

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 307 (2016), 127 – 132

SOME ASPECTS OF FORMATION OF DEEP SALT DIAPIRISM**A.A. Baymukhametov, N.I. Martynov,
M.A. Ramazanova, A.G. Tanirbergenov, B.A. Tanirbergenov**Institute of mathematics and mathematical modeling of CS MES RK, Almaty
nikmar50@mail.ru

Keywords: salt diaper, crust, sedimentary cover, thermal stream, thermogradient, gravitational instability, convection.

Abstract. Some regularities and features of process of formation of a deep salt diapirism based on results of numerical modeling are discussed. It is shown that under certain conditions heterogeneity of a thermal stream from the lower horizons of crust formation of salt columns is possible. Exponential dependence of dynamic viscosity on temperature leads to formation of salt domes with "similar leaf of a tree" structure.

УДК 551.24

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБИННОГО
СОЛЯНОГО ДИАПИРИЗМА****А.А.Баймухаметов, Н.И.Мартынов,
М.А.Рамазанова, А.Г.Танирбергенев, Б.А.Танирбергенев**

Институт математики и математического моделирования КН МОН РК, Алматы

Ключевые слова: соляной диапир, земная кора, осадочный чехол, тепловой поток, термоградиент, гравитационная неустойчивость, конвекция.

Аннотация. Обсуждаются некоторые закономерности и особенности процесса формирования глубинного соляного диапиризма, основанные на результатах численного моделирования. Показано, что при определенных условиях неоднородности теплового потока с нижних горизонтов земной коры возможно образование соляных столбов. Экспоненциальная зависимость динамической вязкости от температуры приводит к образованию соляных куполов с «листьяобразной» структурой.

Введение. Более 70% мировых месторождений нефти и газа приходится на области соляно-купольной тектоники. Формирование месторождений углеводородов, их распределение в пространстве и во времени происходит в неразрывной связи и под влиянием формирования соляно-купольных структур, изучению которых посвящены геолого-геофизические изыскания, лабораторные и теоретические исследования [1-18].

В последнее время получены принципиально новые теоретические, экспериментальные и натурные данные, подтверждающие гипотезу Д.И. Менделеева о неорганическом происхождении нефти и указывающие на перспективу ее поиска и добычи на больших глубинах. Это выдвигает новые требования при численном моделировании формирования глубинного соляного диапиризма на физическую, математическую и дискретную модели. Такие модели, учитывающие тепловые эффекты и экспоненциальную зависимость динамической вязкости от температуры на основе Релей-Тейлоровской неустойчивости в приближении Буссинеска, разработаны и обоснованы в работах [19, 20].

По всей видимости, первые работы этого направления [21-28], учитывающие влияние тепловых потоков на формирование соляных диапиров, выполнены сравнительно недавно, в Казахстане. В них динамическая вязкость предполагалась независимой от температуры. Тем не менее, подобная модель позволила установить существенное влияние термоградиентов на формирование соляно-купольной тектоники. Следует также отметить, что работы, базирующиеся на более общей тепловой модели, учитывающей экспоненциальную зависимость динамической вязкости от температуры, практически отсутствуют в открытой мировой печати.

В настоящем исследовании приводятся некоторые результаты численного моделирования на основе общей тепловой модели формирования глубинного соляного диапиризма, обсуждаются некоторые закономерности и особенности его формирования.

1. О некоторых закономерностях формирования соляных диапиров. Работы [21-24] посвящены исследованию влияния тепловых потоков на формирование глубинного соляного диапиризма, а работы [24-28] исследованию формирования коллекторов (нефтегазовых ловушек) нефти и газа на основе упрощенной тепловой модели.

