

## ОПЫТ ТРЕХМЕРНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМО- И ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗОВ, А ТАКЖЕ ДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ-АНАЛОГОВ

**А.Б. Дерюшев**

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПНефть» в г. Перми,  
Пермь, Россия

Рассмотрены основные алгоритмы трехмерного геологического моделирования подготовленных и выявленных структур Енапаевской и Вишерской разведочных площадей, а также Пашковского участка.

Основные цели – уточнение геологического строения подготавливаемых и выявленных структур и оценка перспективных ресурсов углеводородного сырья; оценка достоверности полученных результатов работы.

Построение трехмерных геологических моделей перспективных участков, рассматриваемых в настоящей работе, представляет собой новое направление геолого-разведочных работ, позволяющее детально изучить геологическое строение больших поисково-разведочных площадей с применением различного набора исходных данных.

Результаты представленной работы могут быть использованы при выборе первоочередных объектов геолого-разведочных работ, при обосновании прогнозных дебитов, требуемых для формирования паспортов инвестиционных проектов, а также при подборе технологий вскрытия и освоения продуктивных отложений. Использование предложенных алгоритмов моделирования позволит снизить геологическую неопределенность и риски при выборе первоочередных поисковых объектов.

**Ключевые слова:** выявленная структура, подготовленная структура, разведочная площадь, геологическое моделирование, многовариантное моделирование, стохастическое моделирование, вариограммный анализ, месторождение-аналог, сейсморазведка, сейсмический анализ, литолого-фациальный анализ, керн, протока дельты, конус выноса протоки, паводковая коса, дельтовый залив.

## EXPERIENCE OF THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL MODELLING OF PROSPECTIVE STRUCTURES USING THE RESULTS OF SEISMIC AND LITHOFACIES ANALYSIS, FIELD-ANALOG DATA

**A.B. Deriushev**

Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "PermNIPIneft" in Perm,  
Perm, Russia

The main algorithms of three-dimensional geological modeling prepared and identified structures of Enapavskaya and Visherskaya prospecting areas, as well as Pashkovsky site are considered.

Main goals – retinement of the geological structure produced and identified structures and evaluating prospective hydrocarbon resources; assessment of the reliability of the results.

Three-dimensional geological models of prospective areas discussed in this paper represents a new direction exploration works, allows to study the geological structure of the large exploration areas using various set of input data.

The results of presented work can be used in selecting priority exploration works objects, in justifying forecast flow rates required for the formation of investment projects passports as well as in the selection of technologies opening and development productive deposits. Using the proposed simulation algorithms will reduce geological uncertainties and risks when choosing priority search objects.

**Keywords:** revealed structures, prepared structure, exploration area, geological modeling, multivariate modeling, stochastic modeling, variogrammy analysis, field-analog, seismic, seismic analysis, lithofacies analysis, core, delta flow, debris cone ducts, flood braid, deltaic bay.

## Введение

В настоящее время недоучет особенностей строения толщ приводит к ошибкам при подсчете запасов, построении традиционной трехмерной геологической модели и проектировании разработки. Таким образом, детальное изучение геологического строения перспективных участков на стадии поисково-оценочных работ с построением трехмерной геологической модели разведочной площади по обобщенным данным месторождений-аналогов, данных сейсмического и литолого-фациального анализов является актуальным и экономически рентабельным [1].

Основными целями данной работы являются: уточнение геологического строения подготовленных и выявленных структур и оценка перспективных ресурсов углеводородного (УВ) сырья; оценка достоверности полученных результатов работы. Для решения вышеизложенных целей поставлены следующие задачи: обобщение геолого-геофизических данных, данных месторождений-аналогов, результатов сейсмического и литолого-фациального анализов; построение трехмерных геологических моделей перспективных участков разведочных площадей; проведение в пределах подготовленных и выявленных структур оценки перспективных ресурсов УВ категории С<sub>3</sub>; использование многовариантного моделирования для оценки достоверности полученных результатов работы.

Рассмотрим более подробно каждую из поставленных выше задач.

