

**Объектные методы геостатистического анализа
в фациальном моделировании**

Я. В. Кузнецова

ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень, Россия
e-mail: kjv@yandex.ru

Аннотация. При изучении месторождений, отличающихся сложным геологическим строением, куб фаций является обязательной составляющей статистической модели. Важным количественным ограничением при моделировании выступает доля каждого типа фаций в общем объеме пласта, которая в настоящее время вычисляется с использованием стандартных методов геостатистического анализа, не учитывающих принципиальную особенность фациальных данных, заключающуюся в определенных геометрических параметрах седиментологических единиц. Следствием являются значительные расхождения расчетного и фактического значений доли фаций, снижающие достоверность оценки начальных геологических запасов углеводородов.

С целью повышения качества трехмерных геологических моделей в работе предложены методы геостатистического анализа фациальных данных: объектная геометризация и объектная кластеризация. Указанные методы позволяют учитывать геометрические параметры объемов горных пород, сформировавшихся в определенных условиях осадконакопления, минимизируя расхождения расчетных и истинных значений доли фаций и повышая таким образом достоверность оценки начальных геологических запасов углеводородов.

Ключевые слова: фациальные данные; геостатистический анализ; объектная геометризация; объектная кластеризация; моделирование

Object methods of geostatistical analysis for facies modeling

Yana V. Kuznetsova

NOVATEK NTC LLC, Tyumen, Russia
e-mail: kjv@yandex.ru

Abstract. Facies cube is a required part of a static model, especially concerning fields characterized by complicated geological structure. The important quantitative limitations for modeling are facies proportions in the formation volume. Nowadays these proportions are calculated using standard geostatistical methods without considering particular properties of facies data. These properties are specific geometrical characteristics of sedimentological units. The consequences are significant differences between calculated and actual data and unreliable hydrocarbon reserves estimation.

In order to enhance reliability of reserves estimation on the basis of 3D static models, this article is devoted to special methods of geostatistical analysis for facies data: object geometrization and object clustering. These methods allow taking into account specific geometrical parameters of formations deposited in different

environments, therefore, allow reducing differences between calculated and actual facies data and enhancing reliability of reserves estimation.

Key words: facies data; geostatistical analysis; object geometrization; object clustering; modeling

Введение

Фациальное моделирование является важной частью процесса создания постоянно действующих геолого-технологических моделей месторождений углеводородов [1, 2]. При этом в рамках геостатистического анализа исходной информации используются стандартные методы, не учитывающие принципиальную особенность фациальных данных, заключающуюся в определенных геометрических параметрах седиментологических единиц [3–8]. Указанная особенность ограничивает применение статистической информации, полученной на основе интерпретации фаций в разрезах скважин, для описания объема пласта в целом. Принимая во внимание тенденцию вовлечения в разработку месторождений, отличающихся сложным геологическим строением, очевидна необходимость создания методов геостатистического анализа, которые позволят учитывать особенности фациальных данных с целью повышения достоверности оценки объемов начальных геологических запасов углеводородов. Данная статья посвящена описанию разработанных автором методов геостатистического анализа, учитывающих геометрические параметры седиментологических единиц и позволяющих использовать локальную скважинную информацию о содержании фаций для характеристики объема пласта. Предлагаемые методы являются развитием объектно-ориентированного подхода к фациальному моделированию [9, 10].

Объект и задача исследования

В качестве объекта исследования выступают геологические фации, представленные данными в разрезах скважин.

Задачей геостатистического анализа фациальных данных является определение доли каждого типа фаций в общем объеме пласта на основе локальной скважинной информации. От корректного решения указанной задачи зависят достоверность оценки эффективного объема, являющегося одним из основных подсчетных параметров, и, следовательно, достоверность оценки начальных геологических запасов углеводородов.

Стандартные методы геостатистического анализа фациальных данных

Основным количественным ограничением при реализации стохастических алгоритмов распределения фаций в межскважинном пространстве (объектно-ориентированное, индикаторное моделирование, методы, основанные на обучении) является доля каждого типа фаций в общем объеме пласта, которая вычисляется с учетом соотношений, определенных на основе локальной скважинной информации [1, 2, 10–12]. К стандартным методам геостатистического анализа скважинных данных относится расчет равновзвешенного и декластеризованного средних значений [9, 10].

