

# Каспийское море: морфометрические характеристики и стохастическое моделирование

Часть 2

# Caspian Sea: Morphometrics & Stochastic Modelling

Part 2

Во 2 части этой статьи, впервые опубликованной в мартовском номере Журнала ROGTEC 2010 года, мы рассматриваем результаты и заключения статистического анализа морфометрического и статистического моделирования Каспийского моря

Олибий Йшола - biyiishola@yahoo.com

## Результаты и заключения

Данные, полученные на основании замеров, показывают, что протяженность русла дельты Волги составляет от 0,28 до 24,03 км, со средней длиной 5,41 км (Рис 5а).

Средняя длина русла иерархической группировки колеблется между 1,32 и 18,06 км. Величины средних протяженностей самые высокие в иерархии 3, а самые низкие вниз по 15 иерархии русла, что указывает на некоторое сокращение средней протяженности вниз по иерархии (Таблица 5.1).

Среднее отклонение протяженности русла ( $L$ ) составляет 4,38 км (Приложение 1). Стандартное отклонение колеблется между 0,3 и 4,72 км в иерархических группировках, с самым высоким значением наверху иерархии и самым низким значением у основания (Таблица 5.1).

Извилистость русел дельты Волги колеблется от 1 до 1,5, тогда как средняя величина извилистости составляет 1,1.

Средняя величина извилистости иерархической группировки колеблется между 1 и 1,34 (Таблица 5.1). Величина извилистости достигает самого высокого значения в 3 иерархии, а самого низкого

In part 2 of this article, Part 1 was first published in the March 2010 issue of ROGTEC Magazine, we look at the results & conclusions from the statistical analysis of Caspian Sea Morphometrics & Stochastic Modeling

Olubiyi Ishola - biyiishola@yahoo.com

## Results & Conclusions

The measured data reveals that the Volga delta channel ranges from 0.28 to 24.03 km in length, with a mean length of 5.41 km (Fig 5a).

The mean channel length of the hierarchy grouping ranges between 1.32 and 18.06 km. The values of the mean lengths are highest up in hierarchy 3, and lowest down the channel hierarchy 15, indicating that there are some decrease in mean length down the hierarchy (Table 5.1).

The standard deviation of the length of the channel ( $L$ ) is 4.38 km (Appendix 1). The standard deviation ranges between 0.3 and 4.72 km in the hierarchy groupings, with the largest value at the top of the hierarchy and the lowest at the base (Table 5.1).

The sinuosity of the Volga delta channels range from 1 to 1.5, with a mean sinuosity of 1.1.

The mean sinuosity of the hierarchy grouping ranges between 1 and 1.34 (Table 5.1). The sinuosity value is highest in hierarchy 3 and lowest in hierarchy 15, indicating a decrease in mean sinuosity down the hierarchy. This decrease is not seen in hierarchy 11 and 12 (Table 5.1).

The standard deviation for the sinuosity of the channels in the Volga delta is 0.09 (Appendix 1), and ranges from 0 to

значения – в 15 иерархии, указывая на понижение величины средней извилистости вниз по иерархии. Такое понижение не наблюдается в иерархии 11 и 12 (Таблица 5.1).

Стандартное отклонение извилистости русел в дельте Волги составляет 0,09 (Приложение 1), и колеблется от 0 до 0,1 в группировках иерархии (Таблица 5.1).

Ширина русел дельты Волги, согласно замерам, колеблется от 70 м до 833 м, тогда как средняя величина ширины составляет 248 м со стандартным отклонением 162 м.

Для сравнения, данные увеличенного участка от дельты Волги (Рис 5b) показывают колебания протяженности русла от 0,23 до 13,42 км, тогда как средняя протяженность составляет 1.61 км. Извилистость увеличенного участка колеблется от 1 до 1,33, тогда как средняя извилистость составляет 1,07.

Средняя протяженность, средняя извилистость и средние отклонения русел увеличенного участка карты дельты Волги, с аналогичной иерархией, показаны в Таблице 5.2.

0.1 in the hierarchy groupings (Table 5.1).

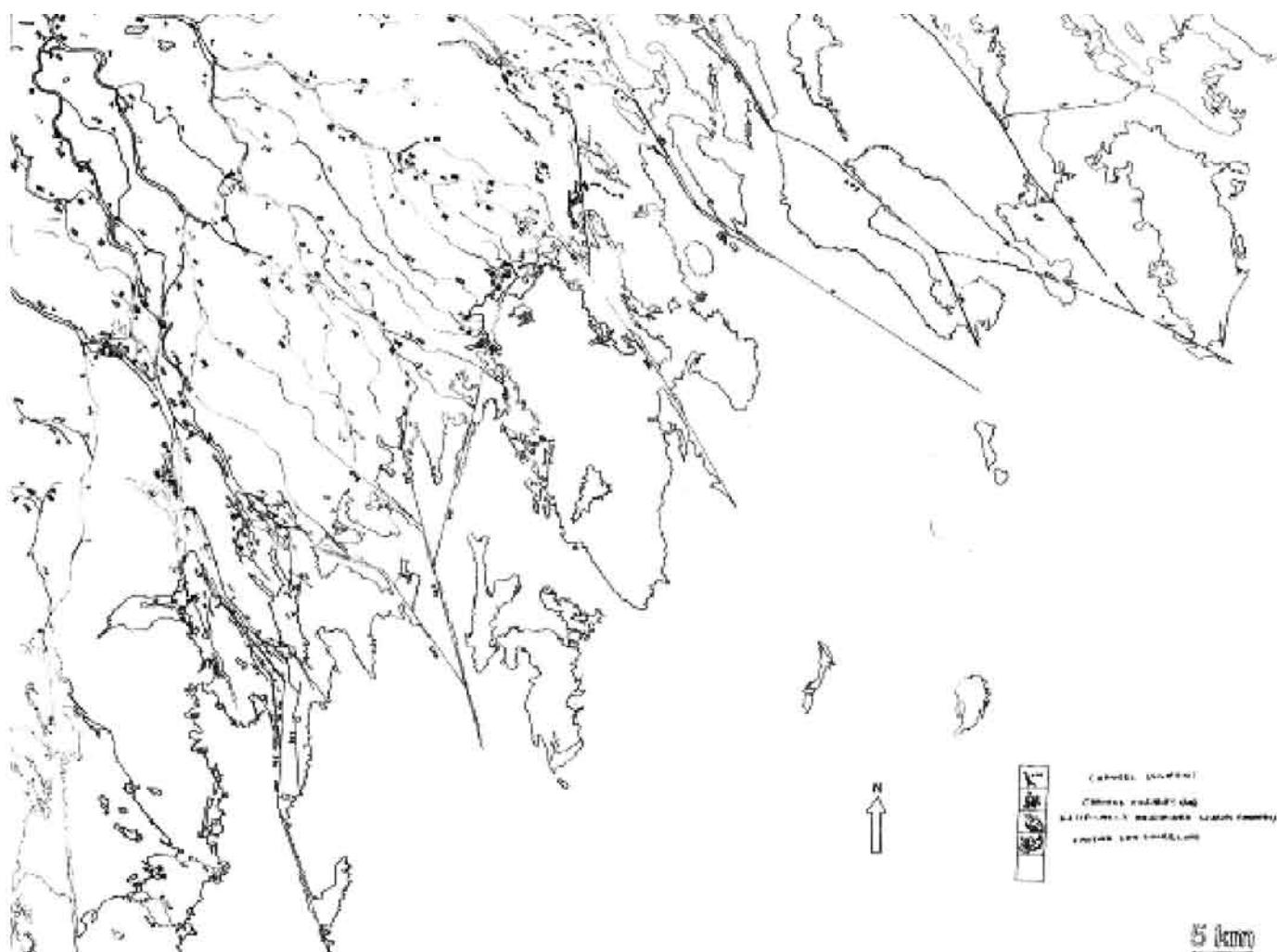
The Volga delta channels measured ranged from 70m to 833 m in width, with a mean width of 248 m and a standard deviation of 162m.

