

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ, РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ

Быстрова Инна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: innabistrova1948@mail.ru

Смирнова Татьяна Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: Juliet_23@mail.ru

За последнее десятилетие моделирование стало неотъемлемой частью геолого-разведочного и производственного этапов в нефтегазовой отрасли. Это позволило на высоком научно-теоретическом уровне усовершенствовать процессы поиска, разведки, разработки и доразведки залежей углеводородов. Моделирование является краеугольной составляющей, диалектически связывающей систему научных представлений, понятий с углублением научных знаний о геологическом объекте изучения на базе научно-теоретического обобщения и обоснования геологической модели с использованием результатов геолого-геофизических и промысловых материалов в историческом аспекте.

Ключевые слова: моделирование, поиск, разведка и разработка залежей, 3D-модели, детерминированные, вероятностно-статистические глобальные, локальные и околоскважинные модели, этапы создания геологических моделей

GEOLOGICAL MODELING OF IMPROVING THE PROCESSES OF PROSPECTING, EXPLORATION AND ADDITIONAL EXPLORATION OF DEPOSITS

Bystrova Inna V., Ph. D. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: innabistrova1948@mail.ru

Smirnova Tatyana S., Ph. D. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: juliet_23@mail.ru

Over the past decade, modeling has become an integral part of the exploration and production stages in the oil and gas industry. This made it possible to improve the processes of prospecting, exploration, development and additional exploration of hydrocarbon deposits at a high scientific and theoretical level. Modeling is a fundamental component of dialectically linking the system of scientific ideas, concepts with the deepening of scientific knowledge about the geological object of study on the basis of theoretical generalization and justification of the geologic model using results of geological-geophysical and field material in the historical aspect.

Keywords: modeling, search, exploration and development of deposits, 3D-models, deterministic, probabilistic and statistical global, local and near-well models, stages of creating geological models

В век современных технологий во многих отраслях народного хозяйства нашей страны важное место занимает процесс моделирования. Процесс моделирования в геологии – это практическая наука, которая опирается на анализ фактического материала конкретных геологических объектов. Это позволяет решать ряд научно-теоретических вопросов с целью усовершенствования процессов поиска, разведки, разработки и доразведки залежей углеводородов, что возможно и необходимо при использовании моделирования геологического строения залежи, особенностей

и параметров залегания горных пород, их распространения, выявление характерных свойств продуктивных пластов и т. д. [3; 6].

Следует отметить, что именно детальность строения моделей определяет дальнейшую стратегию эксплуатации месторождения, опираясь на результаты промыслово-геофизических исследований и данных бурения.

Отмечается всевозрастающий интерес к использованию методов моделирования в геологии, что является основой экономического обоснования в решении вопросов перспектив нефтегазоносности. Построение и практическое использование моделей необходимо на всех стадиях изучения, начиная от процесса поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений и заканчивая выработкой остаточных запасов [1].

На данном этапе становления и развития геологической науки роль статической модели является важнейшей частью процесса разработки месторождений нефти и газа. От правильного выбора геолого-геофизических методов зависит точность разрабатываемых моделей. Именно это позволяет повысить экономический фактор при разработке углеводородов.

Геологическая модель является диалектически связанной системой представлений, понятий и научных знаний о геологическом объекте с учётом исторического времени. Важным условием при моделировании является научное обоснование любой модели на теоретической и эмпирической основе с использованием результатов геолого-геофизических и промысловых материалов.

При построении геологической модели необходимо учитывать следующие данные:

- 1) тектоническое строение объекта;
- 2) геометрию объекта;
- 3) стратиграфию и литолого-фациальную характеристику пластов-коллекторов;
- 4) изменение эффективных толщин ($h_{эф}$);
- 5) изменение коллекторских свойств (пористости и проницаемости) по площади и разрезу;
- 6) газонефтенасыщенность отдельных пропластков;
- 7) гидрогеологическую характеристику;
- 8) величину запасов [4; 5].