Расчет выполняется по формуле [10]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i x_i,$$

где $\bar{x}$ — среднее значение исследуемого параметра; n — количество точек с данными; w_i — вес данных в точке i ; x_i — значение исследуемого параметра в точке i .

Рассмотрим использование стандартных подходов на двух примерах — фрагментах руслового пояса, площадь каждого из которых составляет 9 км^2 (рис. 1 и 2).

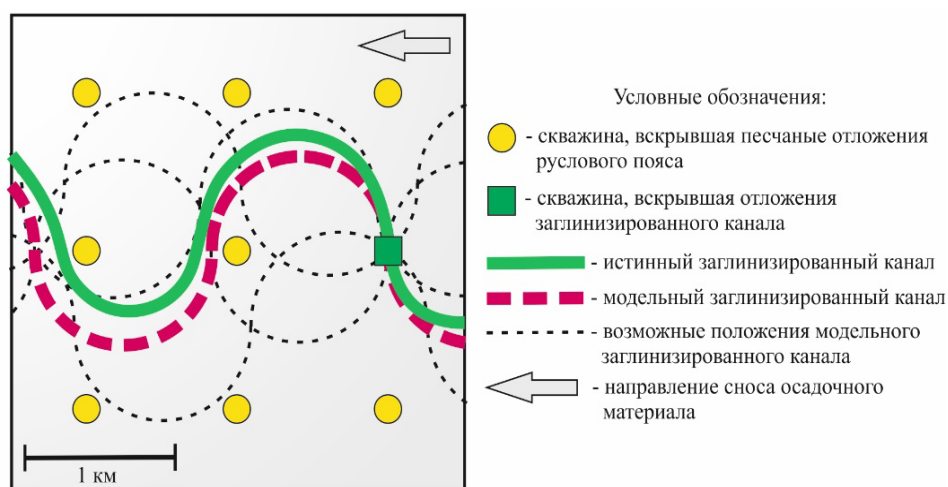


Рис. 1. Фрагмент руслового пояса № 1

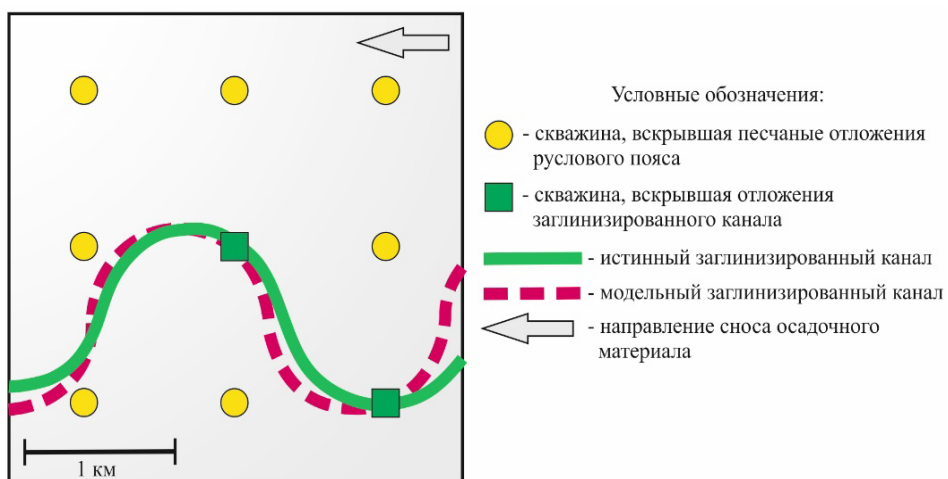


Рис. 2. Фрагмент руслового пояса № 2

На указанной площади в обоих случаях равномерно расположены девять вертикальных скважин, толщина отложений в которых одинакова и равна 6 м. На рисунке 1 одна из девяти скважин вскрывает отложения заглинизированного канала, на рисунке 2 разрез двух скважин представлен указанными отложениями, остальные скважины вскрывают песчаные разности руслового пояса. Объем фактического заглинизированного канала в обоих примерах составляет 2 437 тыс. м³, что соответствует 4,5 % общего объема фрагмента руслового пояса. Принимая во внимание, что на основе результатов интерпретации материалов 3D-сейсморазведочных работ в условиях интерференционной волновой картины, свойственной отложениям континентального генезиса, не всегда возможно рассчитать объем седиментологических единиц [13], для определения доли глинистых отложений в объеме песчаника руслового пояса используются результаты интерпретации фаций в разрезах скважин [9, 10, 14–16].

Результаты расчета содержания фации заглинизированных каналов в объеме песчаника двух фрагментов руслового пояса стандартными методами представлены в таблице. Принимая во внимание, что скважины вертикальные и расположены на площади равномерно, равновзвешенные и декластеризованные средние значения для рассматриваемых случаев равны.

В примере, изображенном на рисунке 1, среднее содержание доли фации заглинизированных каналов составило 11,1 %, в примере на рисунке 2 — 22,2 %. При этом фактическое истинное значение равно 4,5 %. Таким образом, при использовании стандартных методов анализа пространственно распределенных скважинных данных наблюдается завышение доли фации заглинизированных каналов на 146,7 % в объеме песчаника руслового пояса фрагмента № 1 и на 393,3 % — фрагмента № 2.

Среднее содержание фации заглинизированных каналов в объеме песчаника руслового пояса

Фрагмент руслового пояса	Метод расчета среднего значения	Вид среднего значения	Среднее содержание фации заглинизированных каналов в объеме песчаника руслового пояса, %	Расхождение расчетного среднего значения с истинным, %
