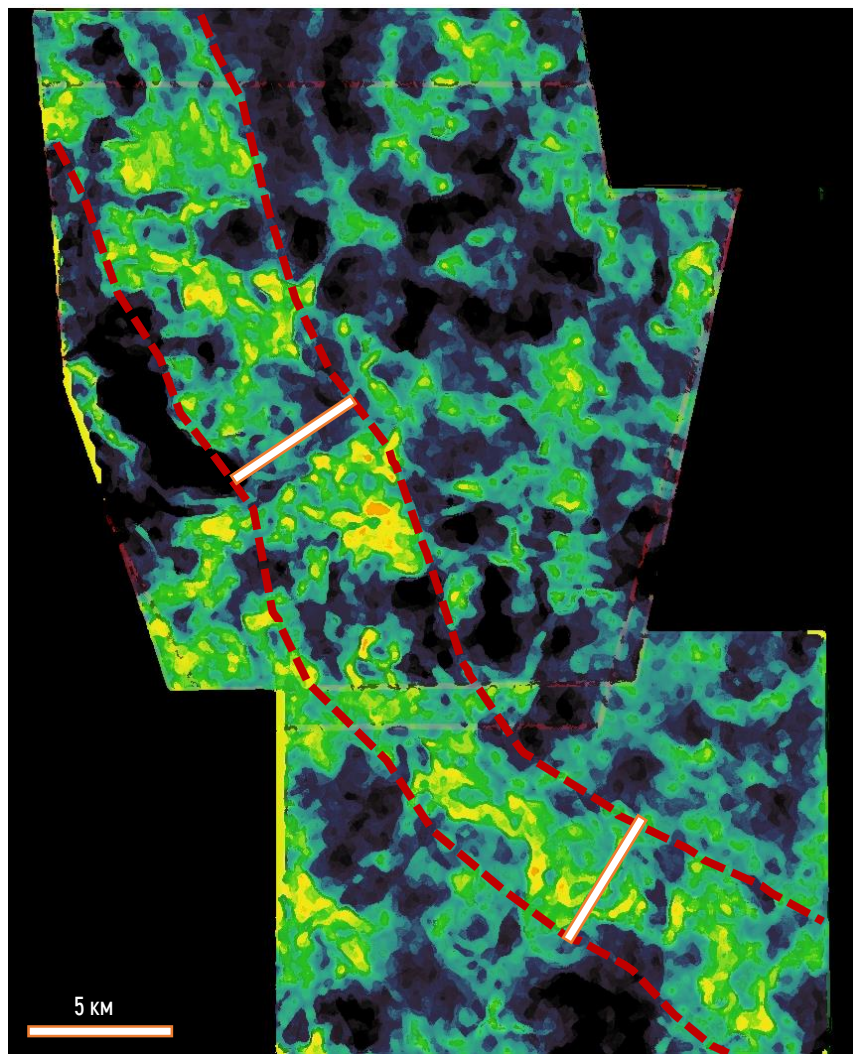


Схема прогнозирования морфометрических параметров русловых тел [Ольнева, Жуковская, 2018]

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 1. Картирование предполагаемого пояса руслоформирования



Тип процесса	В / W	Описание русла
Свободное меандрирование Меандрирующая река	8,9	Однорукавное, свободно меандрирующее с наличием излучин, иногда асимметричных, находящихся на разных стадиях развития; на заболоченных поймах возможна гипертрофированная форма излучин
Незавершенное меандрирование	5,7	Двухрукавное меандрирующее, излучины часто спрямляются на ранних стадиях развития и имеют разную степень разворота
Пойменная многорукавность Анастомозирующая река	5,6	Многорукавное, разделенное пойменными островами, часто затруднительно выделение главного рукава, возможно развитие рукавов по самостоятельному типу процесса
Ограниченное меандрирование	3,4	Однорукавное, слабо меандрирующее, правильно извилистое при неизменной ширине долины; при изменении ширины долины изменяются размеры и форма сползающих излучин
Побочный тип Прямолинейная река	1,2	Однорукавное, относительно прямолинейное и устойчивое в плане
Русловая многорукавность Разветвленная рука	1,0	Многорукавное, широкое, распластанное, неустойчивое в плане