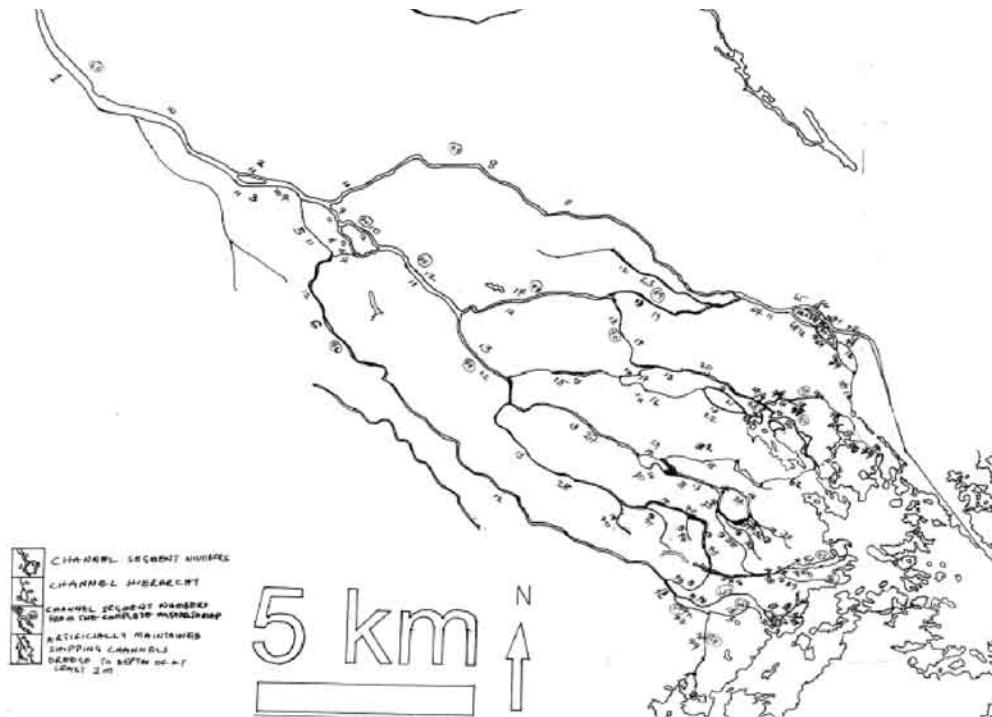
In comparison, the data from the enlarged section worked on from the Volga delta (Fig 5b) reveals a range of 0.23 to 13.42 km for channel length, a mean length of 1.61 km. The sinuosity from the enlarged section ranges from 1 to 1.33 with a mean sinuosity of 1.07

The mean length and mean sinuosity and standard deviations of channels having similar hierarchy from the enlarged section of the Volga delta map are illustrated in Table 5.2.

**Рис 5.а** Составленная карта дельты Волги с последующими доработками (Масштаб: 3,6см равно 5 км)

**Figure 5.а** The traced out map of the Volga delta that was worked on (Scale: 3.6cm represents 5 km)





**Рис 5.б** Подробная карта участка с выраженной схемой распределения реки на мелкие рукава (Масштаб: 9.8см равно 5 км).

**Figure 5.b** A map of the section looked at in detail showing a pronounced distributary pattern (Scale: 9.8cm represents 5 km).

**Таблица 5.1** Среднее и стандартное отклонение протяженности (L) и извилистости для русел, имеющих аналогичную иерархию в дельте Волги

**Table 5.1** The mean and standard deviation of length (L) and sinuosity for channels having similar hierarchy in the Volga delta

Иерархия русла Channel hierarchy	Кол-во участков реки между устьями 2 соседних притоков Number of channel segments	Средняя протяженность русла (длина-L) (км) Mean of channel (length-L) (km)	Стандартное отклонение протяженности русла (длина-L) Standard of Deviation of channel (length-L)	Средняя извилистость Mean (Sinuosity)	Стандартное отклонение извилистости Standard Deviation Sinuosity
3	1	18.06	-	1.34	-
4	13	6.81	4.72	1.18	0.1
5	16	5.48	4.91	1.14	0.12
6	27	6.76	4.53	1.14	0.12
7	32	5.24	4.44	1.1	0.09
8	41	4.76	3.42	1.08	0.06
9	37	6.12	4.87	1.07	0.08
10	38	4.26	3.45	1.07	0.05
11	26	6.32	5.60	1.09	0.07
12	19	5.14	4.05	1.12	0.10
13	15	4.14	2.63	1.1	0.08
14	2	2.92	1.38	1.1	0.28
15	2	1.32	0.30	1	0

**Таблица 5.2** Среднее и стандартное отклонение протяженности (L) и извилистости для русел, имеющих аналогичную иерархию на увеличенной части изображения дельты Волги

**Table 5.2** The mean and standard deviation of length (L) and sinuosity for channels having similar hierarchy in the enlarged part of the Volga delta image

Иерархия русла Channel hierarchy	Кол-во участков реки между устьями 2 соседних притоков Number of channel segments	Средняя протяженность русла (длина-L) (км) Mean of channel (length-L) (km)	Стандартное отклонение протяженности русла (длина-L) Standard of Deviation of channel (length-L)	Средняя извилистость Mean (Sinuosity)	Стандартное отклонение извилистости Standard Deviation Sinuosity
10	2	4.46	3.93	3.93	1
11	7	2.72	3.97	1.05	0.07
12	12	2.52	3.69	1.08	0.08
13	15	1.73	1.31	1.08	0.09
14	16	1.1	0.63	1.09	0.09
15	15	1.16	0.60	1.07	0.05
16	7	0.68	0.44	1.04	0.08
17	4	1.11	0.82	1.09	0.07
18	2	0.39	0.11	1	0

# Задачи сегодняшнего дня

## - Завтрашние решения

Воспользуйтесь новым  
стандартом в технологии  
измерения многофазных  
параметров

● ● ● Roxar MPFM 2600



Графики протяженности в сопоставлении с извилистостью, иерархии в сопоставлении с извилистостью, иерархии в сопоставлении с шириной и извилистости в сопоставлении с шириной рукавов дельты представляет рассредоточенную диаграмму. Диапазон значений коэффициента детерминации R-квадрата на диаграммах ниже колеблется между 0,002 и 0,12.

Результаты столбчатой диаграммы и интегральной кривой распределения протяженности, ширины, иерархии и извилистости русел в дельте Волги показаны на графиках ниже.