Было установлено, что температурные градиенты существенно влияют на структуру и профили формирования соляных куполов. Они также существенно влияют на профили формирования подсолевого ложа (подкупольного пространства). В работах [21-24] оценивалось напряженное состояние. Расчеты показали, что величина компонент напряжений для развитой фазы примерно в 2-2,5 раза больше, чем для менее развитой фазы. Верхняя часть надкупольного пространства и самого купола представлена растягивающими горизонтальными напряжениями и сжимающими вертикальными напряжениями. Нижняя часть купола представлена сжимающими напряжениями. Нижняя центральная часть купола характеризуется примерно одинаковой интенсивностью вертикальных напряжений, а наибольшее различие в интенсивности характерно для её периферийной части. Величина касательных напряжений возрастает в 1-1,5 раза по сравнению с чисто динамической моделью (отсутствуют тепловые потоки), что связано с формированием вихревой зоны. Следует отметить, что распределение напряжений во времени согласуется с механизмом и формированием соляного купола. Аналогичная картина наблюдается в области формирования периферийных куполов. Развитая фаза соляно-купольного диапиризма характеризуется более интенсивными девиаторами касательных напряжений по сравнению с чисто динамической моделью. Отличие местами составляет от 3-х и более раз. При нулевой начальной температуре в осадочном чехле изотермы изгибаются в процессе формирования диапиров, но остаются в теле куполов. Это говорит о том, что процесс гравитационной неустойчивости преобладает над конвекцией.

В работах [24-28] оценивались области формирования нефтегазовых ловушек на основе следующих соображений. На фоне гидростатического давления, обусловленного залеганием слоёв горных пород, процесс формирования соляного диапиризма происходит за счет изменения во времени напряженно-деформируемого состояния слоёв горных пород и сопровождается образованием повышенных и пониженных зон концентраций напряжений и деформаций. Каменная соль (галит) представляет собой достаточно пластичный материал. Осадочный чехол и подсоловое ложе на небольших отрезках времени являются хрупкими горными породами, механизмом разрушения которых являются хрупкое растрескивание (разрушение), сопровождающееся дилатансией. Именно благодаря тому, что горные породы обладают хрупким разрушением, в зонах повышенных концентраций напряжений происходит разрушение с образованием порового пространства, снимаются избыточные напряжения. В результате образуются локальные зоны пониженных напряжений (нефтегазовые ловушки), куда и мигрируют находящиеся в пластах горных пород углеводороды. Отметим, что зоны разрушения осадочного чехла и подкупольного пространства выделялись на основе критерия прочности горных пород по максимальным значениям девиатора касательных напряжений.

Как показали расчеты [24-28], для соляных куполов нефтегазовые ловушки формируются в областях их крыльев (надкрылового и подкрылового пространства), а также в области подкупольного пространства подсолевого ложа, что было обнаружено глубинным бурением соляных куполов. Кроме того, расчеты показали, что области повышенных термоградиентов в осадочном чехле и подсолевоом ложе приурочены к областям повышенных девиаторов касательных напряжений, т.е. к областям коллекторов нефти и газа. Хорошо известно, что величина

геотермического градиента является одним из главных параметров и признаков генерации полезных ископаемых [29]. Повышение температуры на 10°C увеличивает скорость химической реакции в два раза в средах, благоприятных для выделения углеводородных соединений, в том числе нефти. В работе [30] построены карты распределений геотермического градиента верхней части земной коры и теплового потока Казахстана. Анализ этих карт показал, что месторождения Западного Казахстана и акватория Аральского моря расположены в зонах с повышенным уровнем геотермического градиента.

Для общей тепловой модели величины химически-невозмущенных плотностей и динамических вязкостей и прочих параметров выбирались такими же, как и в работах [21-28], включая соответствующие начальные и граничные условия. Энергия активации полагалась $E=20$ кДж/моль, как и в работе [20]. Расчеты показали, что термические градиенты так же существенно влияют как на профили соляных куполов, на их распределение в пространстве, так и на скорость формирования соляных диапиров глубокого залегания. Процесс гравитационной неустойчивости также преобладает над конвекцией. Основные закономерности такие же, как и в случае постоянных динамических вязкостей слоев, но отличаются в количественном отношении. Процесс формирования соляных куполов замедляется в силу того, что динамическая вязкость среды в среднем увеличивается, форма куполов более вытянутая в вертикальном направлении. Области формирования нефтегазовых ловушек немного уменьшаются в своих размерах, но более выражены.