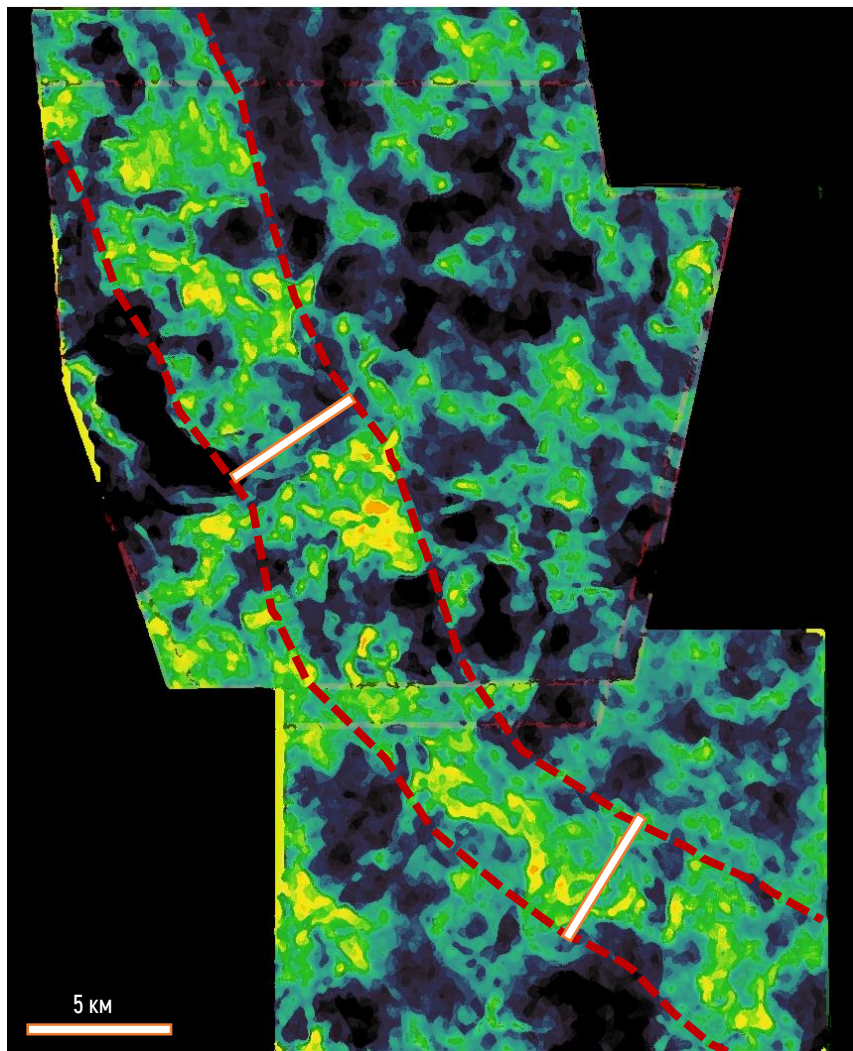
W - ширина русла, В - ширина пояса руслоформирования.

По результатам картирования пояса руслоформирования (меандрирования) его ширина оценивается средним значением в 5000 метров;

На основании зависимости В/W для меандрирующих рек ширина прогнозируемого русла оценивается в 560 метров.

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 2. Вычисление предполагаемой толщины песчаных тел



Опираясь на закономерность, установленную Collinson (1978) для расчета ширины пояса меандрирования (B) по общей глубине пояса меандрирования, можно решить обратную задачу - вычислить предполагаемую толщину песчаных тел.

$$B (Wm) = 64.6 * h^{1.53},$$

где h - средняя мощность в пределах пояса меандрирования.

$$h^{1.54} = 5000 / 64.6 = 77.4$$

$$h^{1.54} = 77.4 \Rightarrow h = 16.844$$

Из зависимостей, установленных Г. Хэем, следует, что колебания максимальных глубин на участке излучины более значительны, чем средних по сечению и составляет 18 %. Это может служить оценкой погрешности определения расчетной толщины русловых тел.

$$h = 16.8 \pm 3 \text{ м}$$

При ширине пояса меандрирования (B) в 3000 метров, глубина (мощность) оценивается в 12 метров.