Постоянно действующие геолого-технологические модели, построенные в рамках единой компьютерной технологии, представляют собой совокупность:

- 1) цифровой интегрированной базы геологической, геофизической, гидродинамической и промысловой информации [1];
- 2) цифровой трёхмерной адресной геологической модели месторождения (залежей);
- 3) двумерных (2D) и трёхмерных, трёхфазных и композиционных, физически содержательных фильтрационных (гидродинамических) математических моделей процессов разработки;
- 4) программных средств построения, просмотра, редактирования цифровой геологической модели, подсчёта запасов нефти, природного газа и газового конденсата;
- 5) программных средств для пересчёта параметров геологической модели в параметры фильтрационной модели и их корректировки;
- 6) программных средств выдачи отчётной графики, хранения и архивации получаемых результатов;
- 7) базы знаний и экспертных систем, используемых при принятии решений по управлению процессом разработки [1].

Под цифровой трёхмерной адресной геологической моделью месторождения понимается представление продуктивных пластов и вмещающей их геологической среды в виде набора цифровых карт (двухмерных сеток) или трёхмерных сеток ячеек, которые характеризуют: пространственное положение в объёме резервуара коллекторов и разделяющих их непроницаемых (слабопроницаемых) прослоев; положение стратиграфических границ продуктивных пластов (седиментационных циклов); литологических границ в пределах пластов, тектонических нарушений и амплитуд

их смещений; идентификаторов циклов, объектов и границ; средние значения в ячейках сетки ФЕС, позволяющих рассчитать начальные и текущие запасы углеводородов; пространственное положение начальных и текущих флюидных контактов; координаты скважин (пластопересечения, альтитуды, координаты устьев, данные инклинометрии) [7; 8].

Программный комплекс геологической модели должен обеспечить:

- формирование модели в виде, требуемом для передачи в системы фильтрационного моделирования;
- формирование сеток и построение карт параметров пласта, структурных и литологических карт;
- построение геологических и палеогеологических профилей, просмотр и анализ каротажных диаграмм, результатов обработки и интерпретации ГИС;
- ознакомление и анализ результатов интерпретации 2D- и 3D-сейсморазведки с учётом материалов трассирования горизонтов, выделения тектонических нарушений, карт изохрон, глубин и сейсмических атрибутов, положение сейсмических профилей, а также площади 3D-сейсморазведки;
- дифференцированный подсчёт запасов нефти, газа и конденсата [1].

Размерность геологических моделей определяется детальностью исследования и областью их практического использования. Принято выделять одномерные (1D), двумерные, двух с половиной мерные (2.5D) и трёхмерные слоистые, а также 3D полнообъёмные модели.

При геолого-промысловом моделировании широко используются следующие размерности моделей: одно-, двух- и трёхмерные [2].

Одномерная модель. Её характерной чертой является прослеживание эмпирической зависимости одного параметра от другого, что выражается в форме уравнения. Эта модель широко применяется при петрофизическом изучении горных пород с целью описания взаимосвязи физических характеристик пласта по керну с геофизическими данными, а также и при обосновании параметров подсчёта запасов нефти.

Двухмерная модель – сеточная модель, которая, как правило, строится в координатах $x - y$ или $x - z$ (карты, геологические профили). Данные геологические модели используются при подсчёте запасов углеводородов.

Трёхмерная модель предназначена для моделирования геологического строения продуктивных пластов и состоит из ячеек, центрам или узлам которых присвоены значения параметров. 3D-модель применяется при составлении технологических схем и проектов разработки. Эти модели имеют широкую область применения, являются геологической основой для управления разработкой, а также обоснованием траектории горизонтальных скважин, боковых стволов и др.

В настоящее время в теоретической и эмпирической науке используются различные виды геологических моделей, которые отражают определённые стороны геологических процессов и явлений (табл.).

По характеру связи внутри изучаемых объектов принято выделять два типа моделей: детерминированные и вероятностно-статистические.

Детерминированные (адресные) геологические модели пласта строятся при наличии значительного объёма информации о распределениях исходных параметров с учётом координатной привязки в пределах отдельных пропластков. Создание таких моделей основывается на выделении в разрезе пласта и по площади залежи геологических границ относительно однородных тел [10].

Вероятностно-статистические геологические модели делятся на статистические и вероятностные (стохастические).

В основе создания статистических моделей лежит анализ экспериментальных данных. Для этих целей используют:

- 1) методы точечных и интервальных статистических оценок;
- 2) теорию проверки гипотез;
- 3) регрессионный и факторный анализы;
- 4) распознавание образов и др.

