

СТАТЬИ

УДК 550.3:550.8

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ
ПЛОЩАДЕЙ КОСЬЮ-РОГОВСКОЙ ВПАДИНЫ
ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА****Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н.***ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,
e-mail: kmotryuk@yandex.ru.*

В работе описаны основные типы моделей, используемых при интерпретации геолого-геофизических данных для получения дополнительной информации о геологической среде, ее свойствах. Дается определение физико-геологической модели (ФГМ), приведены ее виды. Изложены принципы моделирования на основе решения обратных задач. При решении обратных задач вводится критерий оптимальности, представлены следующие варианты выбора критерия оптимальности: в квадратичной, в равномерной метриках; интегральный критерий; критерий, сформированный на основе нечетких множеств для плотностной задачи, а также с учетом эволюционно-динамических принципов. Из них наиболее рациональными являются интегральный критерий и критерий на основе использования теории нечетких множеств. В результате геологическая модель должна удовлетворять априорной информации с заданной степенью точности. Указаны основные программные продукты, разработанные и используемые в УГТУ для комплексной интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки: PlayGround, EvDynInversion, GCIS – для обработки данных по профилям; GCIS, GeoVIP – по площади. Описано отличие пассивной постановки совместного решения обратных задач от активной. В качестве примера приведены результаты моделирования геологического строения Косью-Роговской впадины по серии профилей, пересекающих Кочмесское поднятие, Романьельскую структуру и Инта-Кожимские дислокации. В частности, подтвердилась Кожимская взбросо-надвиговая структура и Кочмеская карбонатная платформа с рифами в нижнепермских породах. Аномальной плотностной зоной отмечается участок нижнепермских отложений между южным окончанием гряды Чернышева и Интинской складчато-чешуйчатой зоной, что связано с развитием взбросов и взбросо-надвигов. Полученные структурно-плотностные модели и геоплотностные срезы позволяют уточнить строение территории и определять области и зоны плотностных неоднородностей, влияющие на формирование залежей углеводородов.

Ключевые слова: моделирование, физико-геологическая модель, структурно-плотностная модель, интерпретация, гравиразведка, сейсморазведка, обратные задачи

**FEATURES OF FORMATION OF PHYSICO-GEOLOGICAL MODELS
ON THE EXAMPLE OF AREAS OF THE KOSYU-ROGOVSKAYA VPADYNA
OF THE PREDURALSKY BOUNDARY DOWN****Veltistova O.M., Motryuk E.N.***Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: kmotryuk@yandex.ru.*

The paper describes the main types of models used in the interpretation of geological and geophysical data to obtain additional information about the geological environment, its properties. The definition of the physical-geological model (FGM) is given, its types are described. When solving inverse problems, an optimality criterion is introduced, the following options for choosing the optimality criterion are presented: in quadratic, in uniform metrics; integral criterion; a criterion formed on the basis of fuzzy sets for a density problem, as well as taking into account evolutionary-dynamic principles. Of these, the most rational are the integral criterion and the criterion based on the use of fuzzy set theory. As a result, the geological model must satisfy the a priori information with a given degree of accuracy. The main software products developed and used at USTU for the integrated interpretation of gravity and seismic data are indicated: PlayGround, EvDynInversion, GCIS – for processing data along profiles; GCIS, GeoVIP – by area. The difference between the passive formulation of the joint solution of inverse problems and the active one is described. As an example, the results of modeling the geological structure of the Kosyu-Rogovskaya depression using a series of profiles crossing the Kochmes uplift, the Romagel structure and the Inta-Kozhim dislocations are presented. In particular, the Kozhimsky reverse-thrust structure and the Kochmessky carbonate platform with reefs in the Lower Permian rocks were confirmed. An anomalous density zone marks the section of the Lower Permian deposits between the southern end of the Chernyshev Ridge and the Inta folded-scaly zone, which is associated with the development of reverse faults and reverse thrusts. The resulting structural-density models and geo-density sections make it possible to refine the structure of the territory and determine areas and zones of density heterogeneities that affect the formation of hydrocarbon deposits.