$$h = 12 \pm 2 \text{ м}$$

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

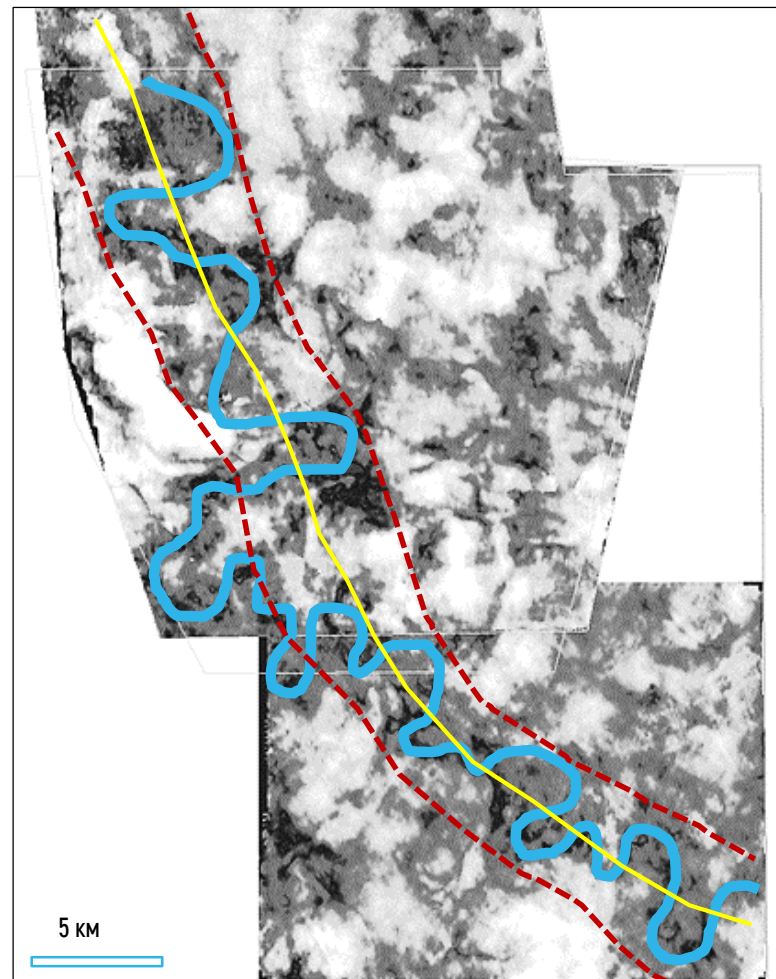
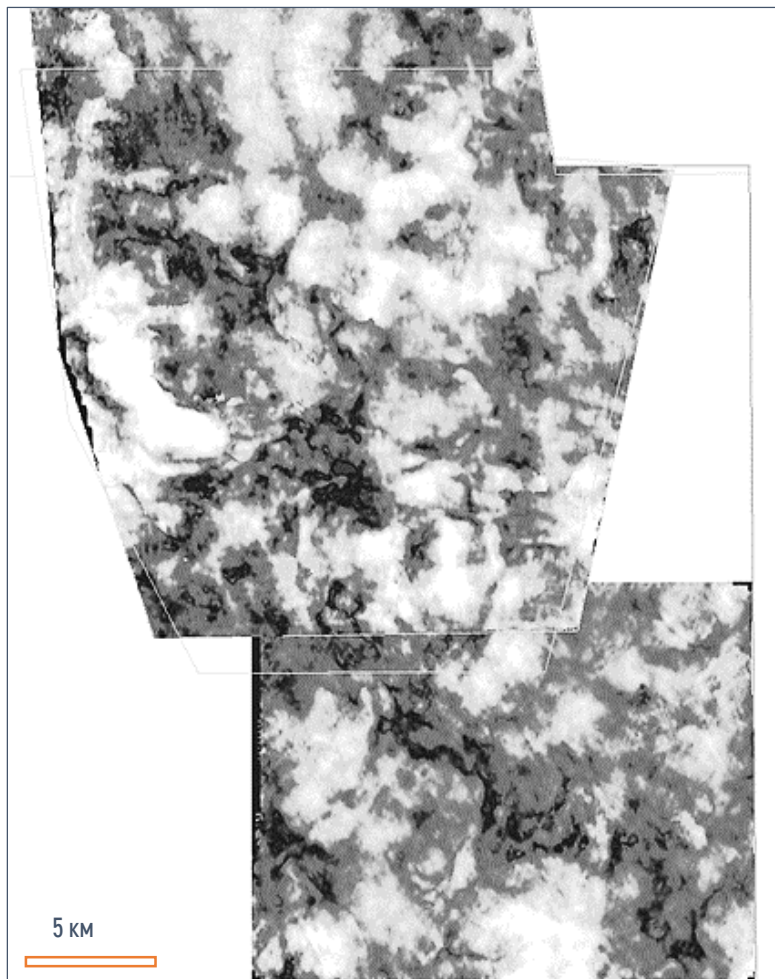
Шаг 3. Интерпретация возможного расположения палеорусла. Расчет коэффициента извилистости