Таблица

Виды геологических моделей (по Д. В. Булыгину [2] с дополнениями)	
Виды моделей	Краткая характеристика
Региональная	Модель отражает крупные геоструктурные элементы. Применяется на этапе поисково-разведочных работ и служит для подготовки пакетов геолого-геофизической информации при работе с нераспределённым фондом недр
Концептуальная	Модель геологического и палеотектонического развития территории по литературным данным с указанием основных этапов геологической истории и источников поступления осадочного материала
Палеотектоническая	Модель, построенная относительно поверхностей выравнивания. Применяется для установления геологической структуры пластов на момент осадконакопления
Модель осадконакопления	Модель, описывающая процессы накопления осадков в геологическом прошлом
Структурная	Модель-комплект структурных карт (поверхностей) по всем нефтегазоносным горизонтам
Сейсмическая	Структурная модель, создаётся по сейсмическим данным
Литолого-фациальная	Модель с дифференциацией на фациальные типы пород (комплекс русловых, пойменных, дельтовых и др. фаций)
Модель насыщения	Модель, отражающая фазовый состав углеводородов и закономерности изменения нефте- и газонасыщенности по разрезу пласта
Петрофизическая	Модель, определяющая регрессионные уравнения связи геофизических характеристик пласта и параметров по керну
Физическая	Составная модель из образцов пород применяется для определения относительных фазовых проницаемостей (ОФП)

При составлении стохастических моделей используют вероятностное описание объектов. За основу берут уже имеющийся опыт исследований, а также учитывают и реальный диапазон изменений геологических, физических и геометрических параметров изучаемого объекта [13].

Классификация моделей проводится целенаправленно с учётом размера и объёма используемой информации. Именно эти критерии моделей принято подразделять на глобальные, локальные и околоскважинные (рис. 1).

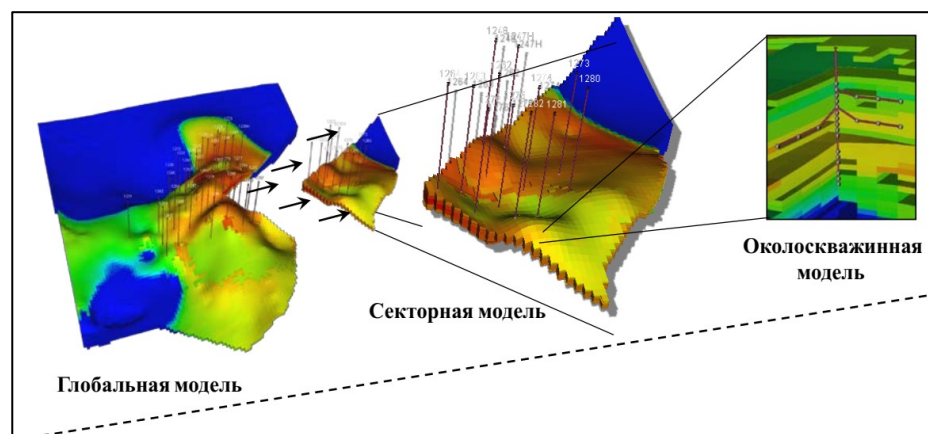


Рис. 1. Виды моделей с точки зрения размера и трудоёмкости (по К. Е. Закревскому [7])

Глобальная модель создаётся для всего месторождения или лицензионного блока и предназначена для:

- 1) обоснования способа разработки месторождения;
- 2) прогноза уровней добычи нефти во времени;
- 3) оценки неопределённости и рисков;
- 4) оценки экономической эффективности проекта разработки месторождения.

Локальная (секторная) модель предназначена для проектирования бурения горизонтальных скважин и боковых стволов, а также расчёта мероприятий по увеличению добычи нефти, газа и снижению затрат.

Главной функцией околоскважинной модели является контроль и корректировка проводки ствола горизонтальных скважин во время бурения (геонавигации) и расчёт параметров гидравлического разрыва пласта (ГРП).

Построение геологических моделей месторождений углеводородов является необходимым фактором для получения объективных данных о реальных процессах, происходящих внутри объекта исследования. Это позволит выявить диалектические связи между частями целого, не противореча друг другу, а дополняя их. Именно непротиворечивое сочетание исходных данных в статической геологической модели месторождения является контролем её качества.

В результате моделирования создаётся набор карт и цифровых геологических сеток. Так, геологическая 3D модель представляется в виде трёхмерных объёмных сеток или послойных цифровых карт [9; 10]. Она сопровождается осреднением параметров по пластам или зональным интервалам и, как правило, дополняется набором структурных и послойных карт.