### **Построение геологической модели Пашковской подготовленной структуры по данным Юрчукского, Южно-Юрчукского и Проворовского месторождений-аналогов**

При построении геологической модели Пашковской подготовленной структуры в качестве месторождений-аналогов приняты Проворовское, Юрчукское и Южно-Юрчукское месторождения нефти

(согласно данным паспорта подготовленной структуры и проектов поисково-оценочных работ)<sup>1</sup>.

В первую очередь были обработаны и загружены в ПО IRAP RMS комплексные данные сейсморазведки 2D и 3D, по результатам которых отстраивались структурные поверхности отражающих горизонтов 1п, 2к и 2п. При создании структурного каркаса использован алгоритм стратиграфического моделирования, позволяющий получить согласованные с данными сейсморазведки структуры геологических объектов в составе пластов Бш, Тл<sub>2</sub>, Бб<sub>2</sub> и Т-Фм Пашковско-го поднятия, которые и явились основой для построения трехмерных сеток и кубов литологии. Таким образом, полученные структурные поверхности наследуют основные черты рассмотренных выше опорных горизонтов [2, 3].

Далее для создания трехмерного параметра литологии башкирских карбонатных отложений использовались геолого-статистические разрезы (ГСР), характеризующие долю коллектора в каждом слое трехмерной сетки, а также по каждому пласту процентные соотношения коллекторов и неколлекторов, полученные по Юрчукскому месторождению. Тогда как для создания куба литологии визейских терригенных и девонско-турнейских карбонатных отложений использован аналогичный набор данных, только по Южно-Юрчукскому и Проворовскому месторождениям.

На этапе литологического моделирования использовалась трехмерная модель вариограммы, которая определяет непрерывность моделируемого параметра [4]. Для этого задаются отдельные радиусы корреляции по трем направлениям – главному, перпендикулярному и вертикальному. Эти радиусы и задают вариограммный эллипсоид, вне которого данные не коррелируются с рассчитываемой

<sup>1</sup> Паспорт на Пашковскую структуру / ЗАО «Кама-ойл». Пермь, 2012. 9 с.

ячейкой. Значения этой ячейки рассчитываются исходя из тех ячеек, которые находятся внутри эллипсоида. Модель вариограммы определяет непрерывность моделируемого параметра и показывает, в какой степени остаточное значение соотносится с остаточным значением поблизости, в виде функции расстояния между ними [5]. В данной работе вариограммный анализ проведен по скважинным данным месторождений-аналогов отдельно по каждому продуктивному пласту.

При моделировании параметра литологии принято распределение по результатам интерпретации данных ГИС. Данный дискретный параметр (неколлектор – 0, коллектор – 1) построен с использованием алгоритма индикаторного моделирования, который на основании ограниченного числа ячеек с определенными значениями параметра позволяет получить его значения для всех остальных ячеек трехмерной сетки [6].

Трехмерный параметр литологии рассчитывался путем многовариантного моделирования, когда задавалось 64 реализации расчета данного куба. Итогом расчета многовариантного моделирования являются 64 непрерывных куба песчаности с граничными значениями от 0 до 1, которые осреднены в единый трехмерный куб. Далее путем применения определенного алгоритма, позволяющего подбирать необходимую отсечку, оценивая эффективные толщины, песчаность и процентное соотношение коллекторов и неколлекторов, получен итоговый параметр песчаности. Затем полученный дискретный параметр использовался как тренд для расчета итогового параметра литологии, характеризующий пространственное расположение коллекторов [7]. Данный этап работы также проводился с использованием алгоритма индикаторного моделирования.

Для оценки полученных результатов строились карты эффективных толщин и ГСР по трехмерному кубу. Проверялась

степень сохранения по ГСР закономерностей цикличности, наличия перемычек, изменения песчаности по слоям, присущие ГСР по скважинам месторождений-аналогов. Дополнительно проводилась визуальная проверка и сопоставление гистограмм<sup>2</sup>.