Keywords: modeling, physical-geological model, structural-density model, interpretation, gravity exploration, seismic exploration, inverse problems

При интерпретации геолого-геофизических данных, изучении структурно-тектонического строения территории и выявления факторов, влияющих на формирование

залежей углеводородов, используются физико-геологические модели. Построение модели включает в себя моделирование геологического разреза на основе имеющейся

геолого-геофизической информации и современных программных средств. В результате геологическая модель должна удовлетворять априорной информации с заданной степенью точности.

Целью работы является систематизация знаний о типах моделей, принципах моделирования, технологий, используемых для изучения геологической среды с целью выявления зон, перспективных на наличие залежей углеводородов. А также выявление особенностей формирования физико-геологической модели с использованием продуктов, разработанных в УГТУ, на примере площадей Косью-Роговской впадины Предуралья Краевого прогиба.

Материал и методы исследования

Геологические объекты изучаются на основе модельных представлений. При моделировании происходит упрощение формы, размерности принятых физических характеристик среды, например плотности, поэтому построенные модели всегда проще реальной геологической среды.

В геофизике широко распространены понятия *модель среды* (геологическая, физико-геологическая, дающая представления о распределении плотности, скоростная, позволяющая судить о скоростных характеристиках среды) и *модель поля* (гравитационного, временного, магнитного). *Модель геологической среды* описывается параметрами и связями [1]. *Параметры* описывают свойства объекта, *связи* определяют соотношения между параметрами. В науках о Земле понятие *физико-геологической модели (ФГМ)* было введено Г.С. Вахромеевым и А.Ю. Давыденко [2]. Академик РАН, доктор физико-математических наук В.Н. Страхов [3] описывал ФГМ следующим образом. *Нижний, базовый уровень* составляет *геологическая модель (ГМ)*, при ее построении выделяются геологические слои и структуры. Следующий уровень – *петрофизическая модель (ПФМ)*, представляющая собой наполнение геологической модели физическими параметрами. *Третий уровень* ФГМ – *математическая модель (ММ)*. Именно она используется для решения прямой и обратной задач геофизики [4]. *Математическая модель объекта* – приближенное формализованное его описание с помощью математических понятий и объектов, включающих в себя геометрические образы, уравнения, алгоритмические правила и др., связывающие поля со средой [5].

Комплексная интерпретация геофизических данных в своей *активной* постановке предполагает совместное решение обратных задач нескольких методов, например сейсморазведки и гравиразведки. *Пассивная* комплексная интерпретация основана на решении обратной задачи для одного метода, а данные других методов используются в проинтерпретированной и не подлежащей варьированию форме.

Результаты исследования и их обсуждение

В УГТУ под руководством профессора, доктора физико-математических наук А.И. Кобрунова была создана и действовала несколько десятилетий научно-педагогическая школа «*Математическое моделирование, теория, методы и компьютерные технологии решения обратных задач геофизики*». Внедряемые достижения коллектива разнообразны по содержанию: это новые теоретические выводы и методы, методики и технологии, программные продукты; научные исследования; практическое внедрение результатов научно-исследовательской работы. Предложенные разработки успешно реализованы на различных площадях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [6].

Рассмотрим наиболее распространенные физико-геологические модели, используемые при решении задач комплекса гравиразведки и сейсморазведки. *Плотностная модель* используется для решения задач локального прогнозирования. *Структурная геолого-геофизическая модель* применяется в случае слоистого строения среды [7; 8].