ИЗВИЛИСТОСТИ

Расчет коэффициента извилистости: $L_{\text{русла}} / L_{\text{долины}}$

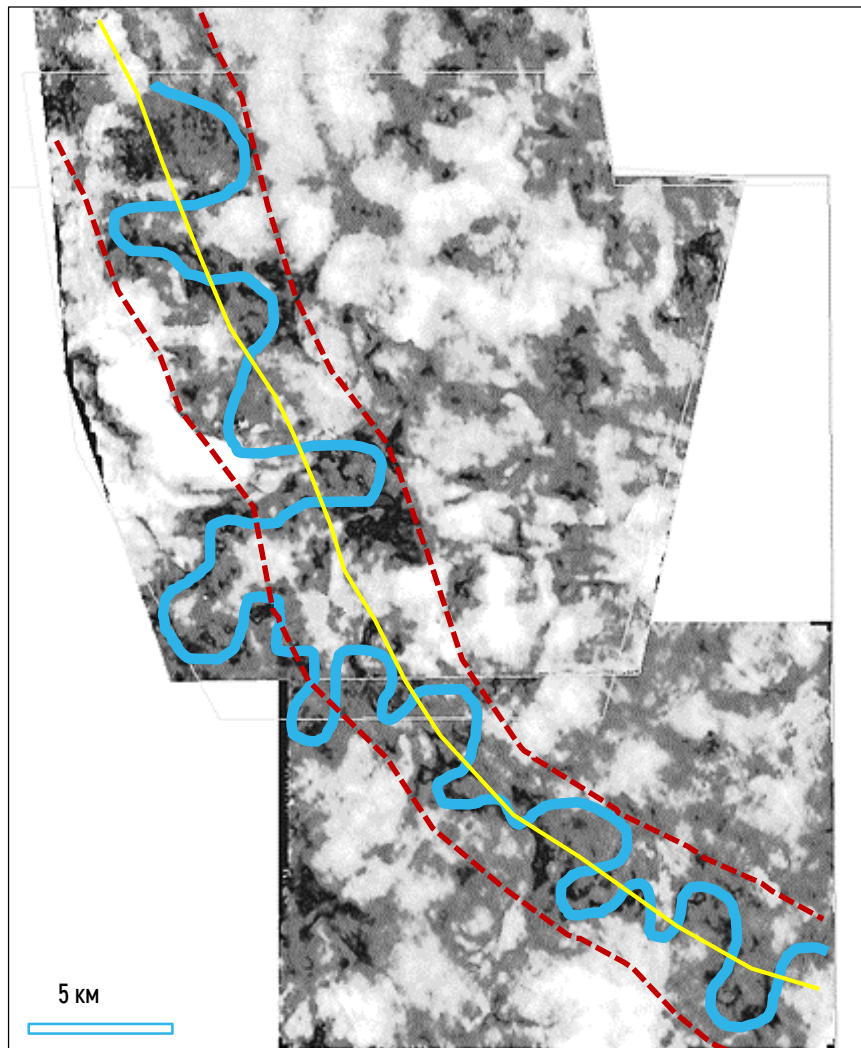
$L_{\text{русла}} = 95 \text{ км}$ $L_{\text{долины}} = 45 \text{ км}$

Коэффициент извилистости = 2.1



4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 3. Определение типа извилистости русла



Расчет коэффициента извилистости: $L_{\text{русла}} / L_{\text{долины}}$

$L_{\text{русла}} = 95 \text{ км}$ $L_{\text{долины}} = 45 \text{ км}$

Коэффициент извилистости = 2.1

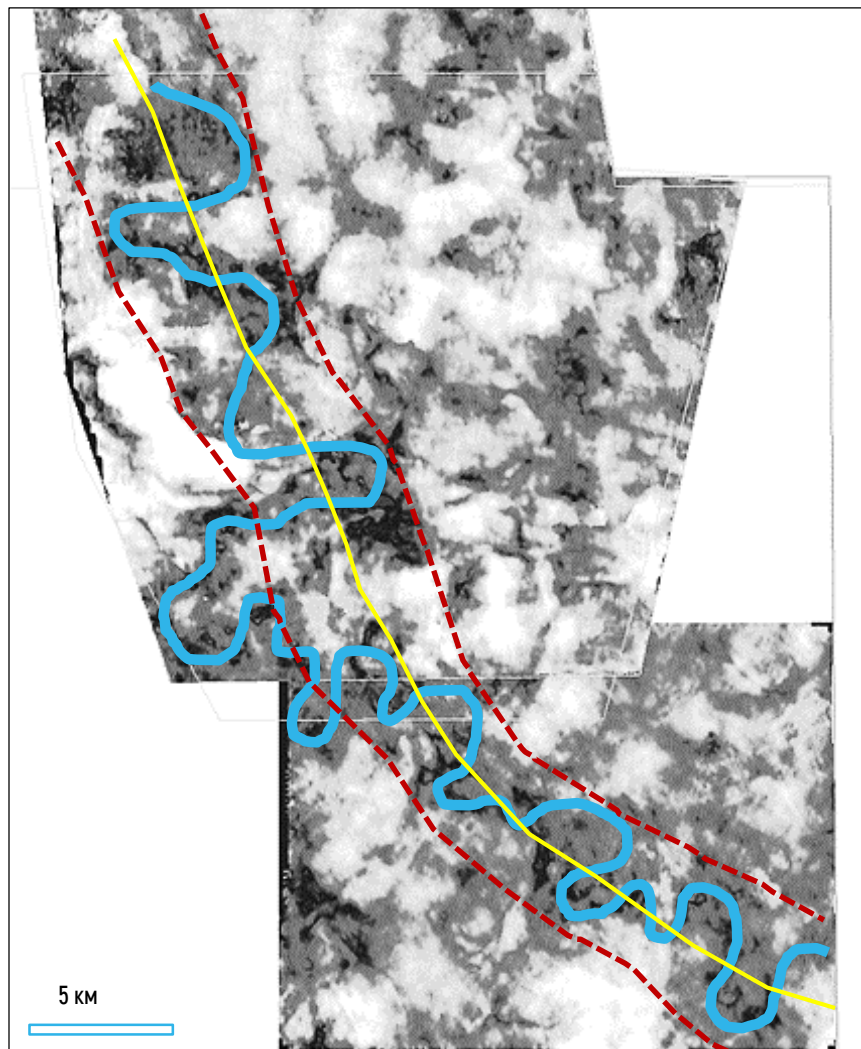
Относительно классификации современных русел по степени извилистости палеоканал можно охарактеризовать как сильноизвилистый объект (К изв. 1.81 – 2.00) или чрезвычайно извилистый (> 2).