Рис 5.1: График

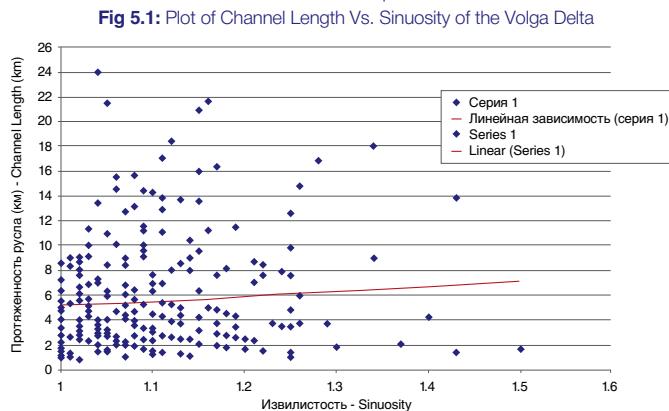


Рис 5.4: График

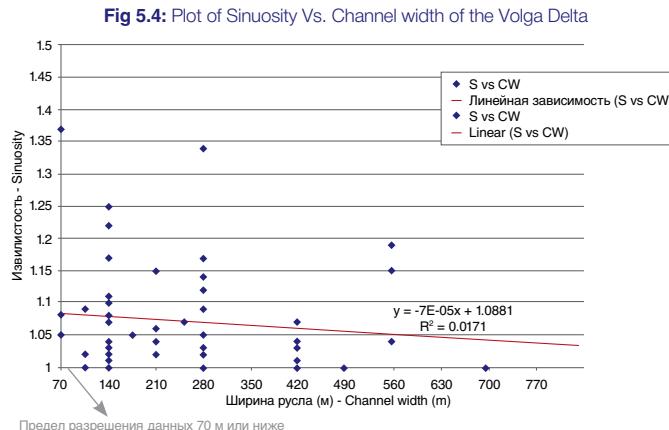
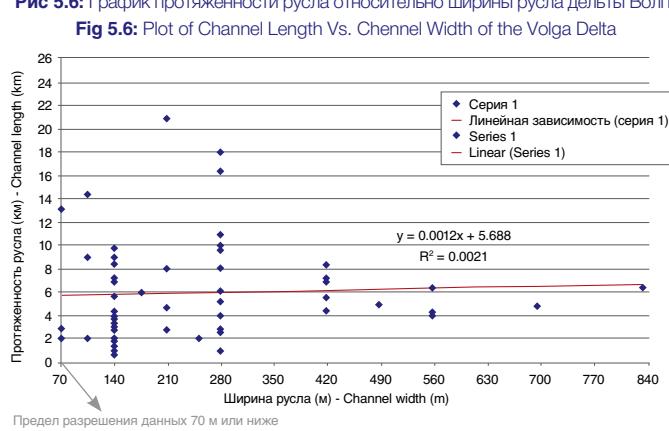


Рис 5.6: График протяженности русла относительно ширины русла дельты Волги



The plots of length versus sinuosity, length versus hierarchy, hierarchy versus sinuosity, hierarchy versus width and sinuosity versus width of the Volga delta channels all gives a scattered graph. The R-squared values of the graphs below ranges between 0.002 and 0.12

The results of the bar chart and cumulative frequency curve of the length, width, hierarchy and sinuosity of channels in the Volga delta are shown on the plots in the figures below.

Рис 5.2: График

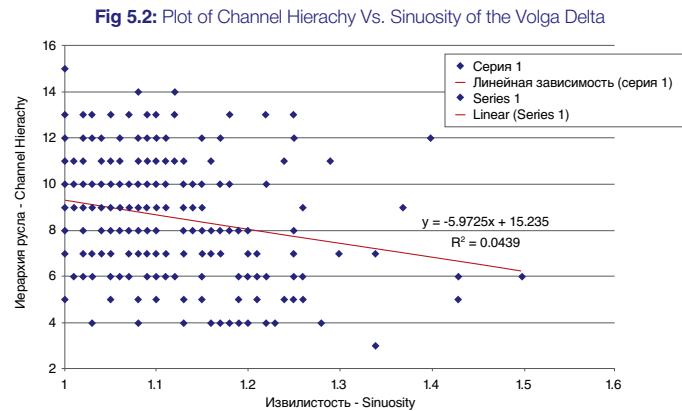


Рис 5.5: График протяженности русла относительно иерархии русла

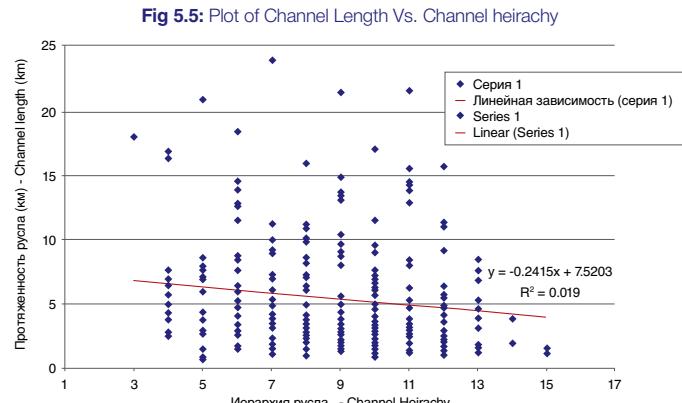
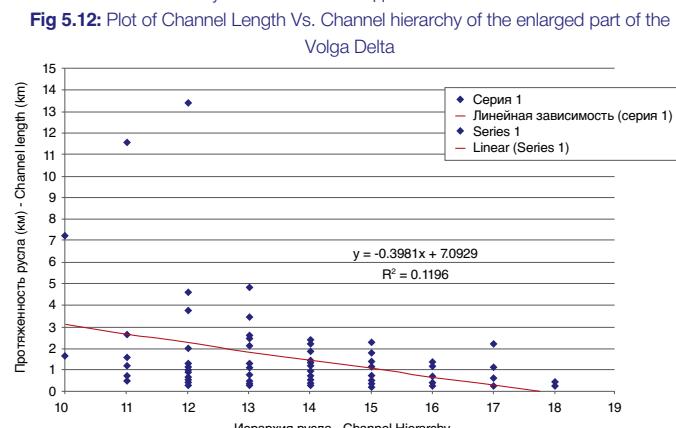


Рис 5.12: График протяженности русла относительно иерархии русла увеличенной части дельты Волги





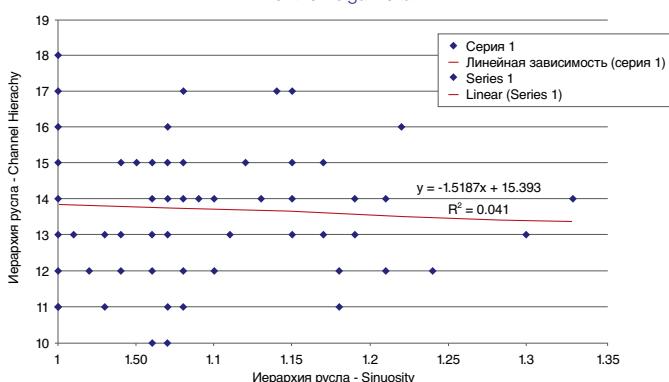
## Offshore services



- subsea rock installation
- seabed intervention works
- landfall construction
- SPM installation
- GBS installation

**Рис 5.13:** График иерархии русла относительно извилистики увеличенной части дельты Волги

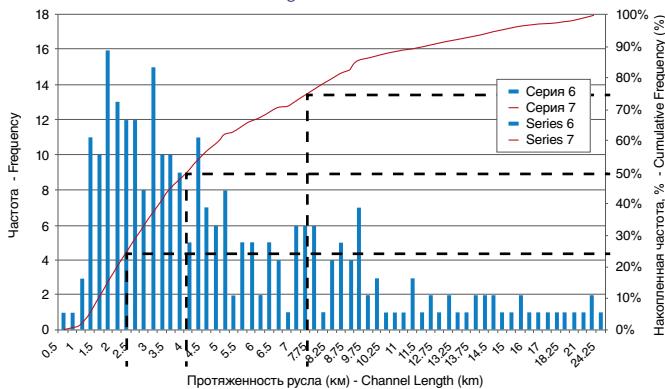
**Fig 5.13:** Plot of Channel Hierarchy Vs. Sinuosity of the enlarged part of the Volga Delta