Вертикальная производная гравитационного потенциала $u_z(v_0)$, где $v_0 = (x_0, y_0, z_0)$ и точка $(x_0, y_0) = s_0 \in E_0$ регистрируется на поверхности в $E_+(z > 0)$ с уравнением $z_0 = \psi(s_0)$ задана соотношением между $u_z(v_0)$ и $\sigma = \sigma(v)$, $v = (x, y, z)$:

$$A\sigma(v) = u(s_0) \quad (4)$$

Критерий оптимальности в квадратичной метрике. Вся информация об искомом распределении плотности включается в критерий оптимальности [4].

$$J(\sigma(v)) = \left\| F(\sigma(v) - \sigma^0(v)) \right\| = \int_V \left| F(\sigma(v) - \sigma^0(v)) \right|^2 dv \rightarrow \min. \quad (5)$$

Решение задачи (4), (5):

$$\sigma(v) = \sigma^0(v) + F^{-1}F^{*-1}A^*\zeta(s_0) \quad (6)$$

Здесь $\zeta(s_0)$ – функция, определяющая класс оптимальных решений (4,5), F – линейный замкнутый оператор, имеющий обратный, A^* – оператор, сопряженный к A , F^{-1} – обратный к F . Подставив (6) в (4), строим искомое оптимальное распределение.

Критерий оптимальности в равномерной метрике. Итерационный процесс нахождения решения (6) [4]:

$$\begin{aligned} \sigma^{n+1}(v) &= \sigma^n(v) + \alpha_n K \varphi^n(s_0), \\ n = 0, 1, 2, \dots, \sigma^0(v) &= \sigma_0(v), \end{aligned} \quad (7)$$

α_n – параметр релаксации.

Критерий оптимальности примет вид:

$$\sup |K^{-1}[\sigma(v) - \sigma_0(v)]| \rightarrow \min, v \in V \quad (8)$$

Оператор K содержит информацию о достоверности построения различных компонент нулевого приближения, а также о корреляционной связи между различными параметрами.

Интегральный критерий оптимальности. Пусть в (1) задано нулевое приближение $\sigma^*(v)$ и оценена погрешность построения нулевого приближения $\sigma^*(v)$ в каждой точке $v \in V$. Подбираем такое $\sigma(v)$, которое удовлетворяет уравнению (5) и имеет меньшую меру расхождения с $\sigma^*(v)$:

$$J(\sigma(v)) = \int_V \left[\frac{\sigma(v) - \sigma^*(v)}{\tau(v)} \right]^2 dv \quad (9)$$

Выражение (9) и представляет собой интегральный критерий для плотностной задачи [4]. Для территории, достаточно разбуренной скважинами, параметр τ близок к 0, а по мере удаления от таких мест – к 1.

Критерий оптимальности на основе нечетких множеств. При формировании геолого-геофизической модели объекта данные можно представлять как нечеткие величины, операции над ними проводить согласно теории нечетких множеств [9]. Тогда в (1) A – оператор, отображающий распределение параметра плотности с определенной мерой доверия к значениям $\sigma(v) \in D(A) = L_2(V)$ из области V , в распределение наблюдаемого гравитационного поля $u(s_0)$ на дневной поверхности E_0 , $s_0 \in E_0$. Нечеткая величина σ полностью характеризуются функцией принадлежности $0 \leq \mu(\sigma) \leq 1$ [10].

Эволюционно-динамическое моделирование (ЭДМ). Эволюционно-динамическое моделирование состоит в представлении и изучении той части эволюционных процессов в литосфере, которая связана с динамикой элементов, входящих в состав изуча-

емой системы. Включение ЭДМ в решение обратных задач гравиметрии позволяет повысить информативность интерпретационных процедур, обеспечить единственность задач инверсии за счет активного вовлечения в вычислительный процесс данных о динамическом генезисе изучаемых объектов и динамических процессов, приведших к их формированию [11].

Алгоритм совместного решения задач. Искомая модель среды $x_1(v)$ должна соответствовать наблюдаемому полю $u_1(s)$: $A(x_1) = u_1(s)$. Модель x_2 этой же среды соответствует некоторому другому полю $u_2(s)$: $B(x_2) = u_2(s)$. Задача сводится к нахождению пары распределений, каждое из которых удовлетворяет своему полю, а сами эти распределения – ближайшие друг к другу среди всех пар [4]:

$$\begin{cases} A(x_1) = u_1(s), \\ B(x_2) = u_2(s), \\ J(x_2 - x_1) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (10)$$

Нулевое приближение структурной плотностной модели строится по сейсмическим данным. Совместное решение обратных задач сейсмо-, гравиразведки позволяет построить согласованную модель, имеющую две компоненты – структурную плотностную и скоростную модели, распределение плотности в структурной плотностной модели, компенсирующее остаточную невязку.