По типу - свободно меандрирующее русло с разнообразной формой излучин.

Типы извилистости русел	Значения коэффициента извилистости
Относительно прямолинейные	<1.1
Очень слабо извилистые	1.10-1.20
Слабо извилистые	1.21-1.40
Умеренно извилистые	1.41-1.60
Извилистые	1.61-1.80
Сильно извилистые	1.81-2.00
Чрезвычайно извилистые	>2.00

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 4. Определение типа извилистости русла



$L_{\text{русла}} = 95 \text{ км}$ $L_{\text{долины}} = 45 \text{ км}$

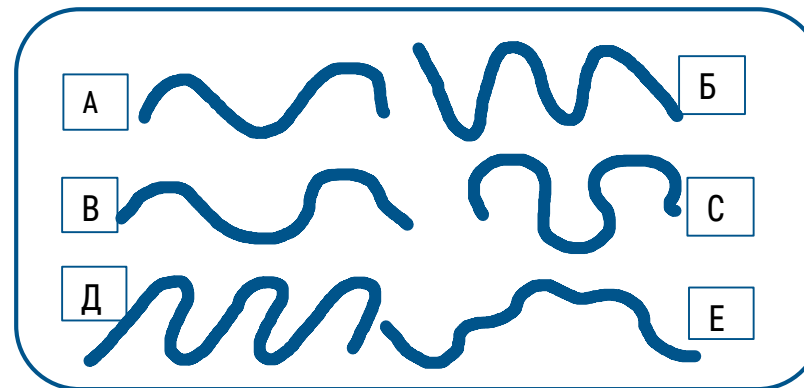
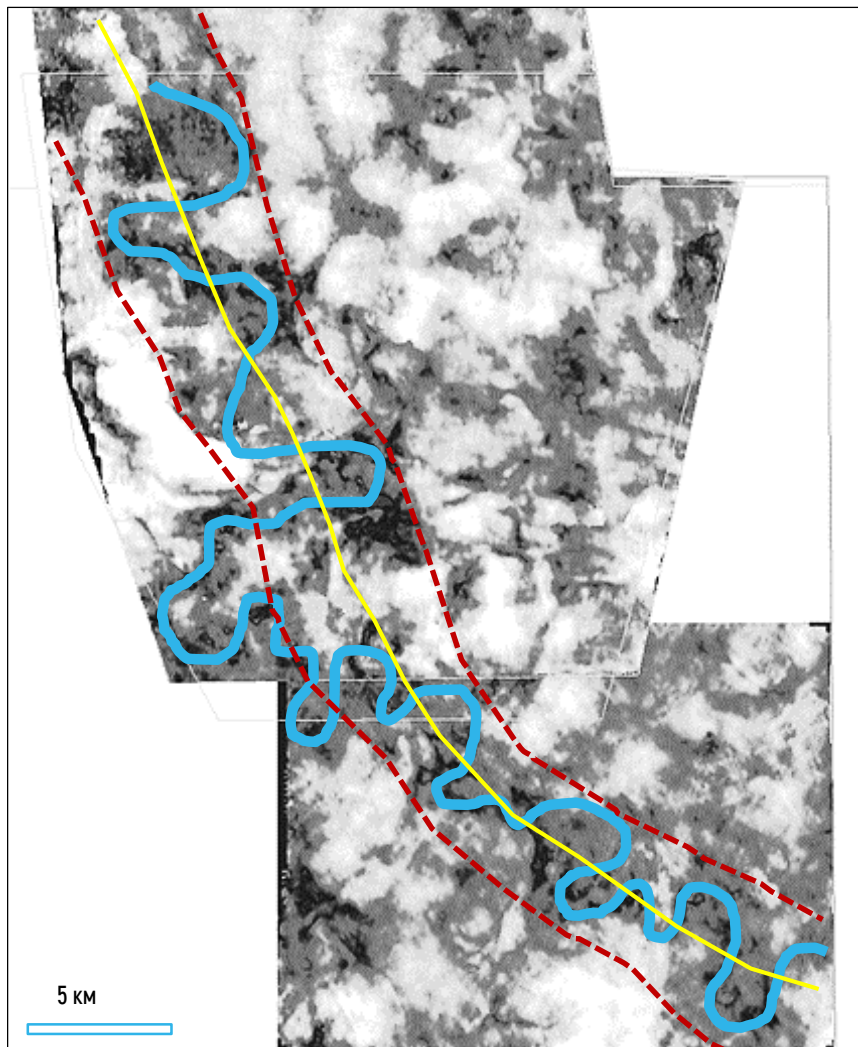
Коэффициент извилистости = 2.1

По типу - свободно меандрирующее русло с разнообразной формой излучин.