На основе построенной литологической модели по рассматриваемым в данной работе объектам проведена оценка предполагаемых площадей нефтеносности и объемов нефтенасыщенных пород. Необходимо отметить, что при оценке перспективных ресурсов УВ категории С<sub>3</sub>, использовались по данным месторождений-аналогов условные подсчетные уровни (УПУ) прогнозируемых залежей. Подсчетные параметры, необходимые для оценки геологических и извлекаемых перспективных ресурсов УВ категории С<sub>3</sub>, приняты по Юрчукскому, Южно-Юрчукскому и Проворовскому месторождениям-аналогам<sup>3</sup>.

По рассчитанным при многовариантном моделировании параметрам проведена оценка достоверности полученных результатов. Данный этап работы проводился с целью повышения качества геологических моделей, а также с целью оценки рисков бурения поисково-разведочных скважин. Итак, по 64 реализациям расчета параметров литологии смоделированы пессимистичные, ожидаемые и оптимистичные варианты, по которым отстраивались карты эффективных нефтенасыщенных толщин: соответственно карта пессимистичного, ожидаемого и оптимистичного вариантов [8]. Данные карты представлены на рис. 1.

---

<sup>2</sup> Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Ч. 1. Геологические модели / Всерос. науч.-исслед. ин-т орг-ции. упр. и экон. нефтегаз. пром. М., 2008. 36 с.

<sup>3</sup> Паспорт на Пашковскую структуру / ЗАО «Кама-ойл». Пермь, 2012. 9 с.

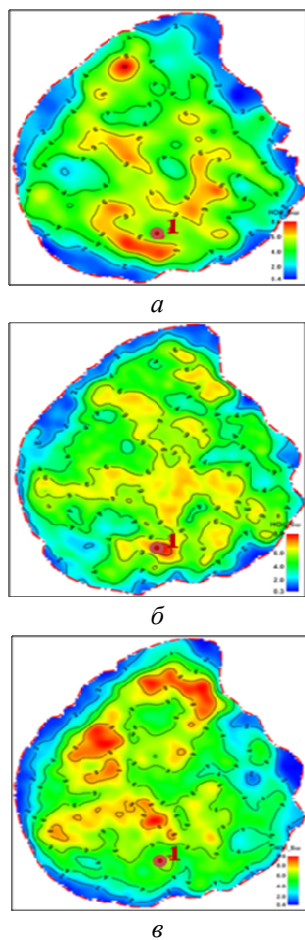


Рис. 1. Прогнозные карты нефтенасыщенных толщин пласта Бш по вариантам: а – пессимистичный; б – ожидаемый; в – оптимистичный

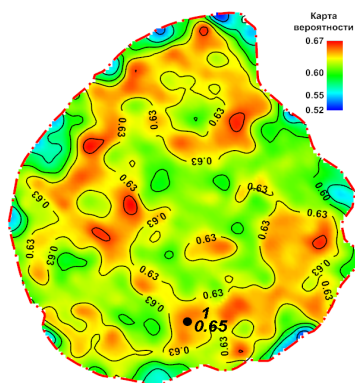


Рис. 2. Карта вероятности подтверждения нефтенасыщенных толщин

Таким образом, на основе смоделированных вариантов построена карта вероятности подтверждения геологического строения относительно ожидаемого варианта (рис. 2).

Из представленных выше рисунков видно, что при бурении поисково-разведочной скважины № 1 в свод Пашковской структуры вероятность подтверждения эффективных нефтенасыщенных толщин составит 65 %.

### Построение геологических моделей перспективных участков Вишерской разведочной площади с применением результатов сейсмического анализа

Основными объектами для моделирования приняты прогнозные залежи тульских терригенных (пласт Тл<sub>2</sub>) и фаменских карбонатных отложений (пласт Фм) Январской, Гребневой, Восточно-Канахинской и Игонинской структур Вишерской разведочной площади, подготовленных по данным сейморазведки методом 3D.