Рассмотрим программные продукты, позволяющие решать обратные задачи гравиразведки. На начальном этапе развития методов решения обратных задач гравиразведки участниками научной школы были созданы программные средства Sigma, Gran, позволяющие решать плотностные и структурные обратные задачи методом подбора. Затем была разработана автоматизированная система профильной комплексной интерпретации грави-сейсмических данных GCIS (совместно с Петровским А.А.) [12], позволяющая решать обратные задачи гравиразведки и сейсмозазведки на основе комплексной интерпретации геофизических данных. Далее была разработана технология интегрированной инверсии геофизических полей для формирования моделей глубинного строения, реализованная в программных модулях PlayGround, EvDynInversion [13] и программном комплексе GeoVIP [13].

Примеры моделирования. Представим результаты моделирования геологической

среды на примере комплексной интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки на примере площадей Косью-Роговской впадины Предуральяского краевого прогиба.

Геолого-плотностная модель, представленная на рисунке 1, была составлена по линии VI-VI¹ (сейсмические профили 8211-01, 8111-05, 7911-13, 50488-04) в результате комплексной интерпретации гравиразведки и сейсморазведки в *пассивной* форме.

В распределении плотностей на модели отображаются Интинская, Кожимская взбросо-надвиговые структуры и Кочмеская карбонатная платформа с рифами в нижнепермских породах с толщинами 400-500 м, которые замещаются на север, восток, юг депрессионными доманикоидными отложениями. Они перекрыты мергелисто-глинистыми породами, компенсирующими рельеф карбонатной платформы, и отображаются на плотностном разрезе аномалиями пониженной плотности до 2.66 г/см³. Характер дислокаций Интинско-Лемвинской складчатой зоны находит свое отражение в виде плотностных зон со значениями до 2.68 г/см³.

Расхождение в значениях рассчитанного и наблюдаемого гравитационного поля в ре-

зультате решения обратной плотностной задачи гравиразведки составило 0,86 мГал, что является допустимым.

Геоплотностная модель (рис. 2) по региональному профилю 13РС, расположенному в центральной части Косью-Роговской впадины, соединяет Берганты-Мыльскую структуру и структуры Прилемвинской складчато-покровной зоны. На графике поля силы тяжести отмечается уменьшение значений Δg в восточном направлении.

Положительные структурные единицы – Берганты-Мыльская структура и Прилемвинский вал – хорошо отображаются в гравитационном поле. Терригенный комплекс, включающий породы пермской системы, дифференцирован плотностными границами, имеет складчатый характер, и его складки согласуются со складками нижележащего карбонатного комплекса. В карбонатном комплексе следует обратить внимание на изменение плотностей на Берганты-Мыльской структуре (2,72-2,76 г/см³), что соответствует изменению разреза доманиково-фаменской Нерцетинской атолловидной постройки, замещаемой менее плотными глинисто-мергелистыми породами.