Извилистость уменьшается по мере повышения иерархии  
Sinuosity decreases as we move up the hierarchy

**Рис 5.7:** Столбчатая диаграмма и кривая накопленной частоты, отражающие распределение протяженностей русел в дельте Волги

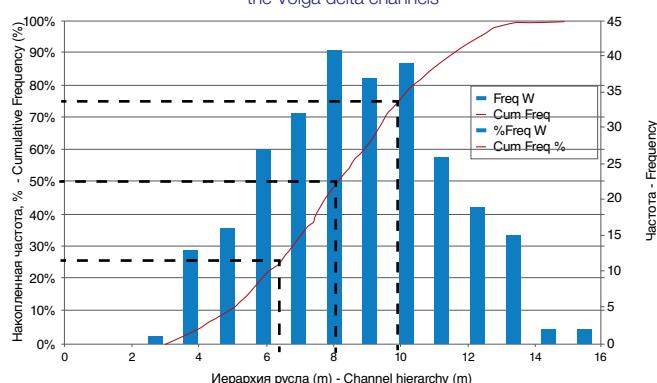
**Fig 5.7:** Bar chart and Cumulative frequency showing distribution of the Volga delta channels



Асимметрия = 1,6 (положительная асимметрия)  
Skewness = 1.6 (positively skewed)

**Рис 5.9:** Столбчатая диаграмма и кривая накопленной частоты, отражающие иерархическое распределение русел в дельте Волги

**Fig 5.9:** Bar chart and Cumulative frequency curve showing hierarchy distribution of the Volga delta channels



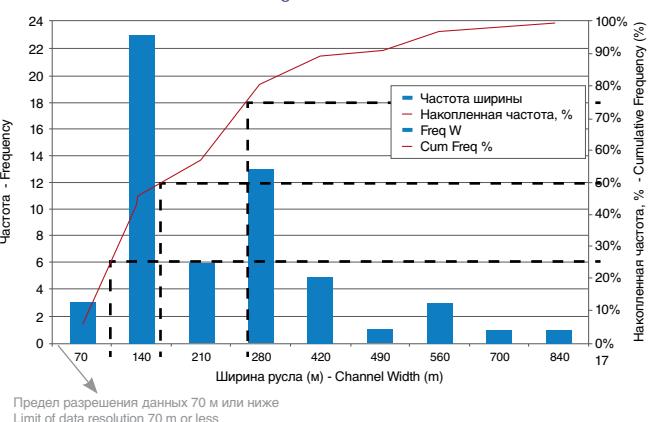
Асимметрия = 1,6 (положительная асимметрия)  
Skewness = 1.6 (positively skewed)

**Примечание:** Значения  $R^2$ , полученные на основании диаграмм разброса, наводят на мысль, что не существует тесной взаимосвязи между переменными характеристиками; протяженность, извилистость и ширина, как значения  $R^2$  -все приблизительно равны нолью, что дает основания полагать, что эти переменные могут рассматриваться независимо при построении модели бассейна.

**Note:** The  $R^2$  values obtained from the scatter plots all suggest that there is no strong relationship between the variables; length, sinuosity and width, as the  $R^2$  values are all approximately zero. This implies that these variables can be treated independent when building a reservoir model.

**Рис 5.8:** Столбчатая диаграмма и кривая накопленной частоты, отражающие распределение ширин русел в дельте Волги

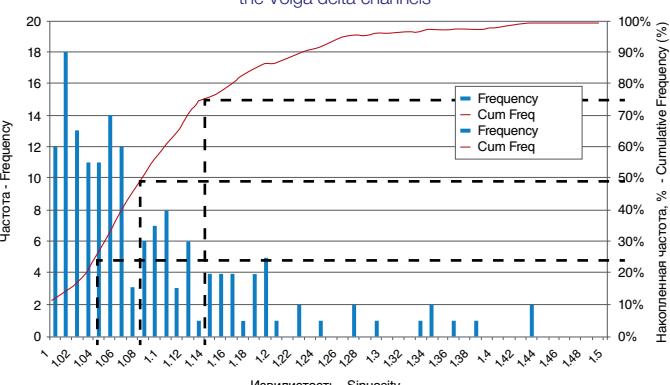
**Fig 5.8:** Bar chart and Cumulative frequency showing width distribution of the Volga delta channels



Предел разрешения данных 70 м или ниже  
Limit of data resolution 70 m or less

**Рис 5.10:** Столбчатая диаграмма и кривая накопленной частоты, отражающие распределение извилистики русел в дельте Волги

**Fig 5.10:** Bar chart and Cumulative frequency curve showing sinuosity distribution of the Volga delta channels



Асимметрия = 1,6 (нормальное распределение)  
Skewness = 1.6 (Normal distribution)

**Примечание:** Столбчатая диаграмма и графики накопленных частот указывают на положительную величину асимметрии и частоты распределения для протяженности, ширины и извилистости русел в дельте Волги, и нулевую величину асимметрии и частоты распределения (нормальное распределение) для иерархии русла.

**Note:** The bar chart and cumulative frequency plots indicates a positive skewness for the length, width & sinuosity of channels in the Volga delta, and a zero skewness (normal distribution) for the channel hierarchy.

## Толкование результатов

Результаты, полученные на основании статистического анализа, интерпретируются следующим образом. Значения коэффициента детерминации  $R^2$  квадрата, полученные на основании диаграммы разброса, наводят на мысль, что не существует тесной взаимосвязи между переменными характеристиками протяженности, извилистости, ширины и иерархии на графике зависимости, по той причине, что значения  $R^2$  квадрата, полученные для всех графиков, равны приблизительно нулю (Рисунки 5.1-5.5, и 5.11-5.13).

Это дает основания полагать, что эти переменные характеристики являются независимыми и могут быть взяты как самостоятельные составляющие при построении модели бассейна.

Таблица 5.1 показывает распределение средней протяженности и средней извилистости русла в дельте Волги вниз по иерархии. Значение протяженности в 3 иерархии, которое составляет 18 км, предполагает значительную протяженность русла. Средняя протяженность в пределах иерархии порядка от 4- до 13 указывает на то, что большинство русел в пределах этого диапазона иерархий составляют русла значительной протяженности, а разветвленная сеть рукавов дельты, которая указывает на движение с верхней дельтовой равнины в нижнюю. Тогда как средние и стандартные значения отклонения средней протяженности и извилистости русел в иерархии порядка от 14 до 15 указывают на русла с покровным песком или впадины.

Сравнение средней протяженности 5,41 км со стандартным отклонением 4,38 км указывает на наличие обширного отклонения от средней протяженности русел в дельте Волги. Это связано с большой разницей между обими значениями, и тем фактом, что диапазон значений для протяженности русла распределяется далеко от среднего значения. На основании значений среднего и стандартного отклонений, диапазон протяженности русла в большей части дельты Волги составляет от 1,03 до 9,79 км.

Кривая распределения частот указывает на то, что протяженность большинства русел в дельте Волги является короткой, с интерквартильным диапазоном

## Interpretation of results

The results obtained from the statistical analysis are interpreted as follows; The  $R^2$  values obtained from the scatter plots all suggest that there is no strong relationship between the variables; length, sinuosity, width and hierarchy of the Volga delta channels when plotted against each other. This is because the  $R^2$  values obtained for all the plots are approximately zero (Figures 5.1-5.5, and 5.11-5.13).