2. Особенности формирования соляных диапиров. На рисунках 1а) -1с) при определенной неоднородности теплового потока с нижних слоев Земли (от трех температурных возмущений теплового потока) показано формирование соляных куполов, которые формируются в виде соляных столбов («соляных пальцев»), рассчитанных на основе упрощенной тепловой модели. Наличие относительно близкорасположенных температурных возмущений теплового потока с нижних горизонтов земной коры и постоянных в каждом слое динамических вязкостей не позволяют сформироваться округлым, грибообразным соляным структурам. Они мешают друг другу сформироваться в грибообразные структуры, но за счет действия архимедовых сил процесс «всплытия» галита продолжается, и как результат, образуются соляные столбы. Ранее образование подобных структур [31] авторами данной работы было объяснено за счет усложненной реологии (вязко-пластичная модель), которая обладает свойствами «продомости» жидкости Вейссемберга.

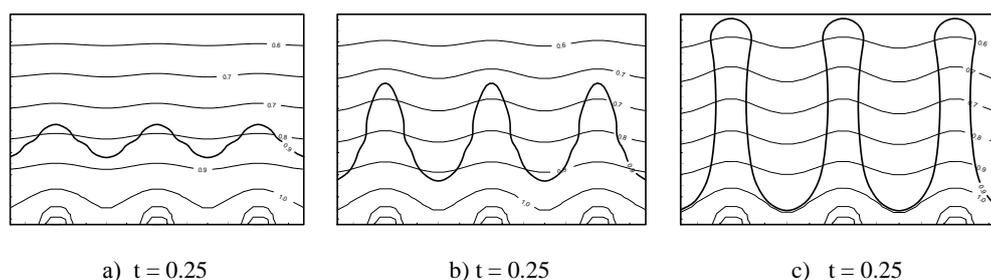


Рисунок 1 – Формирование соляных столбов от трех температурных возмущений теплового потока (при динамической вязкости, независимой от температуры)

На рисунках 2а) – 2с) показано формирование соляных куполов глубокого залегания в различные моменты безразмерного времени, рассчитанных на основе общей тепловой модели. Параметры, начальные и граничные условия выбраны такими же, как и в упрощенной модели (рисунок 1). Из сопоставления рисунков 1а) -1с) и 2а) -2с) видно, что для более общей тепловой модели процесс формирования соляных куполов замедляется, и профили соляных куполов существенно отличаются от профилей соляных столбов. Связано это с тем, что динамическая вязкость за счет действия температуры с высотой увеличивается, и процесс внедрения легкой жидкости в тяжелую происходит

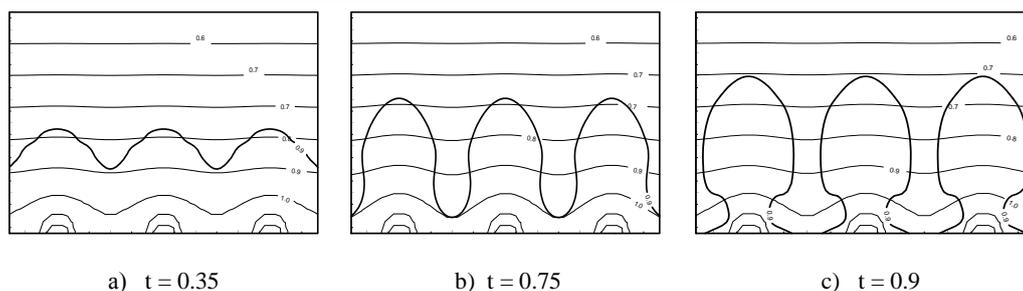


Рисунок 2 – Формирование соляных диапиров глубокого залегания от трех температурных возмущений теплового потока (при динамической вязкости экспоненциально зависящей от температуры)

более узким фронтом (это было установлено ранее для чисто динамических моделей [17]), в результате чего верхняя часть «колоннообразного» купола (рисунок 2b) всплывает, образуя «листьеобразную» структуру (рисунок 2c).