По результатам сейсмического анализа отстроены основные отражающие горизонты 2к и 2п, а также проведен сейсмический анализ рассматриваемой территории, в результате которого построены прогнозные карты эффективных толщин по каждой продуктивной толще (рис. 3).

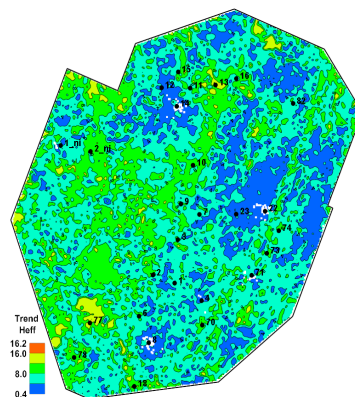


Рис. 3. Прогнозная карта эффективных толщин пласта Фм

Моделирование структурных поверхностей Вишерской разведочной площади осуществлялось также с использованием модуля стратиграфического моделирования [2, 3]. По результатам применения данного алгоритма получены согласованные со скважинными данными структурные поверхности кровель и подошв продуктивных пластов Тл<sub>2</sub> и Фм подготовленных структур Вишерской разведочной площади, которые наследуют основные черты рассмотренных выше опорных горизонтов.

Для моделирования параметра литологии принято распределение по результатам интерпретации ГИС. Рассматриваемый дискретный параметр построен также с использованием алгоритма индикаторного моделирования, в настройках которого использовалась трехмерная модель вариограммы, определяющая непрерывность моделируемого параметра [5]. Далее применялась прогнозная карта эффективных толщин, полученная в результате сейсмического анализа Вишерской площади, которая была преобразована в карту песчаности, характеризующую процентное содержание коллектора в пласте [2]. Преобразованная карта использовалась в качестве тренда для настройки алгоритма индикаторного моделирования по каждому продуктивному пласту. Также необходимо отметить, что в качестве исходных данных использовались ГСР, построенные по скважинным данным месторождений-аналогов. Итогом расчета рассматриваемого алгоритма являются дискретные кубы параметра литологии, характеризующие пространственное распределение коллекторов.

Для проверки качества построения параметра литологии также строились карты эффективных толщин и ГСР по трехмерному кубу. Проверялась степень сохранения по ГСР закономерностей цикличности, наличия перемычек, изменения песчаности по слоям, присущие ГСР по скважинным данным месторож-

дений-аналогов. Дополнительно строились гистограммы распределения литологии в кубе, осредненных ячейках и по скважинам, расхождение между которыми составило менее 5 %, что свидетельствует о правильности выбранного для литологического моделирования подхода<sup>4</sup> (рис. 4).

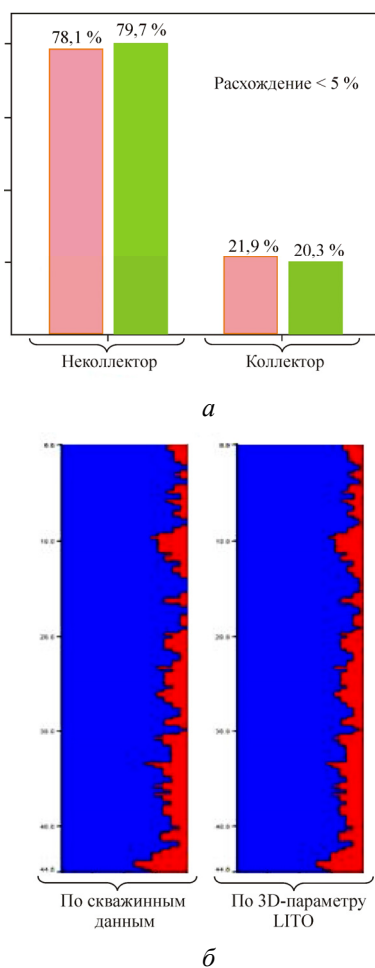


Рис. 4. Сравнение гистограмм и ГСР: а – пласт Бш; б – пласт Фм; ■ – по скважинным данным; ■ – по 3D-параметру; ■ – неколлектор; ■ – коллектор

<sup>4</sup> Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Ч. 1. Геологические модели / Всерос. науч.-исслед. ин-т орг. упр. и экон. нефтегаз. пром. М., 2008. 36 с.