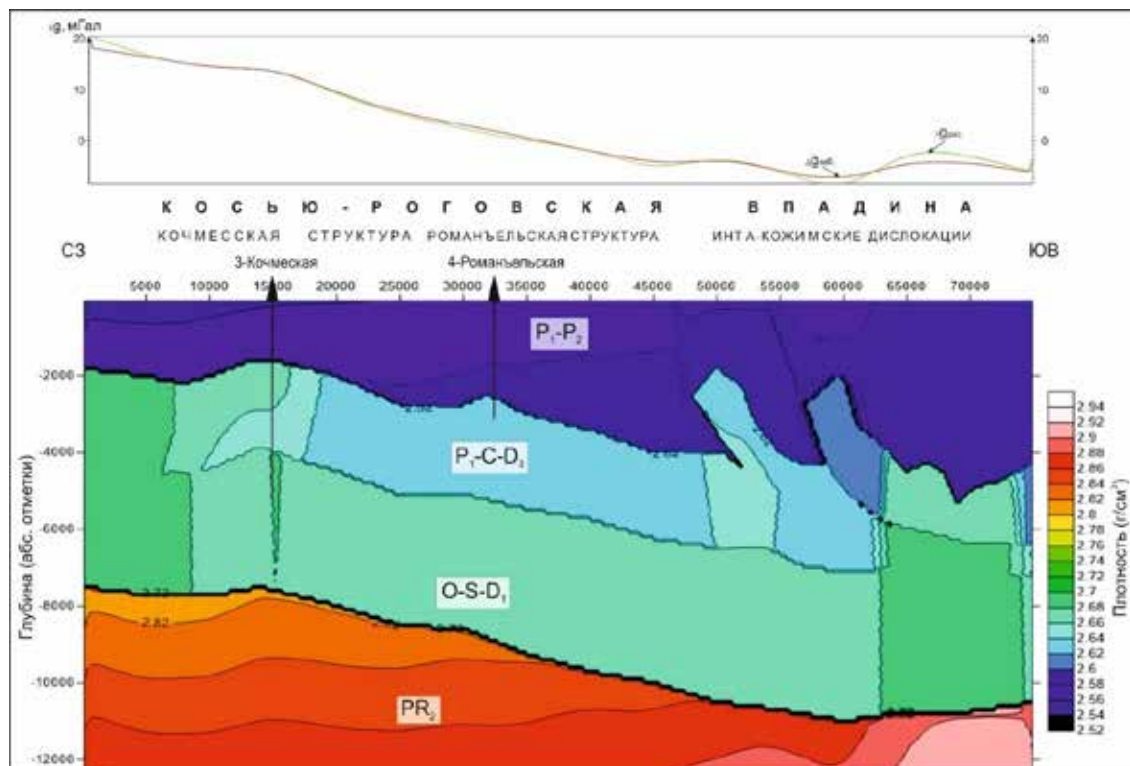


Рис. 1. Геоплотностная модель по региональному профилю 12РС

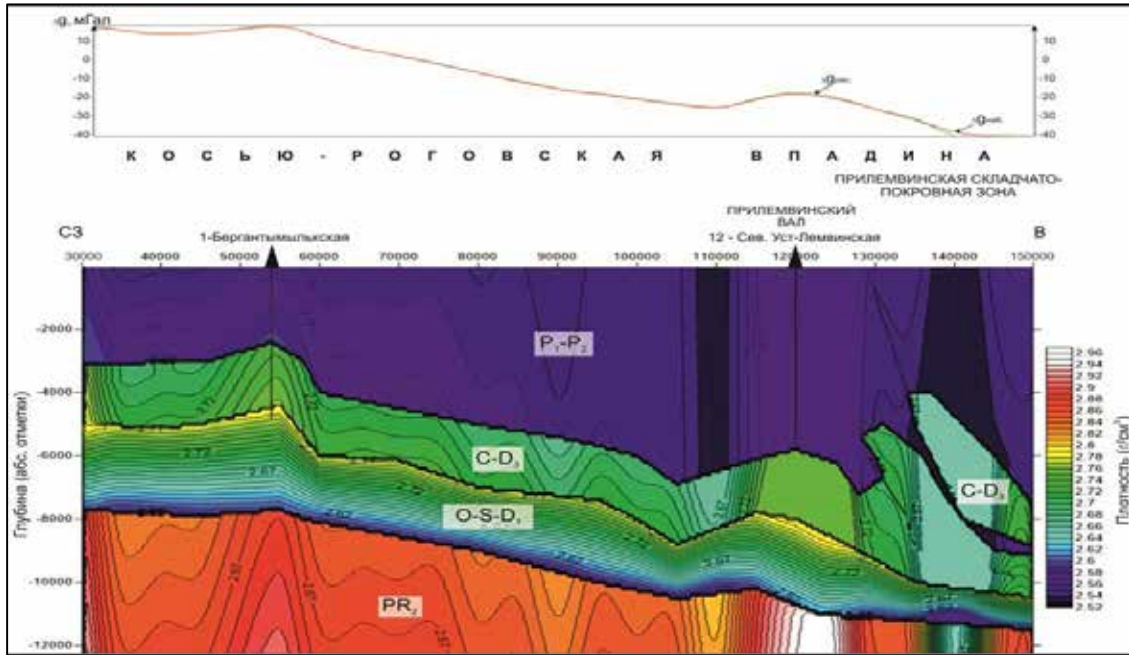


Рис. 2. Геоплотностная модель по региональному профилю 13РС

Прилемвинский вал содержит рифовые постройки верхнего девона-карбона, в которых плотности изменяются за счет чередования плотных и пористо-кавернозных пород (от 2,72 до 2,78 г/см³). Ордовикско-нижнедевонский, терригенно-карбонатный комплекс на плотностной модели характеризуется высоким градиентом плотности от 2,54-2,62 г/см³ в нижней части разреза (отложения ордовика) до 2,72-2,78 г/см³ – в верхней. Комплекс протерозойских отложений собран в складки, которые иногда имеют вид тектонических блоков, плотность пород в которых превышает 2,90 г/см³. Невязка между рассчитанным и наблюдаемым гравитационным полем в результате решения обратной задачи гравиразведки составила 1,05 мГал.

Выполненные в результате профильного моделирования плотностные модели интерполировались по данным сети профилей. Для уточнения поведения литологических толщ и выделения аномальных плотностных участков было выполнено вычисление пространственного гравитационного эффекта от всей толщи осадочного чехла и фундамента. Полученные геоплотностные срезы показывают в площадном виде распределение плотности в различных структурно-тектонических единицах.

При построении и интерпретации полученных срезов и геоплотностных моделей были использованы структурные карты: по кровле карбонатов, подошве визейского яруса нижнего карбона, подошве доманиковского горизонта верхнего девона, кровле фундамента, также геолого-геофизические разрезы по региональным и сейсмическим профилям.

Пример плотностного среза с отметкой -1500 метров показан на рисунке 3. Центральная и восточная часть занята областью развития пермских терригенных осадков, характеризующихся пониженными значениями плотности 2,5-2,58 г/см³, что показывает преимущественное развитие терригенных пород, сменяемых на западе карбонатными отложениями гряды Чернышева.

В северо-восточной части наблюдается участок с повышенными плотностными характеристиками до 2,7-2,74 г/см³, относимый к Воркутскому поперечному поднятию, Ярвожской структуре, и характеризует породы нижнепермско-каменноугольного возраста. Северо-западная часть исследуемой территории охватывает гряду Чернышева, разрез осадочного чехла которой на этой отметке составляют отложения карбонатного комплекса плотностью 2,68-2,76 г/см³. На представленном срезе отобразились элементы рельефа пластов в нижнепермских терригенных отложениях.