		Истинное		
№ 1	Стандартный	Равновзвешенное	11,1	146,7
		Декластеризованное	11,1	146,7
	Специальный	Объектно геометризованное	4,7	4,4
№ 2	Стандартный	Равновзвешенное	22,2	393,3
		Декластеризованное	22,2	393,3
	Специальный	Объектно кластеризованное	4,7	4,4

Предлагаемые методы геостатистического анализа фациальных данных

К предлагаемым методам геостатистического анализа фациальных данных, позволяющим учитывать пространственные характеристики горных пород, сформировавшихся в различных условиях осадконакопления, относятся объектная геометризация и объектная кластеризация.

В основе указанных методов лежит расчет объемов геометрических тел, соответствующих седиментологическим единицам. В качестве исходной информации для оценки геометрических параметров могут быть использованы результаты интерпретации материалов 3D-сейсморазведочных работ, в частности, результаты инверсии [17, 18]. В ряде случаев использование результатов интерпретации данных сейсморазведочных работ невозможно ввиду интерференционной волновой картины, отсутствия контрастных акустических границ, а также ввиду размеров тел, находящихся за границами разрешающей способности метода исследования. В этих случаях форма и размеры седиментологических единиц рассчитываются на основе скважинных данных с привлечением статистической информации об обстановках-аналогах [19–21].

Метод объектной геометризации заключается в расчете объема геометрического тела, форма и размеры которого соответствуют седиментологической единице, вскрытой скважинами. При этом ориентация объекта, форма которого не изометрична, определяется с учетом направления сноса осадочного материала. Таким образом, доля фации в объеме пласта определяется как соотношение рассчитанного объема геометрического тела к общему объему изучаемых отложений.

Алгоритм действий при реализации метода объектной геометризации следующий:

- 1) идентификация фации в разрезе скважины;
- 2) соотнесение выделенной фации с упрощенным геометрическим объектом;
- 3) определение направления сноса осадочного материала (для не изометричных объектов);
- 4) расчет объема упрощенного геометрического объекта, соответствующего вскрытой скважиной фации, с учетом направления сноса осадочного материала и площади моделирования (параметры объекта рассчитываются на основе результатов интерпретации материалов 3D-сейсморазведочных работ или на основе литературных данных об аналогичных объектах);
- 5) расчет отношения объема геометрического объекта, соответствующего фации, к моделируемому объему.