На основе построенной литологической модели по рассматриваемым в данном пункте работы объектам проведена оценка предполагаемых площадей нефтеносности и объемов нефтенасыщенных пород. Необходимо отметить, что при оценке перспективных ресурсов УВ категории  $C_3$  в пределах рассматриваемых участков Вишерской разведочной площади использовались по данным месторождений-аналогов УПУ. Подсчетные параметры приняты по Касибскому, Тазмерскому и Родниковскому месторождениям-аналогам.

**Построение геологических моделей перспективных объектов Енапаевского ЛУ по тульским терригенным отложениям с применением данных литолого-фациального анализа керна**

При построении геологических моделей использованы нижнетульский и верхнетульский циклиты, выделенные по данным литолого-фациального анализа керна. Объектами для моделирования являются подготовленные к глубокому бурению по данным сейсморазведки методом 3D структуры: Северо-Ефремовская, Ореховая, Хуторская, Южно-Хуторская, Софьинопольская, Струнная, Севоро-Шароновская, а также выявленные структуры: Западно-Светлогорская, Южно-Габышевская, Восточно-Ишимовская, Бикбайская Енапаевской площади.

Исходными данными для геологического моделирования послужили результаты сейсморазведки 3D (отражающий горизонт 2к), результаты интерпретации ГИС, результаты литолого-фациального анализа керна визейской терригенной толщи, а также УПУ прогнозируемых залежей.

По результатам литолого-фациального анализа керна рассматриваемой в данной работе площади выделены следующие фациальные комплексы: протока дельты, конус выноса протоки, песчаный бар, паводковая коса и залив дельты. При

обобщении вышеперечисленных данных, а также результатов интерпретации ГИС получена фациальная кривая Zones, в которой каждому типу фаций соответствует определенный индекс, заданный в произвольной форме [9, 10].

Далее следует этап фациального моделирования песчаных объектов, основными объектами на котором являются песчаные тела, выделенные по результатам литолого-фациального анализа керна. Моделирование песчаных тел отдельно для каждого типа фаций осуществлялось с помощью инструмента SedSeis. Этот метод наиболее подходит для моделирования данных фациальных комплексов, форма объектов которых напоминает русло [11]. В результате в пределах рассматриваемых в данном пункте работы циклитов получен суммарный дискретный параметр типов фаций, который наиболее точно отражает форму и характер распространения песчаных тел в пределах каждого фациального комплекса (рис. 5).

Для моделирования параметра литологии принято распределение по результатам интерпретации ГИС. Данный дискретный параметр построен также с использованием алгоритма индикаторного моделирования, в настройках которого использовалась трехмерная модель вариограммы, определяющая непрерывность моделируемого параметра [4].

Трехмерный параметр литологии рассчитывался путем многовариантного моделирования, когда задавалось 64 реализации расчета данного куба. Также необходимо отметить, что полученный ранее в результате фациального моделирования дискретный параметр фаций, использовался при распределении типа «коллектор-неколлектор» в качестве одного из трендов, как и построенные по скважинным данным ГСР. Итогом расчета многовариантного моделирования являются 64 непрерывных куба литологии, которые осреднены в единый трехмерный куб [9].

