

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 553.982

M. Lubkov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, tel.: 0955395389
Poltava Gravimetric Observatory of NASU

ESTIMATION OF FILLING PROCESSES IN THE GAS CAP OF GEOSOLITON FIELD

(Представлено членами редакційної колегії д-ом фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. І. М. Корчагіним та д-ом фіз.-мат. наук, проф. Б. П. Масловим)

Recently the efficiency of oil-gas deposits exploration has been closely connected with understanding of processes forming of such deposits. In forming, transferring and accumulation processes of hydrocarbons, the important role has mechanism of its vertical migrations. Among models in which such mechanisms were presented, geosoliton conception is well-known enough. Geosoliton conception is in well agreement with many of geologic and cosmogonic ideas. It unites principals of biogenic and abiogenic hypothesis of hydrocarbons forming, which come from mantle in composition of hot high-pressure fluids. The fluids come through the crack-pour faults in the central channel part of geosoliton. The abnormal high pressure of accumulated gases in the central part of geosoliton leads to their penetration in collector reservoirs. At that place deposit geosoliton system is forming. It consists of the gas caps, oil collars and reservoir water in the periphery.

Purpose. Estimation of filling processes in the gas cap of geosoliton field.

Methodology. To resolve the nonstationary piezoconductivity problem we use combined computer method consisting of variation finite element method and method of finite differences.

Findings. As a result of the research, filling process of the gas cap essentially depends on filtration parameters of considering porous reservoir, its size and characteristic fishes of the filling origins. Filling gas cap velocity mainly determined by origins power and less depends on their sizes and quantity. In the subsequent stages of filling, the pressure gradually aligns in all reservoir places and then regularly increases.

Originality. Presented method has some advantages in comparison with other similar methods. It enables calculating different reservoir filtration parameters and using manifold boundary conditions.

Practical value. The obtained results allow making gas production process in gas-condensate reservoirs more effectively.

Keywords: computer modeling, geosoliton field, gas reservoir filling process.

Introduction. In our days, the efficiency of oil-gas deposits exploration is closely connected with realizing of processes forming of such deposits. In forming, transferring and accumulation processes of hydrocarbons, the important role has mechanism of its vertical migrations. Among models in which such mechanisms are presented, geosoliton conception (fig. 1) is famous enough (Megerya, 2009; Megerya, 2011; Megerya et al., 2012).

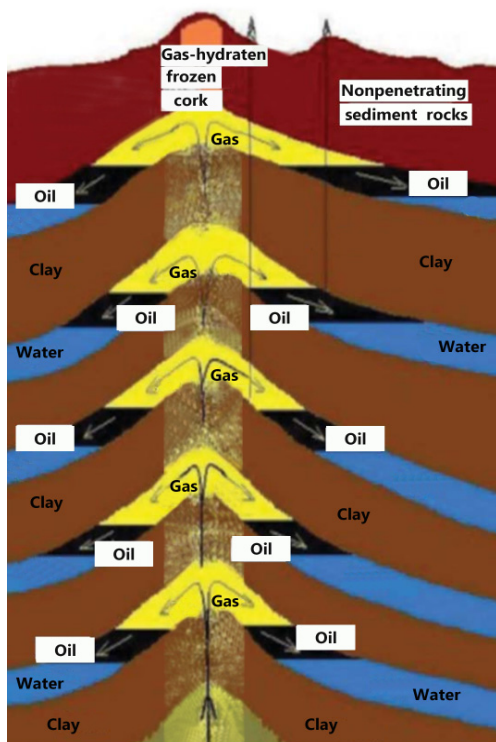


Fig. 1. Typical geosoliton structure

Geosoliton conception is in well agreement with many of geologic and cosmogonic ideas. It unites principals of biogenic and abiogenic hypothesis of hydrocarbons forming,

which come from mantle in composition of hot high-pressure fluids. On the other hand, under influence of hot fluids transformation of organic substance of sedimentary rocks into hydrocarbons is going out. The central vertical fault geosoliton pipe is the main element of energy mass transferring processes. It forms positive geostructure for pumping out oil-gas phase in its axing part. The abnormal high pressure of accumulated fluids and gases in the central axing part of geosoliton pipe leads to their penetration in collector reservoirs. At that place geosoliton deposit system is forming. It consists of the gas caps, oil collars and reservoir water in the periphery.