В примере, представленном на рисунке 1, для расчета среднего содержания фации заглинизированных каналов в объеме песчаника руслового пояса использован метод объектной геометризации. Ширина заглинизированного канала рассчитана на основе его толщины в скважинах и составляет 90 м [20], амплитуда и период для рассматриваемой фациальной единицы равны 600 и 2 400 м [19–21]. Принимая во внимание перечисленные геометрические характеристики, возможно рассчитать объем заглинизированного канала:

$$V = H \cdot B \cdot L,$$

где H — средняя толщина фациальной единицы, м; B — средняя ширина фациальной единицы, м; L — длина фациальной единицы, м.

Таким образом, рассчитанный объем заглинизированного канала в примере на рисунке 1 составляет 2 545 тыс. м³, что соответствует 4,7 % общего объема фрагмента руслового пояса. Объектно геометризованное среднее значение отличается от истинного на 4,4 % (см. таблицу). Следует отметить, что в рассматриваемом примере при наличии неопределенности в локализации заглинизированного канала объектно геометризованное среднее значение не меняется, так как на площади возможно расположение 1,25 периодов седиментологической единицы. Возможные положения канала представлены пунктирными линиями на рисунке 1.

К предлагаемым методам геостатистического анализа фациальных данных относится также метод объектной кластеризации, который заключается в объединении в один объект пространственно распределенных фациальных данных с учетом геометрической формы седиментологической единицы и направления сноса осадочного материала.

Алгоритм действий при реализации метода объектной кластеризации следующий:

- 1) идентификация фации в разрезах скважин;
- 2) соотнесение выделенной фации с упрощенным геометрическим объектом;
- 3) определение направления сноса осадочного материала (для не изометричных объектов);
- 4) ориентация геометрического объекта, соответствующего идентифицированной фации, на площади моделирования с учетом направления сноса осадочного материала и объединения в границах одного объекта зон локализации скважин, вскрывающих рассматриваемую фацию;
- 5) расчет объема упрощенного геометрического объекта, соответствующего вскрытой скважинами фации (параметры объекта рассчитываются на основе результатов интерпретации материалов 3D-сейсморазведочных работ или на основе литературных данных об аналогичных объектах);
- 6) расчет отношения объема геометрического объекта, соответствующего фации, к моделируемому объему.

В примере, представленном на рисунке 2, для расчета среднего содержания фации заглинизированных каналов в объеме песчаника руслового пояса использован метод объектной кластеризации. Отложения заглинизированного канала вскрывают две скважины, взаимное расположение которых на площади позволяет объединить встреченные в разрезе разности в единый заглинизированный канал, амплитуда и период которого составляют 600 и 2 400 м. Таким образом, рассчитанный объем заглинизированного канала в примере на рисунке 2 равен 2 545 тыс. м³, что соответствует 4,7 % общего объема фрагмента руслового пояса. Объектно кластеризованное среднее значение отличается от истинного на 4,4 % (см. таблицу).

Результаты и обсуждение

Как представлено в таблице, при использовании стандартных методов геостатистического анализа расчетное значение содержания фации загли-

низированных каналов значительно отличается от истинного. В примере с фрагментом руслового пояса № 1 расчетное значение больше фактического на 146,7 %, что обусловлено существенным превышением расстояния между скважинами над шириной встреченной в разрезе седиментологической единицы, которое не скомпенсировано ее длиной. Данная погрешность играет существенную роль при оценке начальных геологических запасов углеводородов, занижая в рассматриваемом случае эффективный объем.

Для фрагмента руслового пояса № 2 расчетное значение больше истинного на 393,3 %. Увеличение погрешности по сравнению с фрагментом № 1 связано со вскрытием двумя скважинами одного объекта, геометрические параметры которого в изучаемых примерах одинаковы. Рост расхождения снижает достоверность расчетов начальных геологических запасов углеводородов на основе фациальных моделей, построенных с использованием стандартных методов геостатистического анализа.