This implies that these variables can be treated as independent and can be placed as separate entities when building a reservoir model.

Table 5.1 shows the distribution of the mean length and mean sinuosity of channel in the Volga delta as we move down the hierarchy. The value of the length in Hierarchy 3 which is 18 km suggests a major channel length. The mean channel length within the hierarchy order of 4 to 13 indicates that majority of channels within this range of hierarchies comprise major channels and branching network of distributaries which suggests movement from an upper to a lower deltaic plain environment. While the mean and standard deviation values of the mean length and sinuosity of channels in the hierarchy order from 14 to 15 suggests channels with sheet sands or lobes.

The mean length of 5.41 km when compared with the standard deviation of 4.38 km indicates that there is a wide deviation from the mean length of channels in the Volga delta. This is due to the large difference between both values, and the fact that the range of values for the channel length is distributed far from the mean value. Based on the values of mean and standard deviation, the range of channel length in most part of the Volga delta is from 1.03 to 9.79 km.

The cumulative frequency distribution indicates that majority of the channel lengths in the Volga delta are short, having an inter-quartile range of 5.25 km and median of 4 km in length (figure 5.7). The bar chart also shows a decrease in the frequency of channels with longer lengths. This suggests that the probability of getting a lower channel length is higher, while the probability of getting channels with higher length is low.

The mean sinuosity of 1.1, when compared to the standard deviation of 0.09 signifies a narrow deviation, and that most

5,25 км и средним значением 4 км (Рис 5.7). Столбчатая диаграмма также указывает на понижение частоты русел с большой протяженностью. Это наводит на мысль, что вероятность русел с низкой протяженностью выше, тогда как вероятность русел с высокой протяженностью ниже.

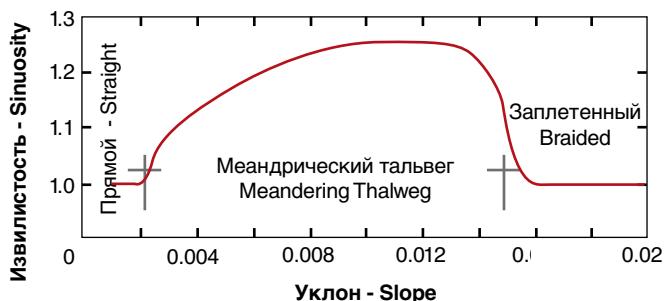
Сравнение средней извилистики 1,1 со стандартным отклонением 0,09 указывает на незначительное отклонение, и на то, что большая часть значений извилистики русла в дельте Волги распределается близко к среднему значению. Это связано с незначительным различием между стандартным отклонением и средними значениями. Изображение контура реки является характерным для типа с разветвленными руслами, от прямой до слабо извилистой формы. Поправки контура, замеренные как вариации извилистики тесно связаны с типом, размером и содержанием наносов (мутностью воды). Они также связаны с устойчивостью к отмели и характеристиками дебита потока. Взаимосвязь между уклоном русла и извилистиостью была разработана в лабораторных опытах Шума (Schumm) и Хана (Kahn) в 1972 году. Также, на основании исследований, проведенных Саркером (Sarker) и другими в 1999, были сделаны выводы, что уклон реки уменьшается (в ответ на сокращение поступления воды и осадочных пород вверх по течению) по мере того как она становится более извилистой. Кроме того, это также подтверждает наблюдения и заключения Адамса (Adams) в 1919 году о том, что рукав дельты становится более извилистым в процессе деклинации. На основании результатов моих исследований, я прихожу к выводу, что большинство русел дельты Волги имеют высокую скорость течения.

Значение извилистики русел связано с объемом пройденной воды и, впоследствии, содержанием наносов. Это является типичным для более низких дельтовых равнин и более низкой крутизны склона. Извилистье русел характеризуются от прямого до слабо извилистой контура.

Пространство участка к низкой дельтовой равнине является обычным, где уклоны реки и дельты русла в сторону моря низкие. Обычно, в таких средах, количество русел увеличивается, и часто имеет вилкообразный или разветвляющийся вид на плане. Такой вид является типичным для дельты Волги и виден на изображениях, полученных с помощью ИСЗ. С точки зрения формирования песчаного горизонта, отложения, заполняющие бухты, которые часто образуют клинообразные обломочные породы, находящие друг на друга и разделенные промежуточными рукавами и болотными отложениями. Это позволяет понять какой тип гетерогенности

of the sinuosity values of channels in the Volga delta are closely distributed near the mean. This is due to the small difference between the standard deviation and the mean values. The river pattern is characteristic of Straight to low-sinuosity braided channels. Pattern adjustments measured as sinuosity variation are closely related to the type, size, and amount of sediment load. They are also related to bank resistance and to the discharge characteristics of the stream. The relationship between channel slope to sinuosity in an experimental river was elaborated by Schumm and Kahn (1972). Also from a research carried out by Sarker et al (1999), it was inferred that the river reduces its slope (in response to reduction in water and sediment supply upstream) by becoming more sinuous. It also endorses the observation of Adams (1919) that a distributary becomes more tortuous during their process of declination. From my results, I can conclude that most of the channels in the Volga delta have a high discharge rate

The Sinuosity values of the channels relates to the volume of water discharged and subsequently the sediment load. This is typical of a lower delta plain environment and lower gradient of the slope. The sinuosities of the channels are straight to low sinuous.



**Рис 6.1:** Взаимозависимость между уклоном и извилистостью для аллювиального русла, с демонстрацией пороговых изменений между различными типами русла показана на основании лабораторных исследований (Шумм и Хан, 1972 г.).

**Figure 6.1:** Experimental relation between slope and sinuosity for an alluvial channel, showing threshold changes between channel pattern types (Schumm and Kahn, 1972).

The area extent to the lower delta plain is common where the seaward gradients of the river and channel delta are low. Most commonly in these environments, channels become more numerous and often show a bifurcating or anastomosing type on plan view. These patterns are typical of the Volga delta and can be seen from the satellite image. From the standpoint of the sand body formation, bay fill deposits, which often form thin clastic wedges, stacked, one on top of another and separated by inter-distributary bay and marsh deposits. This gives an insight into the type of heterogeneities to expect and input when

12-ая международная научно-практическая конференция  
по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических  
данных при геологическом моделировании месторождений углеводородов



## Геомодель-2010

### ВАЖНЫЕ ДАТЫ:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| ■ 25 мая 2010 г.           | Окончание приема тезисов и заявок на доклады                |
| ■ 1 июля 2010 г.           | Окончание ранней регистрации участников по льготному тарифу |
| ■ 1 августа 2010 г.        | Завершение формирования научной программы                   |
| ■ 20 августа 2010 г.       | Окончание предварительной регистрации                       |
| ■ 12, 13 сентября 2010 г.  | Курсы и научно-практические семинары                        |
| ■ 13 - 17 сентября 2010 г. | Конференция "Геомодель-2010"                                |

### В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ СОСТОЯТСЯ:

- Научно-практическая конференция (устные и стеновые доклады)
- Научно-практические семинары
- Тематические курсы лекций по актуальным проблемам геологон-геофизических исследований
- Коммерческие презентации программных систем и технологий
- Панорамная геологическая экскурсия по гряжевым вулканам

г. Геленджик, Россия, 13-17 сентября 2010 г.

