

T16

## Geomechanical Modeling of Low Permeability Shale Strata of the Maikop Series Ciscaucasia

V.A. Zaicev\* (Lomonosov Moscow State University), V.Y. Kerimov (Gubkin Russian State University of Oil & Gas), R.N. Mustaev (Gubkin Russian State University of Oil & Gas) & S.S. Dmitrievskij (Gubkin Russian State University of Oil & Gas)

### SUMMARY

---

For prospecting and exploration of "shale" hydrocarbon accumulations in low parasitic strata are geomechanical model, with the purpose of forecasting and evaluation of secondary filtration parameters. In this study, geomechanical modeling was performed with the help of specialized software module RMSFracture Roxar company.

## Геомеханическое моделирование низкопроницаемых сланцевых толщ майкопской серии Предкавказья

*В.А. Зайцев\** (МГУ имени М.В.Ломоносова), *В.Ю. Керимов* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина), *Р.Н. Мустаев* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина), *С.С. Дмитриевский* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина).

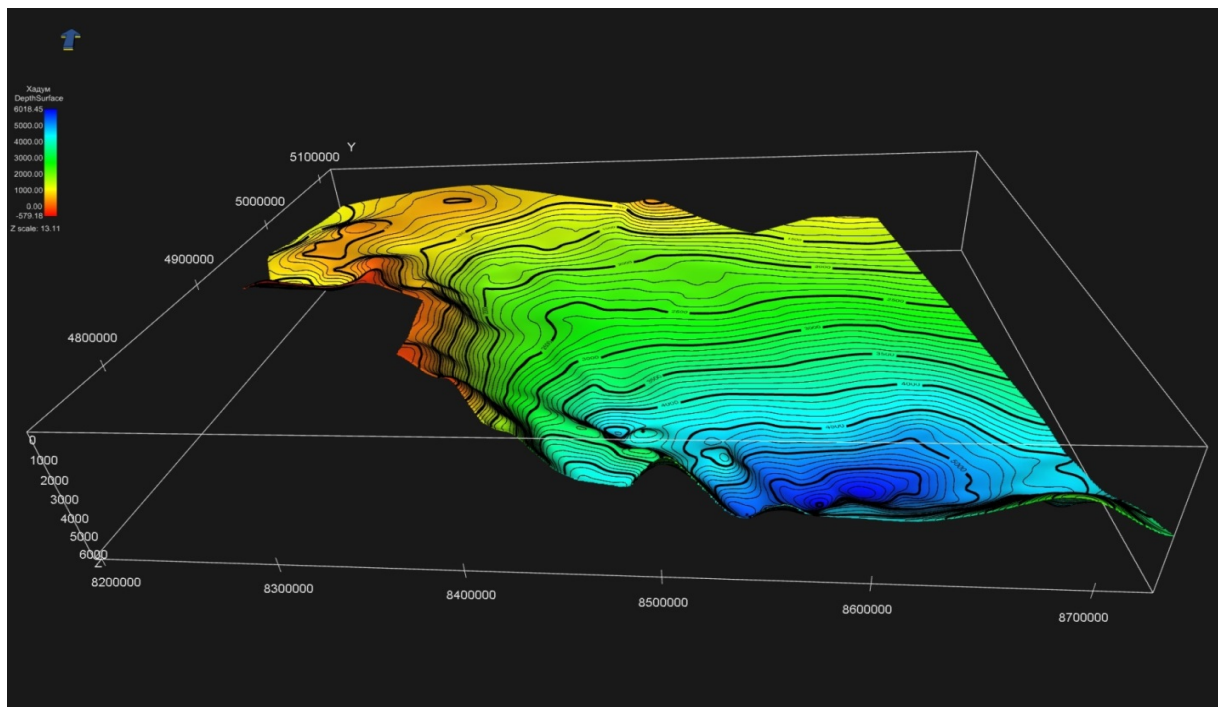
Для поисков и разведки «сланцевых» скоплений УВ в низкопроницаемых глистных толщах создаются геомеханические модели, с целью прогноза и оценка вторичных фильтрационных параметров. Зоны трещиноватости маркируются следующими параметрами: активными современными вертикальными и горизонтальными движениями, проявлением сейсмичности, динамикой поверхностных и подземных вод, повышенными значениями теплового потока и др. [1-6]. Комплексное изучение данных параметров с помощью современных методов исследования, позволяет, в определенной степени, решить данную научную задачу. Особенно следует отметить использование трехмерных геодинамических моделей, позволяющих более корректно экстраполировать наблюдаемые приповерхностные деформации на глубину. Для построения геодинамической модели, помимо типа внешнего напряженного состояния (сжатие, растяжение или сдвиг) и ориентировки внешних главных осей напряжений, необходимо задать механические параметры пород: модуль Юнга, коэффициент Пуассона и коэффициент внутреннего трения. В данной работе такое моделирование было выполнено с помощью специализированного программного модуля RMSFracture компании ROXAR. Использование подобных программ дает возможность интегрировать разнообразную структурно-геологическую информацию, строить физически обоснованную дискретную модель трещиноватости (Discrete Fracture Network), а затем, используя метод двойного пространства, прогнозировать фильтрационно-емкостные свойства пород. В том случае, если трещины имеют значительную густоту и степень раскрытости, их влияние может быть определяющим для величины флюидной проницаемости пласта. Соотношение первичной и вторичной проницаемости индивидуальны для каждого резервуара. Особо отметим, важность изучения современного поля напряжений определяющего фильтрационную активность трещин. Объектами исследования являлись отложения: хадумской, белоглинной и черкесской свиты. Исходными данными для построения геомеханической модели является трехмерная цифровая геологическая модель. Напряженное состояние коллектора рассчитывается в программном модуле RMSFracture программного комплекса IrapRms компании ROXAR. Расчёт выполняется с помощью упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress).