Предложенные методы изучения пространственно распределенных фациальных данных позволяют учитывать геометрические характеристики объемов горных пород, сформировавшихся в определенных условиях осадконакопления. При использовании метода объектной геометризации для определения доли фации заглинизированных каналов фрагмента руслового пояса № 1 расчетное значение отличается от истинного на 4,4 %, обеспечивая высокую достоверность прогноза эффективного объема. Основные неопределенности в данном случае связаны с оценкой геометрических параметров объекта на основе скважинной информации. В рассматриваемых примерах к таким параметрам относятся ширина, амплитуда, период. Также следует отметить всегда присутствующие отличия фактических седиментологических единиц от используемых для их описания упрощенных геометрических форм.

Метод объектной кластеризации, примененный для геостатистического анализа фрагмента руслового пояса № 2, позволил учесть разрезы скважин, представленные идентичными отложениями заглинизированного канала, в рамках единого тела, уменьшив таким образом расхождения расчетного и истинного значения до 4,4 % по сравнению с 393,3 % при использовании стандартных методов. В целом объектно кластеризованное среднее значение содержания фации в объеме вмещающих пород представляет собой минимальную оценку. Максимальную оценку позволяет получить метод объектной декластеризации, при котором встреченные в скважинах идентичные отложения относятся к максимально возможному количеству седиментологических единиц.

Выводы

Использование стандартных подходов к анализу пространственно распределенных фациальных данных, представленных локальной скважинной информацией, сопряжено со значительными расхождениями расчетных и истинных значений доли фаций в общем объеме пласта. Погрешности в расчетах обусловлены недоучетом геометрических характеристик объемов горных пород, сформировавшихся в различных условиях осадконакопления. Соотнесение изучаемых объектов с геометрическими телами является

специфической особенностью фациальных данных, требующей рассмотрения в процессе подготовки исходной информации для моделирования.

Учет геометрических параметров седиментологических единиц возможен с использованием предложенных методов геостатистического анализа, к которым относятся объектная геометризация и объектная кластеризация. Данные методы позволяют минимизировать расхождения расчетных и истинных значений содержания фаций в общем объеме пласта, повышая таким образом достоверность оценки начальных геологических запасов углеводородов.

Библиографический список

1. Закревский, К. Е. Геологическое 3D моделирование / К. Е. Закревский. – Москва : ООО «ИПЦ Маска», 2009. – 376 с. – Текст : непосредственный.
2. Косентино, Л. Системные подходы к изучению пластов / Л. Косентино ; пер. с англ. И. Ю. Облачко, под ред. Д. А. Антоненко, В. М. Яценко. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2007. – 374 с. – (Библиотека нефтяного инжиниринга / ОАО «НК «Роснефть»). – Текст : непосредственный.
3. Барабошкин, Е. Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары : пособие по работе с керном / Е. Ю. Барабошкин. – Москва : European association of geoscientists ; Тверь : ГЕРС, 2011. – 140 с. – Текст : непосредственный.
4. Бижу-Дюваль, Б. Седиментационная геология / Б. Бижу-Дюваль ; пер. с англ., под ред. В. В. Волянской. – Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. – 680 с. – (Библиотека нефтяного инжиниринга / ОАО «НК «Роснефть»). – Текст : непосредственный.
5. Обстановки осадконакопления и фации : в 2 томах / Х. Г. Рединг, Дж. Д. Коллинсон, Ф. А. Аллен [и др.] ; пер. с англ. И. С. Барскова, Л. Н. Индолева, И. О. Мурдмаа, В. М. Сорокина, под ред. П. П. Тимофеева. – Москва : Мир, 1990. – Т. 1. – 352 с. – Текст : непосредственный.
6. Чернова, О. С. Седиментология резервуара : учебное пособие по короткому курсу / О. С. Чернова. – Томск : Изд-во ЦППС НД, 2008. – 250 с. – Текст : непосредственный.
7. Miall, A. D. Fluvial depositional systems / A. D. Miall. – DOI 10.1007/978-3-319-00666-6. – Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 2014. – 322 p. – Текст : непосредственный.
8. Paleovalley Systems : Insights from Quaternary Analogs and Experiments / M. Bluma, J. Martin, K. Milliken, M. Garvin. – DOI 10.1016/j.earscirev.2012.09.003. – Текст : непосредственный // Earth-Science Reviews. – 2013. – Vol. 116. – P. 128–169.
9. Дюбрьоль, О. Геостатистика в нефтяной геологии / О. Дюбрьоль ; пер. с англ. И. Ю. Облачко, под ред. С. В. Охотиной. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2009. – 256 с. – (Библиотека нефтяного инжиниринга / ОАО «НК «Роснефть»). – Текст : непосредственный.
10. Дойч, К. В. Геостатистическое моделирование коллекторов / К. В. Дойч ; пер. с англ., под ред. Е. М. Бирун, Д. Н. Левина. – Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2011. – 400 с. – Текст : непосредственный.
11. Баранов, В. Е. Прикладное моделирование пласта : учебное пособие / В. Е. Баранов, С. Х. Куреленков, Л. В. Воробьева. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 104 с. – Текст : непосредственный.
12. Демьянов, В. В. Геостатистика : теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна ; Российская академия наук, Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики. – Москва : Наука, 2010 – 327 с. – Текст : непосредственный.