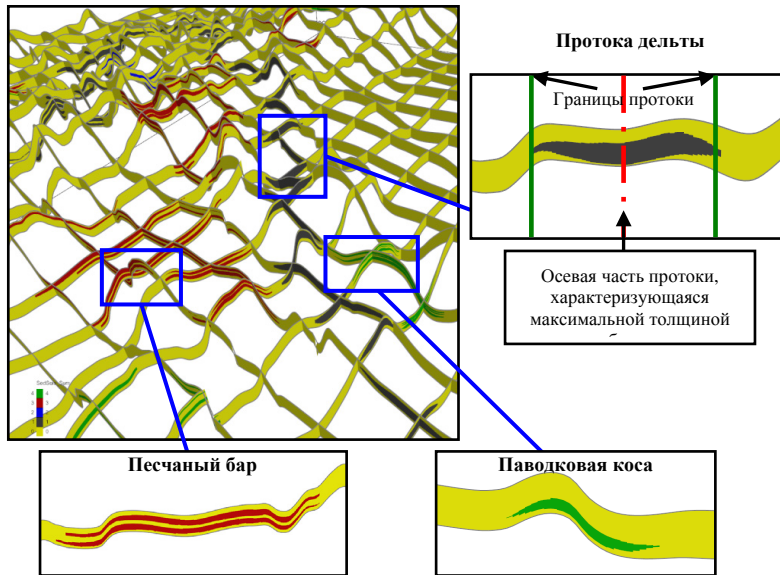


Рис. 5. Суммарный параметр типов фаций

Для проверки качества построения параметра литологии также строились карты эффективных толщин и ГСР по трехмерному кубу, которые сравнивались с ГСР по скважинным данным. Проверялась степень сохранения по ГСР закономерностей цикличности, изменения песчаности по слоям, присутствие ГСР по скважинным данным<sup>5</sup>.

Также путем многовариантного моделирования получен непрерывный параметр пористости, при пространственном распределении которого применялся алгоритм петрофизического моделирования. С помощью данного алгоритма стохастически распределялись значения моделируемого параметра. Преимуществом рассматриваемого инструмента моделирования является создание наиболее верного распределения параметра в резервуаре. Такое распределение получается на основе исходных данных и знаний об их трендах и распределениях [12]. Ис-

ходными данными для расчета значений рассматриваемого параметра послужили непрерывные результаты интерпретации ГИС, суммарный параметр типов фаций, полученные кубы литологии и гistogramмы нормального распределения коэффициента пористости ( $K_p$ ) по каждому типу фаций.

После настройки алгоритма стохастики при распределении пористости применен алгоритм многовариантного моделирования, когда задавалось 64 реализации расчета куба пористости. Итогом петрофизического моделирования являются осредненные по 64 реализациям трехмерные параметры пористости [9].

На основе построенной литологической модели по рассматриваемым в данном пункте работы циклитам проведена оценка предполагаемых площадей нефтеносности и объемов нефтенасыщенных пород. Подсчетные параметры, необходимые для оценки геологических и извлекаемых перспективных ресурсов УВ категории  $C_3$ , приняты по Софьинскому, Таныпскому, Шароновскому, Светлогорскому и Казаковскому месторождениям-аналогам.

<sup>5</sup> Методические указания по созданию постоянных действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Ч. 1. Геологические модели / Всерос. науч.-исслед. ин-т орг. упр. и экон. нефтегаз. пром. М., 2008. 36 с.

Список литературы

1. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D моделей / ООО ИПЦ «Маска». – М., 2008. – 272 с.
2. Гаврилов С.С., Славкин В.С., Френкель С.М. Использование данных сейсморазведки при трехмерном геологическом моделировании // Геология нефти и газа. – 2006. – № 5. – С. 44–51.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование / ООО ИПЦ «Маска». – М., 2009. – 376 с.
4. Зюзев Е.С., Глебов А.С. Методические особенности построения дискретной и непрерывной литологической модели // Геомодель – 2008: материалы X науч.-практ. конф. – Геленджик, 2008.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М., 1968. – 408 с.
6. Дерюшев А.Б., Потехин Д.В. Применение стохастического алгоритма при моделировании терригенных отложений девона // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 25–31.
7. Дерюшев А.Б., Потехин Д.В. Опыт трехмерного моделирования терригенного девона на примере нижнетиманских отложений Кирилловского месторождения нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 4. – С. 25–30.
8. O Dubrule. Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Model. – Tulsa, 2003. – 273 p.
9. Дерюшев А.Б., Носов М.А., Кривошеков С.Н. Оценка перспективных ресурсов и прогноз дебитов скважин на основе трехмерной литолого-фациальной модели тульских терригенных отложений // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 52–56.
10. Serra O. Advanced Interpretation of Wireline Logs. – Houston: Schlumberger, 1986. – 295 p.
11. Selley Richard C. Ancient Sedimentary Environments. – London, 1978. – 287 p.
12. Yarus J.M. Stochastic Modeling and Geostatistics. – USA; Tulsa; Oklahoma, 1994. – 231 p.