Оформить свое участие и получить полную информацию о мероприятиях конференции Вы можете  
в компании ООО «ЕАГЕ Геомодель» - Региональный офис EAGE в России и странах СНГ;  
117830, г. Москва, Старокалужское шоссе, д.62, стр.1, корп. 6  
Тел./факс: +7 (495) 661-92-85, +7 (495) 661-92-86, E-mail: gm@eage.ru, website: www.eage.ru

следует ожидать и учитывать при построении объектно-ориентированной модели. Кроме того, извилистость зависит от угла наклона и объема пропущенной воды, но не зависит от прочих переменных.

Среднее значение иерархии 9 и стандартное отклонение 2,5 указывают на то, что существует умеренное отклонение от средней иерархии, принимая во внимание диапазон иерархий между 7 и 12. На основании столбчатой диаграммы видно, что большинство иерархий русла имеют нормальное или симметрическое распределение, с асимметрией распределения приблизительно равной нулю (Рис 5.9). Можно заметить, что диапазон иерархий от 6 до 12 встречается наиболее часто. Это также очевидно на основании графика накопительных частот.

Столбчатая диаграмма также показывает асимметрическое распределение по длине, ширине и извилистости русел в дельте Волги (Рис 5.7, 5.8, 5.10 и 5.14). Это указывает на то, что большая часть значений протяженности, ширины и извилистости русел дельты Волги находится в диапазоне низких значений, ниже среднего значения.

Предел разрешения данных усложняет определение истинного среднего и стандартного отклонения ширины большинства русел в дельте Волги. Однако, на основании полученных результатов видно, что средняя ширина 248 м, при сравнении со стандартным отклонением 162 м, обнаруживает обширное отклонение от средней величины в диапазоне от 86-410 м. Большая часть ширины русла, которую невозможно замерить, подпадает под диапазон 70 м (51 м для увеличенной части) или меньше, что связано с пределом разрешения данных на изображениях дельты (Приложение 1 и 3), полученных с помощью ИСЗ.

Суммарная кривая частот ширины русел в дельте Волги показывает, что около 50% русел имеют ширину от 70 м или меньше (51 м на увеличенном участке) до 140 м. Интерквартильный диапазон составляет 175 м. Также, предполагается, что вероятность русел с менее обширной широтой выше по сравнению с более широкими руслами.

На основании столбчатой диаграммы и суммарной частоты извилистости на Рис 5.10, можно судить, что диапазон извилистости от 1 до 1,8 характерен для большинства русел, затем следует диапазон от 1,1 до 1,2, тогда как наименее встречающийся диапазон извилистости находится между 1,22 до 1,4. График суммарной частоты показывает, что приблизительно 50% извилистости находится в пределах 1-1,1, на основании чего можно заключить,

constructing an object based model. Also the sinuosity is related to gradient and the volume of water discharge but independent of other variables.

The mean hierarchy of 9 and a standard deviation of 2.5 indicate that there is a moderate deviation from the mean, giving a hierarchy range of 7-12.

The bar chart reveals that most of the channel hierarchy have a normal (or symmetric) distribution, with the skewness approximately equal to zero (Figure 5.9). It can be seen that the hierarchy range from 6 to 12 are the most frequently occurring. This is also evident from the cumulative frequency plot.

The bar charts reveal a positively skewed distribution for the length, width and sinuosity of channels in the Volga delta (Figure 5.7, 5.8, 5.10 and 5.14). This indicates that most of the length, width and sinuosity of channels in the Volga delta fall within the low values, less than the mean value.

The limit of resolution of data made it difficult to determine the true mean and standard deviation of majority of the channel width in the Volga delta. But based on the result obtained, the mean width of 248 m when compared with a standard deviation of 162 m reveals a wide deviation from the mean, with a range from 86-410m. Most of the channel width that could not be measured fall within the range of 70m (51m for enlarged part) or less due to the limit of resolution on the satellite image of the delta (Appendix 1 & 3).

The cumulative frequency curve of the width of channels in the Volga delta shows that about 50% of the channels have a width of 70 m or less (51 m on the enlarged section) to 140 m. The inter-quartile range is 175 m. It also implies that the probability of getting channels with lower width is higher than getting higher channels.

From the bar chart and cumulative frequency of the sinuosity in figure 5.10 it can be interpreted that the sinuosity range from 1 to 1.8 for most of channels, followed by 1.1 to 1.2, while the least occurring sinuosity is between 1.22 to 1.4.

The cumulative frequency plot reveals that about 50% of sinuosity fall within 1-1.1, which implies that the channels have mainly low to moderate sinuosity.

Previous studies by Fielding et al, 1987 utilised dataset from width, depth and thickness of fluvial channel sandstones to show the relationship between sand body geometry and fluvial channel type. Cross plots of various channel types (such as low sinuosity channel, braided, meandering and anastomosed channels) where made to obtain width to



# Международный лидер в области производства и поставок защитных покрытий

Мы занимаемся производством защитных покрытий с 1722 года

## ***PPG Protective & Marine Coatings***

*Непревзойденные эксплуатационные  
характеристики и высокий уровень защиты*

Компания PPG Protective and Marine Coatings ориентируется на разработку, производство и поставку защитных покрытий для решения ответственных задач в сфере морской промышленности и в отраслях, где используются защитные покрытия. Хорошо зарекомендовавшие себя продукты и технологии нашей компании обеспечивают защиту целого ряда объектов: от новых судов и техобслуживания и ремонта судов до морских платформ и нефтехимии, от гражданских сооружений и объектов инфраструктуры и энергетики до железнодорожного транспорта. Опираясь на достижения своих предшественников, мы используем накопленные знания и опыт для выпуска отличной продукции, обеспечения эффективной и результативной работы и высокого качества обслуживания.



## **PPG Protective & Marine Coatings**

PPG Protective and Marine Coatings  
Tel: +31 (0)20 407 5227 Fax : +31 (0)20 407 5059  
Email: pmcmarketing@ppg.com  
Website: [www.ppgpmc.com](http://www.ppgpmc.com)



**AMERCOAT**

что русла имеют в основном контур от слабо извилистого до умеренно извилистого.

Предыдущие исследования, проведенные Филдингом (Fielding) и его группой в 1987 году на основании использования набора данных по ширине, глубине и плотности слоя речных отложений песчаника в русле, были проведены с целью демонстрации взаимосвязи между геометрией песчаного горизонта и типом речного русла. Сравнительные графики различных типов русел, таких как русел со слабо выраженной извилистостью, заплещенных, меандрических и разветвляющихся, были выполнены с целью получения соотношения ширины к плотности и глубины относительно плотности. На основании их графиков была составлена диаграмма разброса, которая указывает на отсутствие связи между плотностью и шириной русел. При сравнении с набором данных изображения русла Волги, полученных с помощью ИСЗ, большее количество параметров, таких как протяженность, ширина, извилистость, иерархия и схема дренажа русел, могут быть использованы. Однако, набор данных не предоставляет замеров плотности русел.

Проблемы с морфометрией изображений, полученных с помощью ИСЗ, включают слабую разрешающую способность, и тот факт, что все, что находится между руслами, может быть основано только на предположениях и может не совсем соответствовать действительности.

### Программное обеспечение для моделирования бассейна

Собранные данные могут быть использованы для исследований недр во время моделирования для получения общего представления пространственного распространения песчаных тел, геометрии русла и наличия связей, которые часто бывают ниже разрешающей способности сейсмической разведки и не могут быть точно предсказаны на основании необработанного материала. Различные параметры, такие как длина, извилистость и ширина могут быть внесены в модель самостоятельно, независимо от их позиции в иерархии.