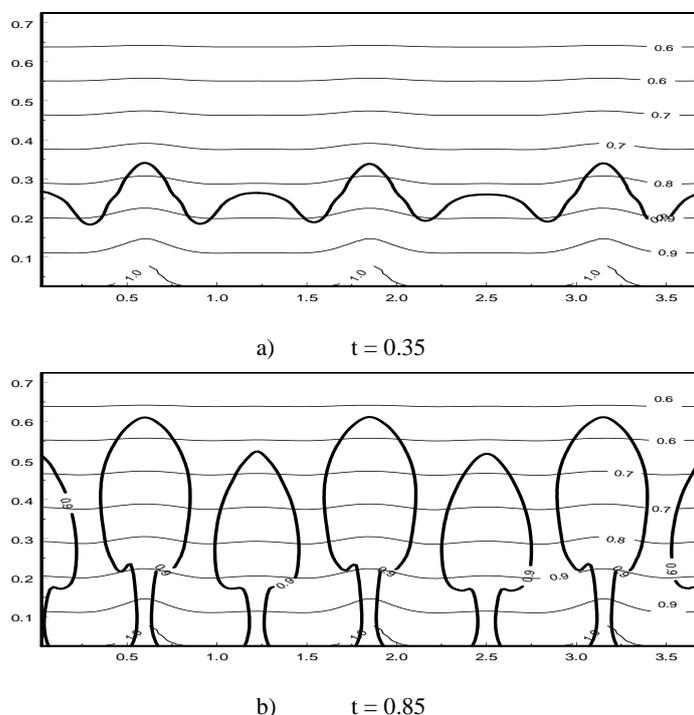


Рисунок 3- Формирование семейства соляных диапиров глубокого залегания от трех температурных возмущений теплового потока (при динамической вязкости, экспоненциально зависящей от температуры)

На рисунках 3a) - 3b) показано формирование семейства соляных куполов на основе общей тепловой модели от трех разнесенных тепловых источников. Как видно из рисунка 3a), между тремя образующимися основными куполами от тепловых источников формируются вторичные соляные купола, которые вместе с основными куполами в развитой фазе имеют «листьеобразную» структуру. Отметим, что для упрощенной тепловой и чисто динамической моделей (при тех же параметрах) купола будут иметь грибообразную форму [13,17,23].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Косыгин Ю.А. Основы тектоники нефтеносных областей. - М.: Гостехиздат.- 1950.- 248 с.
- [2] Гулиев И.С., Левин Л.Э., Федоров Д.Л. Углеводородный потенциал Каспийского региона.- Баку: Nafta-Press. – 2003.- 127 с.
- [3] Серпухов В. И. и др. Курс общей геологии. - М.:Недра, 1976. - 535 с.
- [4] Беленицкая Г.А. Тектонические аспекты пространственного и временного распределения соляносых бассейнов мира // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время.-2013. - Т.4.-Вып.1.-31с.
- [5] Место рождения нефти и газа Казахстана. Справочник. Под. ред.А.А. Абдулина, Э.С.Вазалевского, Б.М. Куандыкова.- М.: Недра , 1993.- 247с.