Морфологический тип речной системы	Тип меандрирования	$K_{\text{извилистости}}$	Размер рек	Морфология излучин
Спрявленные реки		1-1,2		
Разветвленные		1,1-1,4		
Меандрирующие	Свободное	1,5-3	Крупнейшие	
		1,7-3,5	Средние и большие	Большие углы разворота, сундучные, омеговидные, сложные
		> 2	Малые широкопойменные	Крутые сегментные излучины
	Ограниченное	1,4-2		Сегментные, синусоидальные
	Незавершенное	1,1-1,7		Не достигают больших углов разворота, сегментные
Вынужденное			Сегментные, синусоидальные, омеговидные	
Аностомозирующие		1,4-1,7		

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 5. Классификация по форме излучины

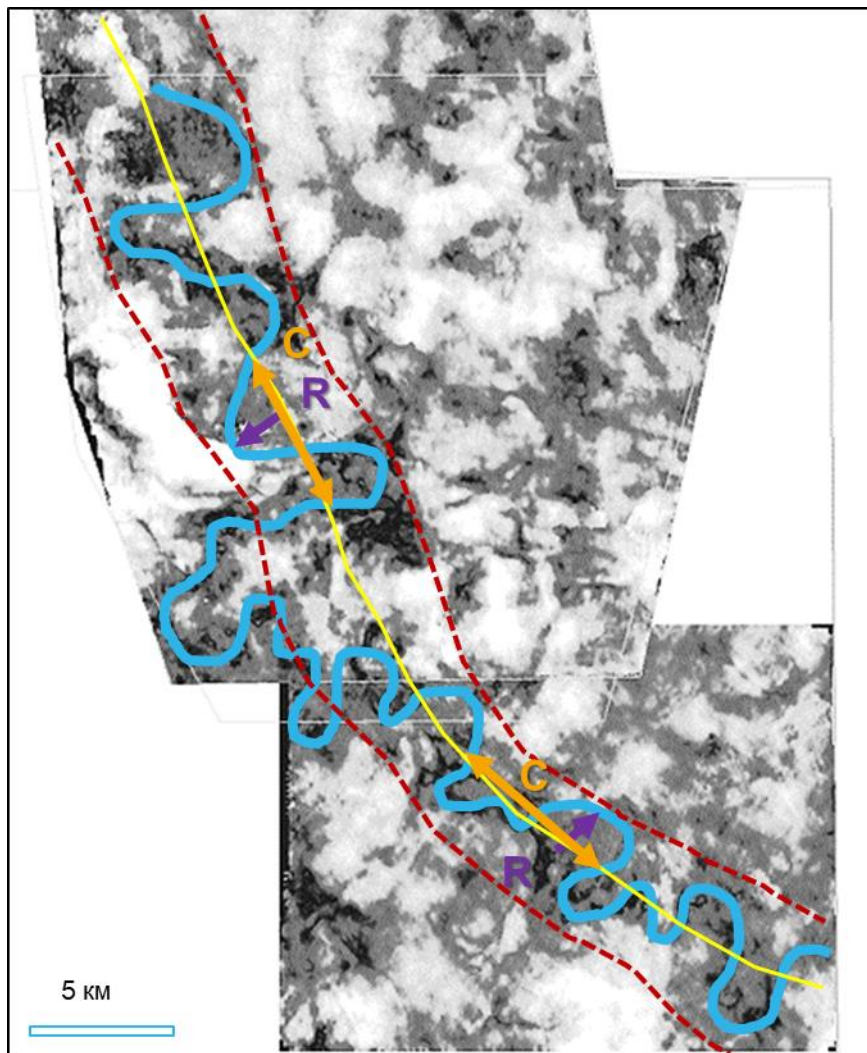


У равнинных рек чаще всего сегментные излучины, образованные дугами круга (А). Значительно распространены синусоидальные (Б) (преимущественно на полугорных реках) и омеговидные (Г) излучины (на малых равнинных реках). У омеговидных излучин шпора пережата у основания крыльев, где образуется шейка излучины. Реже встречаются сундучные (В) и заваленные (Д) излучины. Нередки сложные излучины (Е), имеющие вторичные изгибы.

Соотношения между геометрией меандр и другими параметрами русла и расходом воды изучены теоретически и эмпирически. Форма меандры представляет собой способ регулирования глубины, скорости течения и величины уклона с целью свести к минимуму противоречие между касательным напряжением и сопротивлением ему трением.