It is interesting to investigate the filling processes of the gas cap of geosoliton field. It is actual problem which can give lots of important practical results. Such information can be useful for revealing the real structure of the gas cap of geosoliton field and respectively to localize more accurately the places of gas-condensate deposits concentration. Further, we consider modeling of the filling processes of the gas cap of geosoliton on the base of Lebonson piezoconductivity equation, describing gas pressure distribution in this place (Aziz and Settary, 2004; Basniev et al., 2003; Lubkov, 2017). To resolve the nonstationary piezoconductivity problem we use combined computer method consisting of variation finite element method and method of finite differences (Lubkov, 2017). Presented method has some advantages in comparison with other similar methods, because it enables calculating of heterogeneous reservoir filtration parameters, different fluid-gas origins and complicated border conditions. Furthermore, it has high precision and can be easily adapted for different practical cases.

Mathematical formulation and solving problem. We suggest that horizontal sizes of investigating area of the porous gas accommodating layer are considerably larger than average effective thickness of the layer. At that case, we can use the ordinary formulation of the plane nonstationary piezoconductivity Lebonson problem in rectangular axes (X, Y) as:

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \chi \left(\frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P^2}{\partial y^2} \right) + \gamma; \quad (1)$$

$$P(t=0) = P_0; \quad (2)$$

$$k^2 \text{grad} P^2 = \alpha^2 (P^2 - P_b^2). \quad (3)$$

Here (1) – nonstationary piezoconductivity Lebenson equation; (2) – initial condition; (3) – condition of the gas overflow in the reservoir borders; $P(x,y,t)$ – pressure, as function of coordinates and time; $\chi = kP_0 / m\eta$ – coefficient of piezoconductivity; k – coefficient of permeability; η – dynamic viscosity; m – porosity environment coefficient; P_0 – initial pressure of the porous layer; P_b – pressure in the

border of investigating area; α – coefficient of the gas penetration in the border of reservoir; γ – integration parameter of geosoliton gas origin.

For resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem, we use variation finite element method, which leads to the solving of variation piezoconductivity equation:

$$\delta I(P) = 0. \quad (4)$$

Here $I(P)$ – functional of piezoconductivity Lebenson problem (1) – (3), which after substitution $\tilde{P} = P^2$ can be presented as (Lubkov, 2017):

$$I(\tilde{P}) = \frac{1}{2} \iint_S \left\{ k^2 \left[\left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} \right)^2 \right] + 2 \int_{P_0}^{\tilde{P}} \frac{k}{\chi} d\tilde{P} - 2\chi \tilde{P} \right\} dx dy - \frac{1}{2} \int_L \alpha^2 (\tilde{P} - 2\tilde{P}_b) \tilde{P} dl; \quad (5)$$

here S – the square of investigating area; L – contour, which surrounds the square S , dl – element of the contour.

For resolving variation equation (4) we use eight-nodal isoparametric quadrangular finite element (Obraczow et al., 1985). As global coordinate system, where we unit all finite elements of investigating area S , rectangular system (X, Y) is used. As local coordinate system, where in limits of

every finite element we define approximation functions φ_i and make numerical integration, normalizing coordinate system (ξ, η) is used. In that system coordinates, pressure, initial pressure, pressure in the border of investigating area, coefficient of gas overflow in the reservoir border and derivatives of pressure on coordinates approximated in such way:

$$x = \sum_{i=1}^8 x_i \varphi_i; y = \sum_{i=1}^8 y_i \varphi_i; \tilde{P} = \sum_{i=1}^8 P_i \varphi_i; \tilde{P}_0 = \sum_{i=1}^8 P_{0i} \varphi_i; \tilde{P}_b = \sum_{i=1}^8 P_{bi} \varphi_i; \alpha^2 = \sum_{i=1}^8 \alpha_i \varphi_i;$$

$$\frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} = \sum_{i=1}^8 P_i \Psi_i; \frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} = \sum_{i=1}^8 P_i \Phi_i; \Psi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} \right); \Phi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right); \quad (6)$$

where $J = \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi}$ – Jacobian matrix between systems (x, y) and (ξ, η) .