- [6] Nettleton L.L. Recent experimental and geophysical evidence of mechanics of salt dome formation // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. – 1943. – V.1. 27. - No.1. - P. 51-63.
- [7] Лебедева Н.Б. Моделирование процесса образования диапировых куполов // Сов. Геология. 1956. № 54. С. 163-175.
- [8] Паркер Т.Д., Мак-Доуэлл А.П. Экспериментальное изучение солянокупольной тектоники // Вопросы экспериментальной тектоники. – 1957. - С. 9-136.
- [9] Рамберг Х. Моделирование деформаций в земной коре с применением центрифуги. - М.: Мир, 1970. - 224 с.
- [10] Ержанов Ж.С., Егоров А.К., Гарагаш И.А. и др. Теория складкообразования в земной коре. - М.: Наука.- 1975.- 239 с.
- [11] Woid W.D. Finite element calculations applied to salt-dome analysis // Tectonophysics, 1978., Vol. 50., № 2., P. 369-386.
- [12] Мясников В.П., Новиков В.Л., Сазонов Ю.В. Прямая задача моделирования соляных куполов // ДАН СССР. – 1980. - Т. 254, № 5. - С. 1105-1108.
- [13] Ержанов Ж.С., Мартынов Н.И. Тейлоровская неустойчивость двумерного ползущего движения границы раздела вязких несжимаемых жидкостей. // Изв. АН Каз.ССР, сер. физ.-мат.- 1985.- № 5.-С. 79-84.
- [14] Наймарк Б.М., Малевский А.В. Приближенный метод расчета развития гравитационной неустойчивости // Изв. АН СССР, Физика Земли.-1986.-№2.-С.44-53.
- [15] Dandre B., Cloetingh S. Numerical modeling of salt diapirism: Influence of the tectonic regime // Tectonophysics.- 1994.- V.1. 240.- № 1-4.- P. 59-79.
- [16] Ismail-Zadeh A.T., Tsepelov I.A., Talbot C.J., Korotkii A.I. Tree-dimensional forward and backward modeling of diapirism: Numerical approach and applicability to the evolution of salt structures in the Pricaspian basin // Tectonophysics.- 2004.- V.1. 387.- №1-4.- P. 81-103.
- [17] Мартынов Н.И., Танирбергенев А.Г. Численное моделирование условий формирования солянокупольных структур в земной коре // Математический журнал.- 2006.- Т. 6.- №1 (191).- С. 67-73.
- [18] Лунев Б.В., Абрамов Т.В. Моделирование диапиризма расчетом 3D ползущих течений с использованием технологии параллельных вычислений CUDA на GPU // CUDA-Альманах-Ноябрь.-2014.-С. 10.
- [19] Баймухаметов А.А., Мартынов Н.И., Танирбергенев А.Г. Компьютерное моделирование формирования глубинного соляного диапиризма // Известия НАН РК.-2015.-сер. физ.-мат.-№2(300).-С.36-40.
- [20] Баймухаметов А.А., Мартынов Н.И., Танирбергенев А.Г. Механика глубинного соляного диапиризма // 11й Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Казань, 20-24 августа, 2015г.- Сборник трудов.- С.298-300с.
- [21] Жантаев Ж.Ш., Мартынов Н.И., Танирбергенев А.Г. Формирование соляных диапиров в температурном поле // Проблемы эволюции открытых систем. - 2009. - Т.1.- вып. 11. - С. 70-76.
- [22] Мартынов Н.И., Танирбергенев Д.Г. Напряженно-деформируемое состояние осадочного комплекса и подсолевого ложа. // Научные труды «Эдilet» Caspian social university.-2010.- №4.- С.182-188.
- [23] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Numerical research stressed- deformed state of rocks in the salt dome areas of crust // Journal of Mathematics and Technology, ISSN: 2078-0257. - 2013.-V.4- № 2.- P.9-13.
- [24] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Ramazanova M.A., Tanirbergenov A.G., Tanirbergenov B.A. Stress-strain state under conditions of salt-dome tectonics // International scientific journal « Science and world ». - 2015.-№ 4(209).-vol.I.-P. 21-27.
- [25] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Influence of thermogradients on formational of oil and gas traps // International Journal of Academic Research. - 2011.- 1 Part.- V.3.- P.7-12.
- [26] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Thermogradient model of formation of oil and gas traps at diepirism // Abstract Book 23 rd ICTAM.- 2012.- Beijing, China.- P.162
- [27] Баймухаметов А.А., Мартынов Н.И., Рамазанова М.А., Танирбергенев, А.Г., Чупрасов А.А. Нефтегазовые коллектора в условиях солянокупольной тектоники // Известия НАН РК.- 2013.-№ 2.-С.212-220.
- [28] Баймухаметов А.А., Мартынов Н.И., Танирбергенев, А.Г., Чупрасов А.А. Формирование нефтегазовых ловушек в условиях солянокупольной тектоники // Труды XX Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли».-Новосибирск, 2013.- С. 275-280.
- [29] Гордон Э.Д. Геохимические аспекты образования нефти. // В сб.: Нефтегазоносность и глобальная тектоника. М.: Недра, 1978, с.161-175.
- [30] Жантаев Ж.Ш. О характере изменения мощности земной коры в зависимости от величины геотермического градиента. // Материалы Российско-Казахстанского симпозиума по вопросам геодинамики. А-М. - 2007г. - С.14-23.
- [31] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Research of gravitational instability of the non-newtonian viscoplastic medium // Journal of Mathematics and Technology. – 2010. - April. - P. 22-29.