Анализ научно-технической литературы по геологическому моделированию позволяет выделить следующие этапы создания 3D геологических моделей:

- 1) сбор, анализ и подготовка геологической информации и загрузка данных;
- 2) создание концептуальной модели месторождения (пласта, залежи);
- 3) построение структурной модели;
- 4) разработка трёхмерной сетки, осреднение скважинных данных на сетку вдоль траекторий скважин;
- 5) подготовка литолого-фациальной модели (ЛФМ);
- 6) обоснование модели ФЕС;
- 7) создание модели насыщения;
- 8) оценка неопределённостей и рисков [11; 12; 15].

В зависимости от поставленной задачи возможно исключение каких-либо этапов или их повторение.

Одним из важнейших этапов создания геологической модели является сбор, анализ и подготовка исходных данных. От качественной достоверности используемой информации зависит конечный результат моделирования. Поэтому от 50 до 80 % времени, выделенного на создание геологической модели, приходится на поиск, анализ и подготовку исходных данных и только от 15 до 30 % на их интерпретацию. Основные этапы построения модели представлены на рисунке 2.

Перед началом процесса моделирования необходимо структурировать имеющуюся информацию и создать базу данных проекта, которая обеспечит высокую технологичность рабочего процесса на всех этапах моделирования. Это позволит создать единую информационную среду для анализа сейсмических, скважинных, геофизических и промысловых данных, а также результатов гидродинамического моделирования и контроля над разработкой залежи.

Для того чтобы более точно отразить информационную базу и провести её корректировку, следует тщательно осуществлять подборку и оценку качества исходных данных. Необходимо учитывать тот факт, что база данных геологической модели является центральным звеном всего процесса построения модели. Следует также обратить внимание на то, что исходные данные, как правило, имеют ограниченную достоверность и поэтому они должны корректироваться на всех этапах построения модели.

Результаты опыта моделирования показывают, что в процессе первичной оценки и корректировки исходной базы данных (до построения трёхмерной модели) они, вполне вероятно, подлежат исправлению ограниченного количества ошибок. Ошибки могут быть выявлены только при построении трёхмерных моделей и сеток литолого-петрофизических параметров. Следовательно, итоговая база исходных данных

геологической модели может быть создана и структурирована только на последних этапах построения геолого-технологической модели, когда будут устранены основные противоречия и разнородные (разной точности) данные, согласованные между собой.

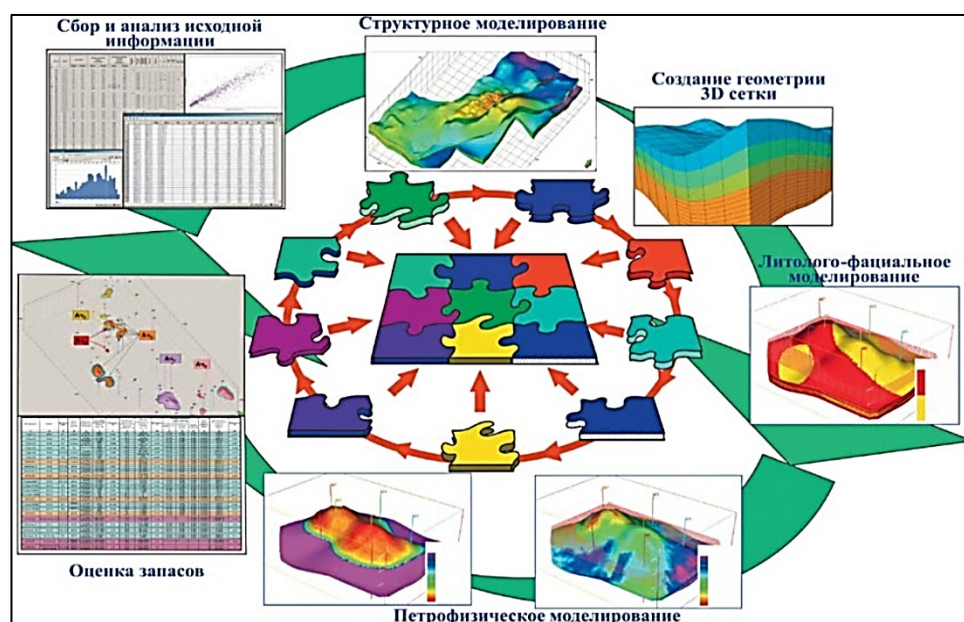


Рис. 2. Основные этапы построения модели [7; 8]

Процесс моделирования представляет собой воспроизведение поведения объекта с помощью модели. Моделирование не заменяет непосредственного изучения объекта.