Following to variation equation (4) and suggesting, that nodal meanings from derivatives of pressure on time $\frac{dP_i}{dt}$ known values and cannot be varied, we get system of differential equations for k – nodal of p – finite element in such view:

$$\frac{\partial I_p}{\partial P_k} = \sum_{i=1}^8 \left\{ H_{ki}^p \frac{dP_i}{dt} + (A_{ki}^p + Q_{ki}^p) P_i - Q_{ki}^p P_0^i \right\} = 0;$$

$$H_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{k^p}{\chi^p} \varphi_i \varphi_j |J| d\xi d\eta; A_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 k^p (\Psi_i \Psi_j + \Phi_i \Phi_j) |J| d\xi d\eta; Q_{ij}^p = \int_L \alpha \varphi_i \varphi_j dl. \quad (7)$$

For resolving the system of linear differential equations of the first order (7) at initial conditions (6) we use method of finite differences. At that, approximation of derivative in time we can realize on the base of implicit differential scheme:

$$\frac{d\tilde{P}}{dt} = \frac{\tilde{P}(t + \Delta t) - \tilde{P}(t)}{\Delta t}. \quad (8)$$

Putting expression (8) into the system (7), we obtain the next system of linear algebraic equations:

$$\sum_{i=1}^8 \left\{ \left(\frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p + A_{ki}^p + Q_{ki}^p \right) P_i(t + \Delta t) - \frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p P_i(t) - Q_{ki}^p P_0^i \right\} = 0$$

$$(k = 1 - 8). \quad (9)$$

After summing equations (9) at all finite elements, we obtain the global system of linear algebraic equations, which allows defining unknown meanings of pressure at the moment of time $t + \Delta t$ via their meanings at previous moment t . Further, we resolve the global system equations on the base of Gauss numerical method (Obraczow et al., 1985). Due to the system solving, we can define pressure at all nodes of the finite element net. Therefore, we can determine reservoir pressure in any points of investigating porous reservoir.

Modeling of filling processes of the gas cap of geosoliton fields. In modeling, we consider the area of geosoliton gas cap with sizes $6 \times 4 \text{ km}^2$. We choose some characteristic parameters of the gas porous medium: $k = 0,12 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$; $\eta = 0,18 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $m = 0,15$; $P_0 = 1 \text{ MPa}$, at

that case coefficient of piezoconductivity $\gamma\chi = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. We suggest not penetrating processes in the boundaries of gas cap reservoir $\alpha = 0$. Firstly, we consider the case of filling of the gas cap in geosoliton by one origin with the size of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2 \text{ day}$. In the fig. 2, a-d – we can see the process of filling of the gas cap of geosoliton.

Further, we consider the process of filling of gas cap of geosoliton with different number of the same origins with the sizes of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2 \text{ day}$, over one month (fig. 3).

Then, we consider the process of filling of gas cap of geosoliton by origin with the size of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2$ per a day and distinctive power one, over one month (fig. 4).

Conclusions. The elaborated combined finite element – difference method allows resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem with predetermined border conditions and origins into heterogeneous porous fields. On the base of obtained method, we carried out computer modeling of the filling process of gas cap of geosoliton field. According to obtained data analysis, filling process of the gas cap essentially depends on filtration parameters of considering porous reservoir, its size and characteristic features of the filling origins. Filling gas cap velocity is mainly determined by origins power and less depends on their sizes and quantity. At the case of equal power origins, the filling gas cap velocity is proportional to the power of these origins. In case, when different power

origins act, the filling gas cap process passes irregularly. At the initial stages of filling process, excess pressure reservoir places closely correlate with the origins installation. As the gas cap origins of geosoliton mainly formed by its central vertical channels, so the places of increasing pressure in a greater degree are forming in central part of the field. In the subsequent stages of filling process, the pressure gradually

aligns in all reservoir places and then regularly increases. As calculations show, regular filling of the whole gas cap region comes approximately over one hundred years since beginning of the process.