Морфометрический набор данных может быть использован для создания стохастической трехмерной геологической модели на основании программного продукта IRAP RMS, используя фациальное русло и прочие методы. Набор данных будет являться руководством для моделей, создаваемых в IRAP, тогда как ввод различных параметров (длины, извилистости и ширины) даст реальное отражение гетерогенности бассейна.

Форма, распределение бассейна и природа

thickness ratio and depth versus thickness. Their graph resulted in a scatter plot which shows that there is no relationship between thickness and width of channels. When compared with the dataset collected from satellite image of the Volga delta more attributes such as length, width, sinuosity, hierarchy and the drainage pattern of channels can be used. However, the dataset does not provide measurements of channel thickness.

Problems with morphometrics from satellite images include poor resolution of the image, and the fact that what is in between the channels can only be based on assumptions as it might not be closely related to the real scenario.

### Application to reservoir modelling

The dataset collected can be utilised in subsurface studies during modelling to give a general idea of the spatial distribution of sandbodies, channel geometries and connectivity which are often below seismic resolution and cannot be accurately predicted on logs.

Various parameters such as length, sinuosity and width can be input into the model independently, without worrying about the position they are in the hierarchy.

The morphometric datasets can be used to generate a stochastic model in IRAP RMS, Petrel & other reservoir modelling software using the facies channel and other techniques. The dataset will serve as a guideline for models generated in IRAP/other modelling software as inputs of various channel parameters (Length, sinuosity and width) will give a true representation of reservoir heterogeneities.

The shape, reservoir distribution and the nature of connectivity in which the dataset can be applied is typical of a low energy or mud delta, with many bifurcating distributary channels which are straight to sinuous, with discontinuous sands and mud at the shore line. This is typical of the modern Volga delta, and other examples include the Mississippi, Orinoco and Lena; all of which are river-dominated.

From the dataset obtained the, possible sand body types, which may have been deposited in the system are Major channel belt sand deposits, overbank or distributary channel sand, and lobes/sheet sands with swamp or marsh deposits.

In a large reservoir such as those of the productive series of the Caspian Sea, the dataset can be used to define the geometry of the Volga delta which will signify where in the reservoir distribution is a major channel sands or overbank/branching channel sand.

Based on the dataset obtained, the mean sinuosity of 1.1 can be modelled effectively in IRAP for all parts of the delta. This is due to the low standard deviation

взаимосвязей, в которой может быть применен набор данных является типичной для слабо-энергетической или грязевой дельты, со многими вилкообразными рукавами от прямых до извилистых, с прерывистыми песками и грязью по береговой линии. Эта картина является типичной для современной дельты Волги, другие примеры включают Миссисипи, Ориноко и Лену.

На основании набора данных можно получить типы песчаных горизонтов, которые могли быть введены в систему и которые являются основными песчаными отложениями русла, пойменного русла или дельтовидного рукава, впадин/ пластовых песчаных залежей с болотистыми отложениями.

В большом бассейне, таком как продуктивные нефтяные месторождения Каспийского моря, набор данных может быть использован для определения геометрии дельты Волги, на основании чего можно прогнозировать, где в распределении бассейна находятся основные пески русла или пески пойменного/разветвленного русла.

На основании полученного набора данных, можно эффективно построить модель средней извилистости 1,1 в IRAP для всех частей дельты. Это благодаря тому, что низко-стандартное отклонение 0,09 и значение извилистости 1,1 представляет извилистость от низкой до умеренной, что является типичным для дельты Волги. Моделирование будет основано на характеристике донных наносов, подразумеваемых на основании вариаций извилистости, среды отложений и сравнения с аналоговыми месторождениями, такими как дельта Миссисипи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ

- » Количественные данные будут использованы для объектно-ориентированного моделирования бассейнов Каспийского моря с системами, аналогичными современной дельте Волги, например Миссисипи, Ориноко и Лена (все, доминируемые реками).
- » Совокупность статистических данных, собранных на основании диаграмм геофизических исследований скважин и данных сейморазведки, может быть использована для ввода в построение модели бассейна для создания более подробной и точной модели подземных течений.
- » Набор данных позволяет собрать аналоги резервуаров на изучаемых площадках и также дает общее представление о пространственных распределениях песчаных горизонтов на площадках

of 0.09 and the value of sinuosity 1.1 represents low to moderate sinuosity typical of the Volga delta. The modelling will be based on the bed load characteristics inferred from the sinuosity variations, the environment of deposition and comparison with analogue fields such as the Mississippi delta.

## Conclusions

- » The quantitative data will be useful in object based modelling of the Caspian Sea reservoirs and modelling reservoirs with systems similar to those of the modern Volga delta e.g. Mississippi, Orinoco, & Lena (all river dominated).
- » The statistics from the data combined with well log & seismic data can be used to populate a reservoir to create a more detailed & accurate subsurface flow model.
- » The dataset allows us to collect reservoir analogues in assessable areas and also give a general idea of the spatial distribution of sandbodies in areas below seismic resolution.
- » The length, width and sinuosity of channels in the Volga delta can be input into a model independently irrespective of the position they are in the hierarchy.
- » The dataset can be synthesised into cumulative probability curves which provide a quick look at P10, P50 & P90 of reservoir character.
- » The dataset collected can be used to generate an object-based model in softwares such as IRAP or petrel, as inputs of variables; length, width, sinuosity will give true representation of reservoir heterogeneities.
- » Measurements of quantitative architecture derived from seismic data in fluvio-deltaic systems can be integrated with measurements collected from the satellite image of the Volga delta to better improve the quality of the reservoir models.
- » The use of sedimentological analysis, core reports and well logs will further assist modelling reservoirs, when combined with the dataset collected.
- » More study of several datasets in fluvial deltaic facies is recommended to provide more quantitative geomorphology.

## Reference

Bryant, I.D. and Flint, S.S., 1993. Quantitative clastic reservoir geological modelling: problems and perspectives: In Flint, S.S and Bryant, I.D., eds., *The Geological Modelling of Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues*, Int.

ниже разрешающей способности сейсмической разведки.

- » Параметры протяженности, ширины и извилистости русел дельты Волги могут быть введены в модель независимо от их позиции в иерархии.
- » Набор данных может быть синтезирован в кумулятивные кривые вероятностей, которые предоставляют быстрый обзор характера резервуара P10, P50 и P90.
- » Набор данных может быть использован для создания объектно-ориентированной модели в таких программах как IRAP или PETREL, тогда как ввод переменных, длины, ширины и извилистости даст реальное представление гетерогенностей резервуара.
- » Замеры количественной архитектуры, полученные на основании сейсмических данных систем дельты рек, могут быть интегрированы с замерами, собранными с изображениями дельты Волги, полученными ИСЗ для улучшения качества моделей резервуара.
- » Использование седиментологического анализа, отчетов по образцам и диаграмм геофизических исследований скважин также помогают в построении модели резервуаров.
- » Рекомендуется проведение дополнительных исследований нескольких наборов данных дельтовых фаций для предоставления количественной геоморфологии.

### Список справочной литературы

Брэйт (Bryant, I.D.) и Флинт (Flint, S.S.) 1993. Геологическое моделирование количественных кластических резервуаров: проблемы и перспективы (Quantitative clastic reservoir geological modelling: problems and perspectives: In Flint, S.S and Bryant, I.D., eds.), Геологическое моделирование резервуаров углеводородов и выявление аналогов (The Geological Modelling of Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues, Int. Ass. Sedimentologists) Специальное издание 15, Блэевелл, Оксфорд стр 3-20, Чемберс (Chambers, J.,)

Кливленд (Cleveland, W.), Кляйнер (Kleiner, B.), Терки (Tukey, P.), 1983. Графические методы анализа полученных данных (Graphical methods for data analysis, Wadsworth).