Стратегия освоения месторождений и обобщение опыта их разработки диктуют идеологию и методологию построения наиболее совершенных геологических и геолого-гидродинамических моделей.

Геолого-промысловое моделирование месторождений углеводородов в настоящее время занимает ведущие позиции в нефтегазовом секторе.

Для достоверного представления о геологическом строении, изучения литолого-стратиграфического состояния осадочных толщ необходимо составление моделей при промыслово-геофизических исследованиях. Это позволит получить не только верную информацию о геологическом строении месторождений, но и прогнозировать их состояние в процессе разработки, составить представление о природных режимах на конкретных месторождениях, проектировать скважины, заранее получая более достоверную информацию об их продуктивности и экономической рентабельности [13; 14]. Поэтому в настоящее время геологическое моделирование является важнейшей составляющей технологических процессов при обосновании заложения и бурения скважин. Полученные результаты позволяют уточнять данные о месторождениях углеводородов, даже не прерывая процесса их разработки. Следовательно, основой проектирования геологоразведочных работ является геологическое моделирование, проводимое с целью усовершенствования процессов поиска, разведки, разработки и доразведки залежей углеводородов.

Список литературы

1. Белкина, В. А. Основы геологического моделирования / В. А. Белкина, С. Р. Бембель, А. А. Забоева, Н. В. Санькова. – Тюмень : Тюменский гос. нефтегазовый ун-т, 2015. – Ч. 1. – 168 с.
2. Булыгин, Д. В. Геологические основы компьютерного моделирования нефтяных месторождений / Д. В. Булыгин, Р. Р. Ганиев. – Казань : Казанский ун-т, 2011. – 356 с.
3. Гладков, Е. А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа / Е. А. Гладков. – Томск : Томский политех. ун-т, 2012. – 84 с.
4. Гладков, Е. А. Методология создания трехмерной геолого-технологической модели на месторождениях с историей разработки более 50 лет / Е. А. Гладков // Бурение и нефть. – 2011. – № 1. – С. 32–35.
5. Гладков, Е. А. Трехмерная геолого-технологическая модель месторождения УВ на основе индивидуальной поскважинной адаптации / Е. А. Гладков, Е. Е. Гладкова // Газовая промышленность. – 2010. – № 5. – С. 36–39.
6. Еганов, Э. А. О моделировании в геологии / Э. А. Еганов, В. И. Молчанов, В. В. Парав // Философия науки. – 2006. – № 3 (30). – С. 92–107.
7. Закревский, К. Е. Геологические 3D моделирование / К. Е. Закревский. – Москва : Маска, 2009. – 376 с.
8. Закревский, К. Е. Оценка качества 3D моделей / К. Е. Закревский, Д. М. Майсюк, В. Р. Сыртланов. – Москва : Маска, 2008. – 272 с.
9. Керимов, В. Ю. Становление и современное состояние фундаментального базиса прогнозирования нефтегазоносности недр / В. Ю. Керимов // Технологии нефти и газа. – 2015. – № 5 (100). – С. 17–25.
10. Керимов, В. Ю. Моделирование месторождений и залежей нефти и газа для решения задач разведки и разработки / В. Ю. Керимов, Р. Н. Бахтизин, К. И. Данцова, И. М. Салихова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – С. 53–56.
11. Митюннина, И. Ю. Использование геоинформационных технологий для решения задач нефтяной геологии / И. Ю. Митюннина // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию Первой Всесоюзной геофизической конференции / гл. ред. В. И. Костицын. – 2017. – С. 128–131.
12. Нургатин, Р. И. Применение 3D моделирования в нефтегазовой отрасли / Р. И. Нургатин, Б. А. Лысов // Известия Сибирского отделения Секция Наук о Земле РАН. – 2014. – № 1. – С. 66–73.
13. Рыбников, А. В. Стохастические геологические модели – методы, технологии, возможности / Р. И. Нургатин, Б. А. Лысов // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 22–25.
14. Шабрин, Н. В. Оптимизация процесса обработки данных при 3D моделировании в геологии / Н. В. Шабрин, В. В. Никифоров // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. – Уфа, 2017. – С. 72–78.
15. Hantshel, T. Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modelling / T. Hantshel, A. Kauerauf. – London, 2009. – 476 p.