One can use obtained results for exploration and affective productivity in the gas-condensate fields.

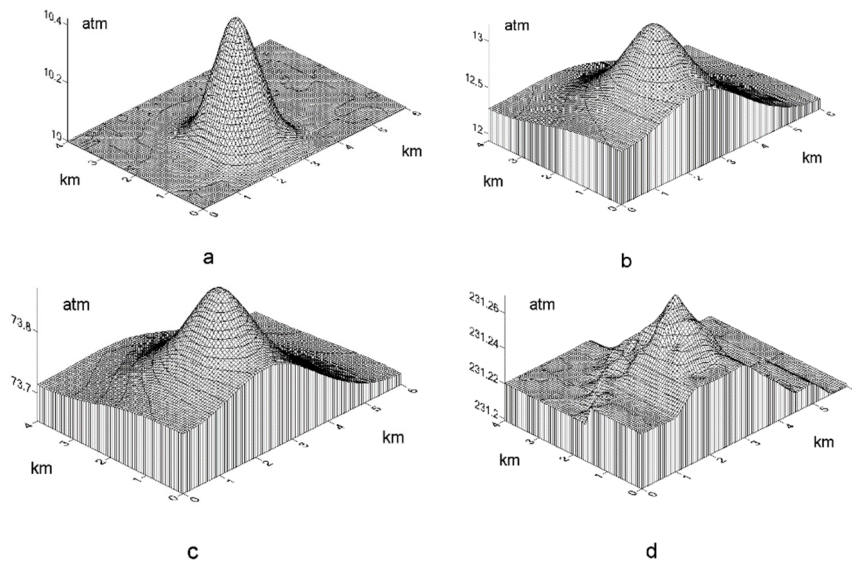


Fig. 2. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with one origin, over:
(a) one month; (b) one year; (c) 1000 years; (d) 10000 years

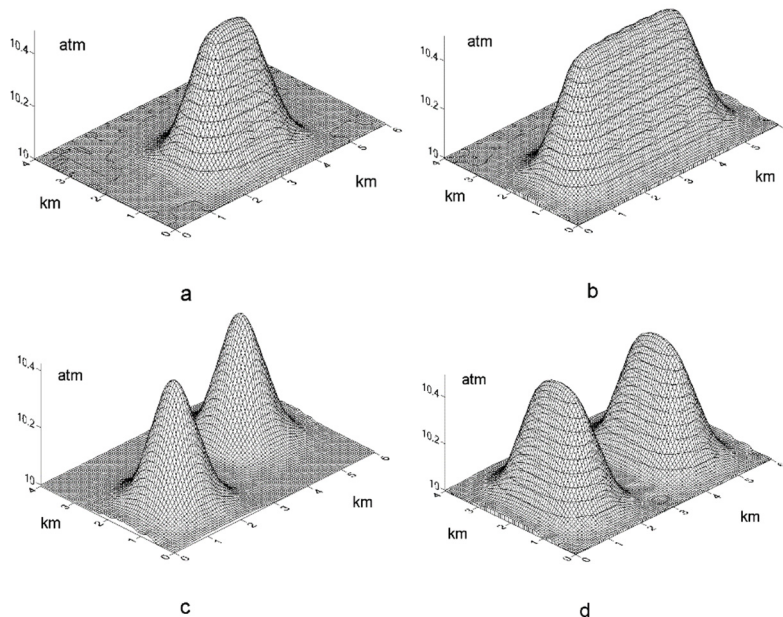


Fig. 3. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with different number of the same power origins over one month:
(a) two close origins; (b) four close origins; (c) two single origins; (d) two double origins