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 6. Определение ширины русла через длину излучины



Длина волны (шага) меандры λ связана почти прямолинейной зависимостью с шириной русла W и с радиусом кривизны меандры R :

$$C(\lambda) = 4.7 R^{0.98}$$

$$C(\lambda) = 10.9 W^{1.01}$$

$C(\lambda)$ измеренная – от 5000 до 7000 м

1,01 ⇄	$\sqrt{\frac{460}{1.01}}$	= 432.906	м, для C=5 км
--------	---------------------------	-----------	---------------

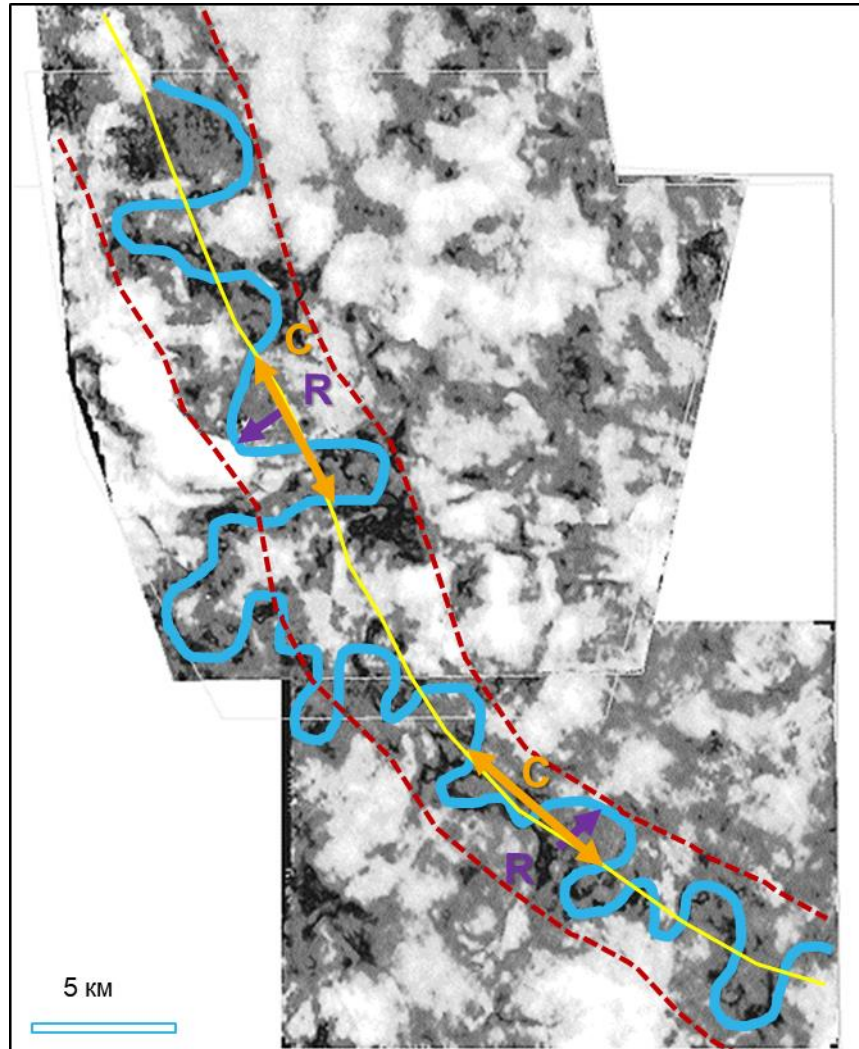
1,01	$\sqrt{\frac{642}{1.01}}$	= 602.196	м, для C=7 км
------	---------------------------	-----------	---------------

Сопоставление с пунктом 1.

На основании зависимости между шириной пояса руслоформирования и шириной русла для меандрирующих рек прогноз составлял **560** метров.

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Шаг 7. Определение длины излучины через кривизну излучины (контроль)



Длина волны (шага) меандры λ связана почти прямолинейной зависимостью с шириной русла W и с радиусом кривизны меандры R :