References

1. Belkina, V. A., Bembel, S. R., Zaboeva, A. A., Sankova, N. V. *Osnovy geologicheskogo modelirovaniya* [Fundamentals of geological modeling]. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 2015, part 1, 168 p.
2. Bulygin, D. V., Ganiev, R. R. *Geologicheskije osnovy kompyuternogo modelirovaniya neftyanykh mestorozhdeniy* [Geological foundations of computer modeling of oil fields]. Kazan, Kazan University Publ., 2011, 356 p.
3. Gladkov, E. A. *Geologicheskoe i gidrodinamicheskoe modelirovanie mestorozhdenij nefiti i gaza* [Geological and hydrodynamic modeling of oil and gas fields]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2012, 84 p.
4. Gladkov, E. A. Metodologiya sozdaniya trekhmernoy geologo-tekhnologicheskoy modeli na mestorozhdeniyakh s istoriey razrabotki bolee 50 let [Methodology for creating a three-dimensional geological and technological model in fields with a development history of more than 50 years]. *Burenie i nefit* [Drilling and oil], 2011, no. 1, pp. 32–35.
5. Gladkov, E. A., Gladkova, E. E. Trekhmernaya geologo-tekhnologicheskaya model mestorozhdeniya UV na osnove individualnoy poskvazhinnoy adaptatsii [Three-dimensional geological

and technological model of the hydrocarbon field based on individual downhole adaptation]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas Industry], 2010, no. 5, pp. 36–39.

6. Eganov, E. A., Molchanov, V. I., Paraev, V. V. O modelirovani v geologii [On modeling in geology]. *Filosofiya nauki* [Philosophy of Science], 2006, no. 3 (30), pp. 92–107.

7. Zakrevskiy, K. E. *Geologicheskie 3D modelirovanie* [Geological 3D modeling]. Moscow, Maska Publ., 2009, 376 p.

8. Zakrevskiy, K. E., Maysyuk, D. M., Syrtlanov, V. R. *Otsenka kachestva 3D modeley* [Assessment of the quality of 3D models]. Moscow, Maska Publ., 2008, 272 p.

9. Kerimov, V. Yu. Stanovlenie i sovremennoe sostoyanie fundamentalnogo bazisa prognozirovaniya neftegazonosnosti nedr [Formation and current state of the fundamental basis for predicting the oil and gas content of the subsoil]. *Tekhnologii nefiti i gaza* [Oil and Gas Technologies], 2015, no. 5 (100), pp. 17–25.

10. Kerimov, V. Yu., Bahtizin, R. N., Dancova, K. I., Salihova, I. M. Modelirovanie mesotorozhdeniy i zalezhey nefiti i gaza dlya resheniya zadach razvedki i razrabotki [Modeling of oil and gas fields and deposits for solving problems of exploration and development]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodородного сыра* [Transport and storage of oil products and hydrocarbon raw materials], 2018, pp. 53–56.

11. Mityunina, I. Yu. Ispolzovanie geoinformatsionnykh tekhnologiy dlya resheniya zadach neftyanoy geologii [The use of geoinformation technologies for solving problems of petroleum geology]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki”* [Materials of the International Scientific and Practical Conference “Theory and practice of exploration and field geophysics”]. Ed. by V. I. Kostitsyn, 2017, pp. 128–131.

12. Nurgatin, R. I., Lysov, B. A. Primenenie 3d modelirovaniya v neftegazovoy otrasli [The use of 3d modeling in the oil and gas industry]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya. Sektsiya Nauk o Zemle RAEN* [Bulletin of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences], 2014, no. 1, pp. 66–73.

13. Rybnikov, A. V., Sarkisov, G. G. Stokhasticheskie geologicheskie modeli – metody, tekhnologii, vozmozhnosti [Stochastic geological models - methods, technologies, opportunities]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil industry], 2001, no. 6, pp. 22–25.

14. Shabrin, N. V., Nikiforov, V. V. Optimizatsiya protsessy obrabotki dannykh pri 3D modelirovani v geologii [Optimization of the data processing process in 3D modeling in geology]. *Neftegazovye tekhnologii i novye materialy. Problemy i resheniya* [Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions]. Ufa, 2017, pp. 72–78.

15. Hantshel, T., Kauerauf, A. *Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modelling*. London, 2009, 476 p.