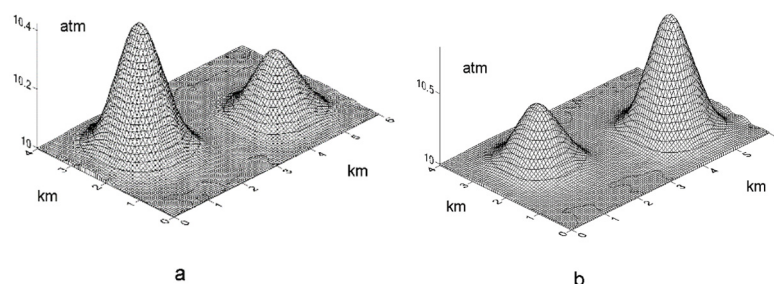


Fig. 4. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with two single origins by different power over one month:
(a) the mentioned and twice smaller power; (b) the mentioned and twice larger power

Список використаних джерел

- Азиз, Х., Сеттари, Э. (2004). Математическое моделирование пластовых систем. Москва: Ин-т компьютер. исслед.
- Басниев, К. С., Дмитриев, Н. М., Розенберг, Г. Д. (2003). Нефтегазовая гидромеханика: учебное пособие для вузов. Москва: Ин-т компьютер. исслед.
- Лубков, М. В. (2017). Моделивання процесів фільтрації на межах газоконденсатних родовищ. *Збірник наукових праць X-Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки"*. Полтава, 167-173.
- Меґеря, В. М. (2009). Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией. Москва: Локус Станди.
- Меґеря, В. М. (2011). Поиск и разведка месторождений УВ, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли на базе сейсмовидени. *Геофизика*, 1, 67-74.
- Меґеря, В. М., Филатов, В. Г., Старостенко, В. И., Корчагин, И. Н., Лобанов, А. М., Гласко, Ю. В., Волоцков, М. Ю., Скачков, С. А. (2012). Геосолитонная концепция образования углеводородов и возможности и перспективы применения несейсмических методов для поисков их скопления. *Геофизический журнал*, 3(36), 4 – 21.
- Образцов, И. Ф., Савельев, Л. М., Хазанов, Х. С. (1985). Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. Москва: Высшая школа.

References

- Aziz, X., Settari, E. (2004). Mathematical modeling of reservoir systems. Moscow: In-t of computer investigations.
- Basniev K. S., Dmitriev N. M., Rozenberg G. D. (2003) Oil-gas gidromechanics: study allowance for high school. Moscow: In-t of computer investigations. [in Russian]
- Lubkov, M. V. (2017). Modeling of filtration properties in the boundaries of gas-condensate fields. *Scientific proceedings of X-International scientific-practical conference "Problems and perspectives of development of academic and university science"*-Poltava, 167-173. [In Ukrainian]
- Megerya, V. M. (2009). Research and exploration of hydrocarbon deposits controlled by geosoliton degassing processes. Moscow: Locus Standby. [in Russian]
- Megerya, V. M. (2011). Research and exploration of hydrocarbon deposits controlled by geosoliton degassing of the earth on the base of seismoview. *Geophysics*, 1, 67-74. [in Russian]
- Megerya, V. M., Filatov, V. G., Starostenko, V. I., Korchagin, I. N., Lobanov, A. M., Glasko, J. V., Volotskov, M. J., Skachkov, S. A. (2012). Geosoliton conception of hydrocarbons forming and perspectives of no seismic methods application for its accumulation places searching. *Geophysical Journal*, 3(36), 4-21. [in Russian]
- Obrazcov, I. F., Savel'ev, L. M., Hazanov, H. S. (1985). Finite element method of building mechanics and mechanics of flying apparatuses. Moscow: High School. [in Russian]

Надійшла до редколегії 19.10.18

М. Лубков, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, тел.: 0955395389
Полтавська гравіметрична обсерваторія НАНУ
вул. Мясоедова, 27/29, м. Полтава, 36014, Україна

ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ ГАЗОВОГО КОВПАКА ГЕОСОЛІТОННОГО РОДОВИЩА

Останнім часом ефективність розвідки нафтогазових родовищ тісно пов'язана з розумінням процесів утворення таких родовищ. При формуванні, перенесенні та накопиченні вуглеводнів важливу роль має механізм їхніх вертикальних міграцій. Серед моделей, в яких представлено такі механізми, геосолітонна концепція є досить відомою. Геосолітонна концепція добре узгоджується з багатьма геологічними і космогонічними ідеями. Вона об'єднує принципи біогенної та абіогенної гіпотез утворення вуглеводнів, які надходять з мантиї у складі гарячих флюїдів високого тиску. Флюїди проходять через щільні розломи в центральній частині каналу геосолітона. Аномально високий тиск накопичених газів у центральній частині геосолітона призводить до їхнього проникнення в колекторські резервуари. У цьому місці формується геосолітонна система вуглеводневих покладів. Вона складається з газових ковпаків, нафтових рукавів і води на периферії.

Мета. Оцінка процесів заповнення в газовому ковпаку геосолітонного родовища.

Методологія. Для вирішення нестационарної задачі п'єзопровідності використовується комбінований комп'ютерний метод, що складається з варіаційного методу скінченних елементів і методу скінченних різниць.

Висновки. Результати досліджень показують, що процес заповнення газового ковпака істотно залежить від параметрів фільтрації розглянутого пористого резервуара, його розміру і характерних властивостей джерел заповнення. Швидкість заповнення газового ковпака в основному визначається потужністю джерел і менше залежить від їхніх розмірів і кількості. На наступних етапах заповнення тиск поступово зростає в усіх місцях колектора, а потім регулярно збільшується.

Оригінальність. Представлений метод має деякі переваги порівняно з іншими аналогічними методами, він дозволяє враховувати різні параметри фільтрації колектора і задавати різноманітні граничні умови.

Практична цінність. Отримані результати дозволяють ефективніше проводити процес видобутку газу в газоконденсатних пластах.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, геосолітонне родовище, процес заповнення пласта газом.

М. Лубков, д-р фіз.-мат. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, тел.: 0955395389
Полтавская гравиметрическая обсерватория НАНУ
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36014, Украина

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ ГАЗОВОГО КОЛПАКА ГЕОСОЛИТОННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В последнее время эффективность разведки нефтегазовых месторождений тесно связана с пониманием процессов образования таких месторождений. При формировании, переносе и накоплении углеводородов важную роль имеет механизм их вертикальных миграций. Среди моделей, в которых представлены такие механизмы, геосолитонная концепция достаточно известна. Геосолитонная концепция хорошо согласуется со многими геологическими и космогоническими идеями. Она объединяет принципы биогенной и абигенной гипотез образования углеводородов, которые поступают из мантии в составе горячих флюидов под высоким давлением. Флюиды проходят через щелевые разломы в центральной части канала геосолитона. Аномально высокое давление накопленных газов в центральной части геосолитона приводит к их проникновению в коллекторские резервуары. В этом месте формируется геосолитонная система углеводородных залежей. Она состоит из газовых колпаков, нефтяных рукавов и воды на периферии.

Цель. Оценка процессов заполнения в газовом колпаке геосолитонного месторождения.

Методология. Для решения нестационарной задачи пьезоупругости используется комбинированный компьютерный метод, состоящий из вариационного метода конечных элементов и метода конечных разностей.

Выводы. Результаты исследований показывают, что процесс заполнения газового колпака существенно зависит от параметров фильтрации рассматриваемого пористого резервуара, его размера и характерных свойств источников наполнения. Скорость наполнения газового колпака в основном определяется мощностью источников и в меньшей степени зависит от их размеров и количества. На последующих этапах наполнения давление постепенно выравнивается по всей области колектора, а затем регулярно увеличивается.

Оригинальность. Представленный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими аналогичными методами, он позволяет учитывать различные параметры фильтрации колектора и задавать разнообразные граничные условия.

Практическая ценность. Полученные результаты способствуют более эффективному процессу добычи газа в газоконденсатных пластах.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, геосолитонное месторождение, процесс наполнения пласта газом.