REFERENCES

- [1] Kosygin Ju.A. Osnovy tektoniki neftenosnyh oblastej. - М.: Gostoptehizdat.- 1950.- 248 s (in Russ).
- [2] Guliev I.S., Levin L.Je., Fedorov D.L. Uglevodородnyj potencial Kaspijskogo regiona.- Baku: Nafta-Press. – 2003.- 127 s (in Russ).
- [3] Serpuhov V. I. i dr. Kurs obshhej geologii. - М.:Недра, 1976. - 535 s (in Russ).
- [4] Belenickaja G.A. Tektonicheskie aspekty prostranstvennogo i vremennogo raspredelenija soljanosnyh bassejnov mira // Jelektronnoe nauchnoe izdanie Al'manah Prostranstvo i Vremja.-2013. - Т.4.-V.1.-p.-31s (in Russ).
- [5] Mesto rozhdenija nefiti i gaza Kazahstana. Spravochnik. Pod. red.A.A. Abdulina, Je.S.Vazalevskogo, B.M. Kuandykova.- М.: Nedra , 1993.- 247s (in Russ).
- [6] Nettleton L.L. Recent experimental and geophysical evidence of mechanics of salt dome formation // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. – 1943. – V.1. 27. - No.1. - P. 51-63.
- [7] Lebedeva N.B. Modelirovanie processa obrazovaniya diapirovyh kupolov // Sov. Geologija. – 1956. - № 54. - S. 163-175(in Russ).