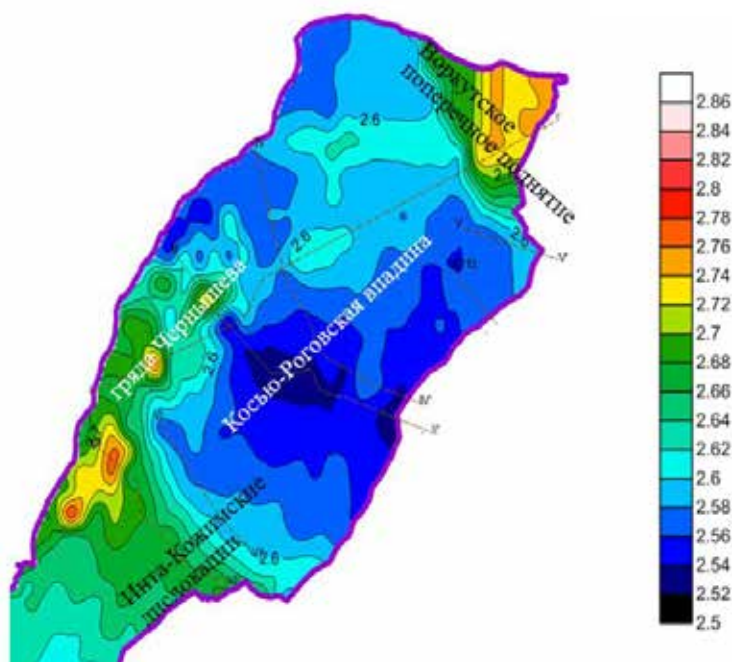


Рис. 3. Срез на глубине 1500 м

Отчетливо прослеживается перемычка (седловина) между грядой Чернышева и Кожимским поднятием Приполярного Урала, в которой ниже по разрезу сосредоточены открытые месторождения углеводородов Кочмесской ступени и Инта-Кожимских дислокаций. Седловиной менее плотных пород соединены гряда Чернышева, Берганты-Мыльская структура, Верхнероговское поднятие и Воркутское поперечное поднятие. Внутренний борт Косью-Роговской впадины занимает Восточно-Лемвинская складчато-покровная зона, сложенная породами Лемвинского аллохтона. Аномальной плотностной зоной со значениями 2,6-2,62 г/см³ отмечается участок нижнепермских отложений между южным окончанием гряды Чернышева и Интинской складчато-чешуйчатой зоной, что связано с развитием взбросов и взбросо-надвигов.

Заключение

В работе проведен анализ видов моделей геологической среды, используемых для ее изучения. Описаны принципы моделирования, особенности построения ФГМ. Представлены используемые в УГТУ программные продукты, позволяющие строить ФГМ на основе совместного решения задач гравиразведки

и сейсморазведки. Приведены результаты моделирования с использованием указанных продуктов. При решении обратных задач (гравиразведки) в данной работе использовался интегральный критерий оптимальности и критерий, основанный на нечетком представлении данных. Полученные таким образом модели позволяют уточнять строение территории и определять области и зоны плотностных неоднородностей, влияющие на формирование залежей углеводородов.

Список литературы

1. Корбунов А.И. Математические основы теории интерпретации геофизических данных: учебное пособие. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 286 с.
2. Korbunov A.I. Mathematical foundations of the theory of interpretation of geophysical data: textbook. M.: TsentrLitNefteGaz, 2008. 286 p. (in Russian).
3. Рыскин М.И. Физико-геологическое моделирование как основа интерпретации данных // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14. Вып. 1. С. 87-96.
4. Ryskin M.I. Physical-geological modeling as a basis for data interpretation // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle. 2014. T. 14. Vol 1. P. 87-96 (in Russian).
5. Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Максимов Г.А., Подъячев Е.В., Дерев А.В. О подходе к трехмерному математическому моделированию сложной геологической среды с разрывами для визуализации и решения прямых и обратных задач геофизики // Научная визуализация. 2010. Т. 2. № 2. С. 20-33.