Филдинг (Fielding, C. R.), Крейн (Crane, R.C.), 1987. Применение статистического моделирования для

Ass. Sedimentologists Spec. Pub. 15, Blackwell, Oxford, p3-20. Chambers, J.,

Cleveland, W., Kleiner, B., Tukey, P., 1983. Graphical methods for data analysis, Wadsworth.

Fielding, C. R., Crane, R.C., 1987. An application of statistical modelling to the prediction of hydrocarbon recovery factors in fluvial reservoir sequences. In: Recent Developments in Fluvial Sedimentology (Ed. By Ethridge, F.G., Flores, R.M., Harvey, M.D.) Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Spec Pub. 39. 321-327

Galloway, W.E., 1981. depositional architecture of Cenozoic Gulf Coastal Plain fluvial systems. In: Recent and Ancient Nonmarine Depositional Systems: models for exploration (Ed. By F.G., Ethridge and R.M., Flores). Soc. econ. Miner., 31, 127-156. Tulsa.

Haq, B.U., Hardenbol, J., and P.R. Vail, 1988, Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change, in Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C., eds., Sea-level change: an integrated approach: SEPM Special Publication 42, p. 40-45.

Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., 1989, An introduction to applied geostatistics: New York Oxford University press, pp. 10-21

Jones, R.W., and Simmons, M.D., 1996, a review of the stratigraphy of eastern Paratethys (Oligocene-Holocene): Bulletin of the Natural History Museum (Geology Supplement), v. 52, p. 25-49

Kroonenberg, S.B., Simmons, M.D., Overeem, I., Hinds, D., Aliyeva, E., Svitoch, A.A., Rusakov, G.V., 2001, The recent Volga delta as an analogue for the Productive Series in the South Caspian Basin. Expanded abstract, EAGE Amsterdam June 2001.

Kroonenberg, S.B., Overeem, I., Rusakov, G.V., Svitoch, A.A., 2001, Impact of Sea-Level change on river delta development: lessons from the Caspian. ICSF, Amsterdam July 2001.

Kosarev, A.N., Yablonskaya, E.A., 1994. The Caspian Sea. SPB. The Hague, 259 pp.

Mathword, 2005,  
<http://mathworld.wolfram.com/Skewness.html>

NASA;  
<http://www.loc.gov/exhibits/earthsart/images/eaa-37s.jpg>

Overeem, I., Kroonenberg, S.B., Veldkamp, A., Groenesteijn, K., Rusakov, G. V.,

прогноза факторов добычи углеводородов в серии речных резервуаров (*An application of statistical modelling to the prediction of hydrocarbon recovery factors in fluvial reservoir sequences*). Современные разработки в речной седиментологии (*In: Recent Developments in Fluvial Sedimentology*) (Редакция Эсридж (Ethridge, F.G.), Флорес (Flores, R.M., Harvey, M.D.) Общество экономистов палеонтологов и минералогов (*Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Spec Pub. 39. 321-327*)

Галловей (Galloway, W.E.), 1981. Архитектура отложений прибрежной равнины Мексиканского залива (*depositional architecture of Cenozoic Gulf Coastal Plain fluvial systems*). В современных и древних не морских условиях осадконакопления: модели для исследования (*In: Recent and Ancient Nonmarine Depositional Systems: models for exploration* (Ed. By F.G., Ethridge and R.M., Flores). Soc. econ. Miner., 31, 127-156. Талса (Tulsa).

Харденбол (Haq, B.U., Hardenbol, J.) и Вайл (P.R. Vail), 1988, Мезозойская и генозойская хроностратиграфия и циклы изменения уровня моря (*Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change*), по Вильгусу (Wilgus, C.K.), Хастингу (Hastings, B.S.), Кендалу (Kendall, C.G.St.C.), Позаминтьер (Posamentier, H.W.), Росс (Ross, C.A.), Ван Вагонер (Van Wagoner, J.C.), eds., Изменение уровня моря: Интегрированный подход Общество специалистов по экономической палеонтологии и минералогии (*Sea-level change: an integrated approach: SEPM*) Специальное издание 42, стр. 40-45.

Исаакс (Isaaks, E. H.), Шривастава (Srivastava, R. M.), 1989, Введение в прикладную геостатистику (*An introduction to applied geostatistics*): Нью Йорк, издание Оксфордского университета (New York Oxford University press), стр. 10-21

Джоунс (Jones, R.W.) и Симмонс (Simmons, M.D.), 1996, Обзор стратиграфии восточного Паратетиса (*a review of the stratigraphy of eastern Paratethys (Oligocene-Holocene)*): Бюллетень Национального исторического музея (Дополнение к геологии), т. 52, стр. 25-49

Крунберг (Kroonenberg, S.B.), Симмонс (Simmons, M.D.), Оверим (Overeem, I.), Хиндс (Hinds, D.), Алиева (Aliyeva,) Свиточ (E., Svitoch,), Русаков (A.A., Rusakov), G.V., 2001, Современная дельта Волги как аналог продуктивного нефтяного месторождения южного Каспийского бассейна (*The recent Volga delta as an analogue for the Productive Series in the South Caspian Basin*). Выборка EAGE Амстердам июнь 2001 (*Expanded abstract, EAGE Amsterdam June 2001*).

Svitoch, A.A., (accepted for publ. 2002). Small-scale stratigraphy in a large ramp delta: recent and Holocene sedimentation in the Volga delta, Caspian Sea.

Pidwirny, M., 2005, Stream Morphometry: in Chapter 10: *Introduction to the geography.net*

Schmaltz, J., 2005, [www.parstimes.com/MODIS/CaspianSeaTerra.jpg](http://www.parstimes.com/MODIS/CaspianSeaTerra.jpg)

Weber, K., J., Van Geuns, L.C., 1989. Framework for constructing clastic reservoir simulation models. SPE paper 19582 presented at Annual Technical Exhibition, San Antonio.

Крунберг (Kroonenberg, S.B.), Оверим (Overeem, I.), Русаков (Rusakov, G.V.), Свиточ (Svitoch, A.A.), 2001, Влияние изменения уровня моря на развитие дельты реки: Каспийские уроки (*Impact of Sea-Level change on river delta development: lessons from the Caspian. ICSF*), Амстердам июль 2001.

Косарев (Kosarev, A.N.), Яблонская (Yablonskaya, E.A.), 1994. Каспийское море (*The Caspian Sea. SPB. The Hague*), Стр 259.

Mathword, 2005, <http://mathworld.wolfram.com/Skewness.html>

NASA; <http://www.loc.gov/exhibits/earthasart/images/ea-37s.jpg>

Overeem, I., Kroonenberg, S.B., Veldkamp, A., Groenes-teijn, K., Rusakov, G. V.,

Svitoch, A.A., (accepted for publ. 2002). Small-Mасштаб stratigraphy in a large ramp delta: recent and Holocene sedimentation in the Volga delta, Caspian Sea.

Pidwirny, M., 2005, Stream Morphometry: in Chapter 10: *Introduction to the geography.net*

Schmaltz, J., 2005, [www.parstimes.com/MODIS/CaspianSeaTerra.jpg](http://www.parstimes.com/MODIS/CaspianSeaTerra.jpg)

Weber, K., J., Van Geuns, L.C., 1989. Концепция построения расчетных геолого-математических моделей кластического водоема. *Framework for constructing clastic reservoir* Расчетной геолого-математической модели *simulation models. SPE paper 19582 presented at Annual Technical Exhibition, San Antonio.*