13. Возможности 3D сейсморазведки при интерпретации сложно построенной геологической среды (на примере таноппинской свиты) / О. Н. Хорошева, Я. В. Кузнецова, В. И. Кузнецов, С. В. Баканов. – DOI 10.3997/2214-4609.201802442. – Текст : непосредственный // Материалы конференции «Геомодель 2018». – 2018. – № 2018. – С. 1–5.
14. Матерон, Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж. Матерон ; пер. с фр. Ю. В. Рощина, под ред. Д. Я. Суражского, А. М. Марголина. – Москва : Мир, 1968. – 408 с. – Текст : непосредственный.
15. Чини, Р.Ф. Статистические методы в геологии. Решение задач в поле и лаборатории / Р. Ф. Чини ; пер. с англ. С. А. Сандамирского, под ред. Н. Н. Шатагина. – Москва : Мир, 1986. – 185 р. – Текст : непосредственный.
16. Caers, J. Petroleum geostatistics / J. Caers. – Society of Petroleum Engineers, 2005. – 104 р. – Текст : непосредственный.
17. Почти все о сейсмической инверсии. Часть 1 / Ю. П. Ампилов, А. Ю. Барков, И. В. Яковлев [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии сейсморазведки. – 2009. – № 4. – С. 3–16.
18. Яковлев И. В. Почти всё о сейсмической инверсии. Часть 2 / И. В. Яковлев, Ю. П. Ампилов, К. Е. Филиппова. – Текст : непосредственный // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 1. – С. 5–15.
19. Gibling, M. R. Width and Thickness of Fluvial Channel Bodies and Valley Fills in the Geological Record : a Literature Compilation and Classification / M. R. Gibling. – DOI 10.2110/jsr.2006.060. – Текст : непосредственный // Journal of Sedimentary Research. – 2006. – Vol. 76, Issue 5. – P. 731–770.
20. Milliken, K. Scaling Relationships in Fluvial Depositional Systems / K. Milliken, M. Blum, J. Martin. – Текст : электронный. – URL: [http://www. searchanddiscover.com/documents/2012/30245milliken/ndx_milliken.pdf](http://www.searchanddiscover.com/documents/2012/30245milliken/ndx_milliken.pdf).
21. Reynolds, A. D. Dimensions of Paralic Sandstone Bodies / A. D. Reynolds. – DOI 10.1306/00AA9A48-1730-11D7-8645000102C1865D. – Текст : непосредственный // AAPG Bulletin. – 1999. – Vol. 83. – P. 211–229.