- Larichev V.A., Lesonen D.N., Maksimov G.A., Podyachev E.V., Derov A.V. On an approach to three-dimensional mathematical modeling of a complex geological environment with discontinuities for visualization and solving direct and inverse problems of geophysics // *Scientific Visualization*. 2010. V. 2. № 2. P. 20-33 (in Russian).
4. Кобрунов А.И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике (избранные главы). В 2-х ч. Ч. 1. Функционально-аналитические основы: учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2014. 224 с.
- Kobrunov A.I. Mathematical modeling methods in applied geophysics (selected chapters). In 2 hours. Part 1. Functional-analytical foundations: uchebnoye posobiye. Ukhta: UGTU, 2014. 224 p. (in Russian).
5. Михайлова С.В. Анализ сейсмических атрибутов – комплексный подход при концептуальном моделировании // *ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти*. 2018. № 2 (8). С. 31-35.
- Mikhailova S.V. Analysis of seismic attributes – an integrated approach to conceptual modeling // *PRONEFT. Professional no o nefiti*. 2018. № 2 (8). P. 31-35 (in Russian).
6. Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н. Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных с целью выделения рифогенных построек Верхне-Печорской впадины // *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сборник научных трудов по материалам 46-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского*. 2019. С. 63-67.
- Veltistova O.M., Motryuk E.N. Complex interpretation of geological and geophysical data in order to identify reef structures in the Upper Pechora depression // *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: sbornik nauchnykh trudov po materialam 46-y sessii Mezhdunarodnogo seminarina im. D.G. Uspenskogo*. 2019. P. 63-67 (in Russian).
7. Кобрунов А.И., Куделин С.Г., Мотрюк Е.Н. Интегрированная среда физико-геологического моделирования на основе системной инверсии: монография. Ухта: УГТУ, 2015. 90 с.
- Kobrunov A.I., Kudelin S.G., Motryuk E.N. Integrated environment for physical and geological modeling based on system inversion: monografiya. Ukhta: UGTU, 2015. 90 p. (in Russian).
8. Кобрунов А.И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике (избранные главы) в 2-х частях. Ч. 2. Системный анализ и моделирование в условиях неопределенности. Ухта: УГТУ, 2014. 154 с.
- Kobrunov A.I. Mathematical modeling methods in applied geophysics (selected chapters) in 2 parts. Part 2. System Analysis and Modeling under Uncertainty. Ukhta: UGTU, 2014. 154 p. (in Russian).
9. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of*. 1974. T. 121. Vol. 12. P. 1585-1588.
10. Кобрунов А.И., Мотрюк Е.Н. Использование функций принадлежности параметров модели и критерии оптимальности при решении обратных задач гравиметрии // *Успехи современной науки и образования*. 2017. Т. 5. № 2. С. 196-201.
- Kobrunov A.I., Motryuk E.N. Using membership functions of model parameters and optimality criteria in solving inverse problems of gravimetry // *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya*. 2017. Vol. 5. № 2. P. 196-201 (in Russian).
11. Куделин С.Г., Барабанов М.И., Кобрунов А.И. Программный редактор «GEOVIP» как компонент среды физико-геологического моделирования на основе системной инверсии // *Информационные технологии в управлении и экономике*. 2012. № 3 (03). С. 18-26.
- Kudelin S.G., Barabanov M.I., Kobrunov A.I. Software editor “GEOVIP” as a component of the physical and geological modeling environment based on system inversion // *Informatsionnyye tekhnologii v upravlenii i ekonomike*. 2012. № 3 (03). P. 18-26 (in Russian).
12. Кобрунов А.И., Петровский А.П., Суятинов В.Н. Автоматизированная система GCIS – количественной комплексной интерпретации данных сейсмогравиметрии для персонального компьютера // *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 27 – сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского*. Москва ОИФЗ РАН, 2000. С. 133-136.
- Kobrunov A.I., Petrovsky A.P., Suyatinov V.N. Automated system GCIS – quantitative complex interpretation of seismogravimetry data for a personal computer // *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: materialy 27 – sessii Mezhdunarodnogo seminarina im. D.G. Uspenskogo*. Moskva OIFZ RAN, 2000. P. 133-136 (in Russian).
13. Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н. Современные отечественные программные комплексы интерпретации гравимагнитных данных // *Известия КОМИ научного центра УРО РАН*. 2013. № 3 (15). С. 70-80.
- Veltistova O.M., Motryuk E.N. Modern domestic software systems for the interpretation of gravimagnetic data // *Izvestiya KOMI nauchnogo tsentra URO RAN*. 2013. № 3 (15). P. 70-80 (in Russian).