$$C(\lambda) = 10.9 W^{1.01}$$

$$C(\lambda) = 4.7 R^{0.98}$$

R измеренный от 1.5 до 1.75 км

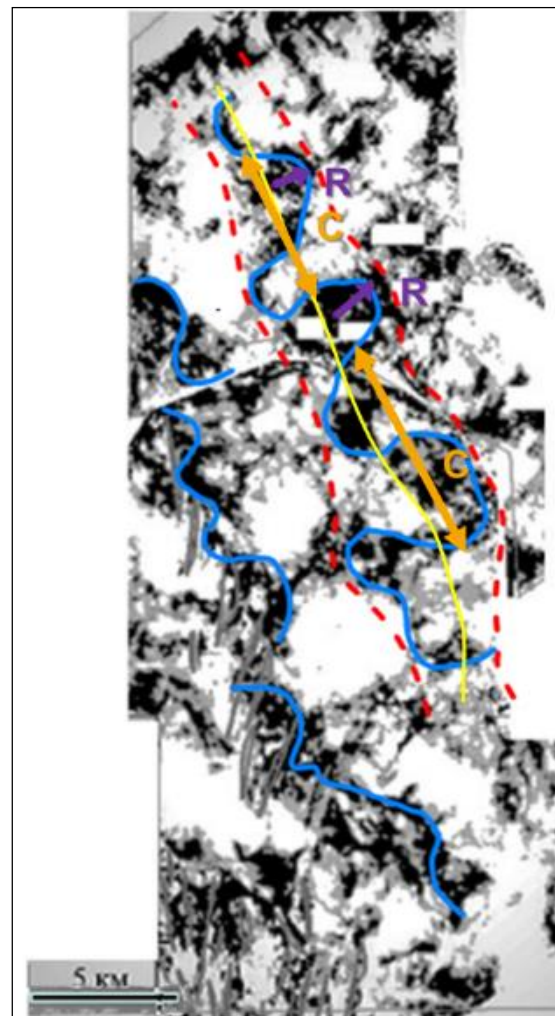
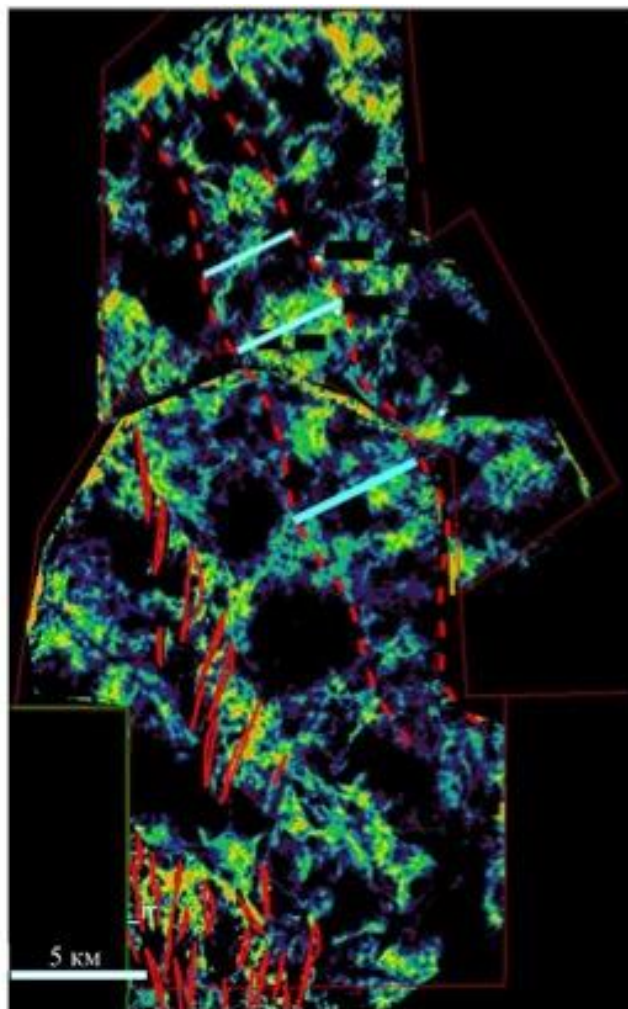
Длина излучины расчетная составляет от 7 км ($R=1.5$) до 8 км ($R=1.75$ км)

$$4.7 \cdot 1.5^{0.98} = 6.99 \text{ км, для } R=1.5 \text{ км}$$

$$4.7 \cdot 1.75^{0.98} = 8.13 \text{ км, для } R=1.75 \text{ км}$$

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Картирование палеорусла на соседней площади



4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НА ОДНОМ ИЗ КЛАСТЕРОВ ЯНАО

Числовые результаты измерения и расчёта параметров морфологии палеоканалов

• Параметры	• Площадь 1	• Площадь 2
• Ширина пояса руслоформирования (B), м	• 5000	• 4500
• Ширина русла (W), м	• 560	• 505
• Длина палеорусла, км	• 95	• 45
• Длина долины палеорусла, км	• 45	• 23
• Коэффициент извилистости	• 2.1	• 1.9
• Длина излучины (C), м	• от 5000 до 7000	• от 5500 до 7800
• Радиус кривизны (R), м	• от 1500 до 1750	• от 1250 до 1750
• Вычисленная средняя мощность в пределах пояса меандрирования (h), м	• 16.8 ± 3	• 14.6 ± 2.6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пример применения способа численной оценки морфометрических параметров русловых тел (палеоканалов) демонстрирует его преимущества для углубленной геологической интерпретации. Параметризация объектов и прогноз отдельных величин, находящихся за пределами разрешенности сейсмического метода, позволяют более реалистично описать морфологию палеорусла, спрогнозировать размеры осадочных тел и возможных литологических ловушек, оценить ресурсы, дать прогноз и рекомендации для дальнейшего изучения.

Широкое внедрение в практику цифровых технологий существенно расширяет возможности морфометрического анализа, так как многие процедуры вычислений и преобразований информации могут быть автоматизированы и встроены в уже существующее программное обеспечение обработки геолого-геофизических данных.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!