References

1. Zakrevskiy, K. E. (2009). Geologicheskoe 3D modelirovanie. Moscow, IPTS Maska Publ., 376 p. (In Russian).
2. Cosentino, L. (2001). Integrated Reservoir Studies. Paris, Editions TECHNIP, 310 p. (In English).
3. Baraboshkin, E. Yu. (2011). Prakticheskaya sedimentologiya. Terrigennyye rezervuary: posobie po rabote s kernom. Moscow, European association of geoscientists Publ., Tver, GERS Publ., 140 p. (In Russian).
4. Biju-Duval, B. (2002). Sedimentary geology. Paris, Editions TECHNIP, 648 p. (In English).
5. Reading, H. G., Collinson, J. D., Allen, F. A., Elliott, T., Schreiber, B. Sh., Johnson, G. D.,... Mitchell, A. H. G. (1986). Sedimentary Environments and Facies. 2nd edition. Blackwell Scibntific Publications. (In English).
6. Chernova, O. S. (2008). Sedimentologiya rezervuara. Tomsk, TSPPS ND Publ., 250 p. (In Russian).
7. Miall, A. D. (2014). Fluvial depositional systems. Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 322 p. (In English). DOI: 10.1007/978-3-319-00666-6
8. Bluma, M., Martin, J., Milliken, K., & Garvin, M. (2013). Paleovalley Systems: Insights from Quaternary Analogs and Experiments. Earth-Science Reviews, 116, pp. 128-169. (In English). DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.09.003

9. Dubrule, O. (1998). Geostatistics in Petroleum Geology. Tulsa, Oklahoma, 256 p. (In English).
10. Deutsch, C. V. (2002). Geostatistical Reservoir Modeling. Oxford University Press. Publ., 400 p. (In English).
11. Baranov, V. E., Kurelenkov, C. H., & Vorob'eva, L. V. (2012). Prikladnoe modelirovanie plasta. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 104 p. (In Russian).
12. Dem'yanov, V. V., & Savel'eva, E. A. (2010). Geostatistika: teoriya i praktika. Moscow, Nauka Publ., 327 p. (In Russian).
13. Khorosheva, O., Kuznetsova, Y., Kuznetsov, V., & Bakanov, S. (2018). 3D Seismic Survey in Context of Complicated Geological Environment Interpretation (on Example of Tanopchin Formation). 20th conference on oil and gas geological exploration and development, (2018), pp. 1-5. (In Russian). DOI: 10.3997/2214-4609.201802442.
14. Matheron, G. (1962). Traité de geostatistique appliquée, Paris, Editions BGRM. 334 p. (In French).
15. Cheeney, R. F. (1983). Statistical methods in geology for field and lab decisions, London, George Allen & Unwin, 169 p. (In Russian).
16. Caers, J. (2005). Petroleum Geostatistics. Society of Petroleum Engineers, 104 p. (In English).
17. Ampilov, Yu. P., Barkov, A. Yu., Yakovlev, I. V., Filippova, K. E., & Priezzhev, I. I. (2009). Pochti vse o seysmicheskoy inversii. Chast' 1. Seismic Technologies, (4), pp. 3-16. (In Russian).
18. Yakovlev, I. V., Ampilov, Yu. P., & Filippova, K. E. (2011). Almost everything about seismic inversion. Part 2. Seismic Technologies, (1), pp. 5-15. (In Russian).
19. Gibling, M. R. (2006). Width and Thickness of Fluvial Channel Bodies and Valley Fills in the Geological Record: a Literature Compilation and Classification. Journal of Sedimentary Research, 76(5), pp. 731-770. (In English). DOI: 10.2110/jsr.2006.060.
20. Milliken, K., Blum, M., & Martin, J. (2012). Scaling Relationships in Fluvial Depositional Systems. (In English). Available at: http://www.searchanddiscovery.com/documents/2012/30245milliken/ndx_milliken.pdf
21. Reynolds, A. D. (1999). Dimensions of Paralic Sandstone Bodies. AAPG Bulletin, 83, pp. 211-229. (In English). DOI: 10.1306/00AA9A48-1730-11D7-8645000102C1865D

Сведения об авторе

Кузнецова Яна Владиславовна,
к. г.-м. н., старший эксперт, ООО
«НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень, e-mail:
kjb@yandex.ru

Information about the author

Yana V. Kuznetsova, Candidate of
Geology and Mineralogy, Senior Expert,
NOVATEK NTC LLC, Tyumen, e-mail:
kjb@yandex.ru