References

1. Zakrevskij K.E., Majsjuk D.M., Syrtlanov V.R. Ocenka kachestva 3D modelej [Quality assessment of 3D models]. Moscow: ООО IPC “Maska”, 2008. 272 p.
2. Gavrilov S.S., Slavkin V.S., Frenkel' S.M. Ispol'zovanie dannyx sejsmorazvedki pri trexmernom geologicheskom modelirovanii [Using seismic data in three-dimensional geological modeling]. *Geologiya nefiti i gaza*, 2006, no. 5, pp. 44–51.
3. Zakrevskij K.E. Geologicheskoe 3D modelirovanie [Geological 3D modeling]. Moscow: ООО IPC “Maska”, 2009. 376 p.
4. Zyuzev E.S., Glebov A.S. Metodicheskie osobennosti postroeniya diskretnoj i nepreryvnoj litologicheskoy modeli [Methodical design features of discrete and continuous lithologic models]. *Materialy X nauchno-prakticheskoy konferencii. “Geomodel' – 2008”*, Gelendzhik, 2008. 67 p.
5. Materon Zh. Osnovy prikladnoj geostatistiki [Foundations of applied geostatistics]. Moscow, 1968. 408 p.
6. Deryushev A.B., Potexin D.V. Primenenie stoxasticheskogo algoritma pri modelirovanii terrigenykh otlozhenij devona [Application of stochastic algorithm for modeling Devonian clastic deposits]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo natsional'nogo politekhnicheskogo universitetata. Geologiya. Neftgazovoe i gornoe delo*, 2011, no. 1, pp. 25–31.
7. Deryushev A.B., Potexin D.V. Opyt trexmernogo modelirovaniya terrigennogo devona na primere nizhnetimanskix otlozhenij Kirillovskogo mestorozhdeniya nefiti [Experience of three-dimensional modeling of the terrigenous Devonian on example of nizhnetimanskix sediments of Kirillovskoye oilfield]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyx i gazovyx mestorozhdenij*, 2012, no. 4, pp. 25–30.
8. Dubrule O. Geostatistics for seismic data integration in earth model. Tulsa, 2003. 273 p.
9. Deryushev A.B., Nosov M.A., Krivoshhekov S.N. Ocenka perspektivnyx resursov i prognoz debita skvazhin na osnove trexmernoj litologo-facial'noj modeli tul'skix terrigenykh otlozhenij [Prospective resources estimation and production rate forecast based on three-dimensional



lithofacies geological model of Tula shale terrigenous deposits]. *Neftyanoe khozyajstvo*, 2013, no. 4, pp. 52–56.

10. Serra O. *Advanced Interpretation of Wireline Logs*. Houston: Shlumberger, 1986. 295 p.

11. Selley R.C. *Ancient Sedimentary Environments*. London, 1978. 287 p.

12. Yarus J.M. *Stochastic Modeling and Geostatistics*. USA; Tulsa; Oklahoma, 1994. 231 p.

#### **Об авторе**

**Дерюшев Александр Борисович** (Пермь, Россия) – инженер 1-й категории отдела геологического моделирования филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (614066, г. Пермь, ул. Советской Армии, 29; e-mail: ABDeryushev@mail.ru).

#### **About the autor**

**Deriushev Aleksandr Borisovich** (Perm, Russia) – engineer of the 1st category of geological modeling department of Branch of LLC “LUKOIL-Engineering” “PermNIPIneft” in Perm (614066, Sovetskoi Armii st., 29; e-mail: ABDeryushev@mail.ru).

Получено 15.06.2013