- [8] Parker T.D., Mak-Doujell A.P. Jeksperimental'noe izuche-nie soljanokupol'noj tektoniki // Voprosy jeksperimental'noj tektoniki. – 1957. – S. 9-136 (in Russ).
- [9] Ramberg H. Modelirovanie deformacij v zemnoj kore s primeneniem centrifugi. - M.: Mir, 1970. - 224 s (in Russ).
- [10] Erzhanov Zh.S., Egorov A.K., Garagash I.A. i dr. Teoriya skladkoobrazo-vanija v zemnoj kore. - M.: Nauka.- 1975.- 239 s (in Russ).
- [11] Woid W.D. Finite element calculations applied to salt-dome analysis // Tectonophysics. 1978. V. 50. № 2. P. 369-386.
- [12] Mjasnikov V.P., Novikov V.L., Sazonov Ju.V. Prjamaja zada-cha modelirovanija soljanyh kupolov // DAN SSSR. – 1980. - T. 254.- № 5. - S. 1105-1108 (in Russ).
- [13] Erzhanov Zh.S., Martynov N.I. Tejlorovskaja neustojchivost' dvumernogo polzushhego dvizhenija granicy razdela vjazkih neszhimaemyh zhidkostej // Izv. AN Kaz.SSR, ser.fiz.-mat.- 1985.- № 5.-S. 79-84 (in Russ).
- [14] Najmark B.M.,Malevskij A.V.Priblizhennyj metod rascheta razvitija gravitacionnoj neustojchivosti//Izv. AN SSSR, Fizika Zemli.-1986.-№2.-S.44-53 (in Russ).
- [15] Dandre B., Cloetingh S. Numerical modeling of salt diapirism: Influence of the tectonic regime // Tectonophysics.- 1994.- V. 240.-№ 1-4.- P. 59-79.
- [16] Ismail-Zadeh A.T., Tsepelev I.A., Talbot C.J., Korotkii A.I. Tree-dimensional forward and backward modeling of diapirism: Numerical approach and applicability to the evolution of salt structures in the Pricaspian basin // Tectonophysics.- 2004.- V. 387.- №1-4.- P. 81-103.
- [17] Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Chislennoe modelirovanie uslovij formirovanija soljanokupol'nyh struktur v zemnoj kore //Matematicheskij zhurnal.- 2006.- T.6.- №1 (191).- S.67-73 (in Russ).
- [18] Lunev B.V., Abramov T.V. Modelirovanie diapirizma raschetom 3D polzushhh tehnenij s ispol'zovaniem tehnologii parallel'nyh vychislenij CUDA na GPU// CUDA-Al'manah-Nojabr'.-2014.-S. 10 (in Russ).
- [19] Bajmukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Komp'juternoe modelirovanie formirovanija glubinnogo soljanogo diapirizma // Izvestija NAN RK.-2015.-ser.fiz.-mat.-№2(300).-S.36-40 (in Russ).
- [20] Bajmukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Mehanika glubinnogo soljanogo diapirizma // 11j Vserossijskij s'ezd po fundamental'nym problemam teoreticheskoj i prikladnoj mehaniki. Kazan',20-24 avgusta, 2015g.- Sbornik trudov.- S.298-300s (in Russ).
- [21] Zhantaev Zh.Sh., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Formirovanie soljanyh diapirov v temperaturnom pole // Problemy jevoljucii otkrytyh sistem. - 2009. - T.1.- vyp. 11. - S. 70-76 (in Russ).
- [22] Martynov N.I., Tanirbergenov D.G. Naprjazhenno-deformiruemoje sostojanie osadochnogo kompleksa i podsolevogo lozha. // Nauchnye trudy «Jedilet» Caspian social university.-2010.- №4.- S.182-188 (in Russ).
- [23] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Numerical reseach stressed- deformed state of rocks in the salt dome areas of crust // Journal of Mathematics and Technology, ISSN: 2078-0257. - 2013.-V.4- № 2.- P.9-13.
- [24] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Ramazanova M.A., Tanirbergenov A.G., Tanirbergenov B.A. Stress-strain state under conditions of salt-dome tectonics// International scientific journal « Science and world ».- 2015.-№ 4(209).-V.I.-P 21-27.
- [25] Vaimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Influence of thermogradients on formational of oil and gas traps // International Journal of Academic Research. - 2011.- 1 Part.- V.3.- P.7-12.
- [26] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Thermogradient model of formation of oil and gas traps at diepirism // Abstract Book 23 rd ICTAM.- 2012.- Beijing, China.- P.162.
- [27] Bajmukhametov A.A., Martynov N.I.,Ramazanova M.A., Tanirbergenov, A.G.,Chuprasov A.A. Neftegazovye kollektora v uslovijah soljanokupol'noj tektoniki // Izvestija NAN RK.- 2013.-№ 2.-S.212-220.
- [28] Bajmukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov, A.G.,Chuprasov A.A. Formirovanie neftegazovyh lovushek v uslovijah soljanokupol'noj tektoniki // Trudy XX Vserossijskoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh «Geodinamika i naprjazhennoe sostojanie neдр Zemli».-Novosibirsk, 2013.- S. 275-280 (in Russ).
- [29] Gordon Je.D.. Geohimicheskie aspekty obrazovanija nefti. // V sb.: Neftegazoznostost' i global'naja tektonika. M.: Nedra.-1978.- s.161-175 (in Russ).
- [30] Zhantaev Zh.Sh. O haraktere izmenenija moshhnosti zemnoj kory v zavisimosti ot velichiny geotermicheskogo gradienta. //Materialy Rossijsko-Kazahstanskogo simpoziuma po voprosam geodinamiki. A-M. - 2007g. - S.14-23 (in Russ).
- [31] Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Research of gravitational instability of the non-newtonian viscoplastic medium // Journal of Mathematics and Technology. – 2010. - April. - P. 22-29.

ТЕРЕҢ ТҰЗДЫ ДИАПИРИЗМ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ КЕЙБІР АСПЕКТІЛЕРІ

А.А. Баймұхаметов, Н.И. Мартынов, М.А. Рамазанова, А.Г. Танирбергенов, Б.А. Танирбергенов

ҚР БҒМ ҒК математика және математикалық модельдеу институты, Алматы

Түйін сөздер: тұз диапирі, жер қыртысы, шөгінді тыс, жылулық ағын, термоградиент, гравитациялық орнықсыздық, конвекция.

Аннотация. Сандық модельдеуінің нәтижелерінде негізделген, терең тұзды диапиризм пайда болу процестерінің кейбір заңдылықтары мен ерекшеліктері талқыланған. Біртекті емес жылу ағынының белгілі бір жағдайларында жыр қыртысының төменгі қабатында тұзды бағаналар түзілуі мүмкін екендігі көрсетілген. Динамикалық тұтқырлықтың температурадан экспоненциалды тәуелдігі «жапырақ» құрылымды тұз күмбездерінің пайда болуына әкеледі.

Поступила 04.04.2016 г.