**Методика построения аналитической дискретной модели трещиноватости.** Построение геомеханической модели — создание аналитической дискретной модели трещиноватости. Данный этап моделирования выполняется с помощью специального программного обеспечения (Create Fracture Model), который позволяет использовать тренды (зависимости), полученные в результате геомеханического моделирования. Расположение трещин можно достаточно надежно прогнозировать, используя независимые геолого-структурные параметры. В результате создается основа для аналитической дискретной модели трещиноватости. В программе Create Fracture Model трещины генерируются случайным распределением «затравок». Трещины создаются согласно плотности рассчитанных трендов и данных об их ориентировках. При пересечении с трещиной из другого семейства учитывается их взаимодействие. Трещины «выращиваются» до тех пор, пока не будет достигнута требуемая плотность. На следующем шаге моделирования выполняется оценка влияния длины и изменчивости параметров трещин. Необходимо добиться наилучшего соответствия сети трещин с геолого-геофизическими или эксплуатационными параметрами. После чего можно оценить сообщаемость полученной сети разломов и перейти к гидродинамическому моделированию, используя метод двойного пространства (двойной пористости и проницаемости).

**Геомеханическая модель хадумской свиты** базируется на 3D структурно-геологической модели, представляющей собой объемное поле в координатах X,Y,Z (Рис.1). При построении сетки, размер ячеек принимается в соответствии с масштабом рассматриваемой

неоднородности, в данном случае размер ячеек по латерали был выбран 1000 на 1000 метров. Азимут ориентировки ячеек сетки (угол, заданный от оси Y по часовой стрелке) составил  $-0^{\circ}$ . Таким образом, сетка имеет размерность  $531 \times 386 \times 1$ , что соответствует 204966 ячейкам. В модели было использовано 87 разрывных нарушений. В качестве реперных горизонтов были использованы следующие структурные поверхности по кровлям хадумского белоглиной и черкесской свит.

Рассматривая эффект, возникающий за счет внешнего тектонического сжатия, установлено, что данная территория испытывает современное взбросовое поле напряжений с субмеридиональной (со стороны Кавказа) ориентировкой оси максимального сжатия [7-11]. Сеть активных разрывных нарушений установлена с помощью структурно-геоморфологического анализа изучаемой территории. Выявленные разрывные нарушения отчетливо проявились в рельефе и имеют крутые углы падения, что позволило спроецировать их на хадумскую свиту. Всего на изучаемой площади выявлено 87 активных на новейшем этапе разрывных нарушения. В результате построения упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress) была рассчитана карта распределения относительной величины максимальных напряжений хадумской свиты. Данная карта послужила основой для прогноза трещиноватости и затем вторичной проницаемости. Выполненные расчеты параметра вероятности образования трещин «Fracture Likelihood» позволили сделать ряд выводов, отражающих общий характер распределения вторичной трещиноватости. Во-первых, площадь появления новообразованных трещин заметно уступает стабильным, слабо деформированным территориям. Во-вторых, наиболее деформированные, а, следовательно, и максимально нарушенные участки, располагаются на северо-западе и в центральной части рассматриваемой территории.



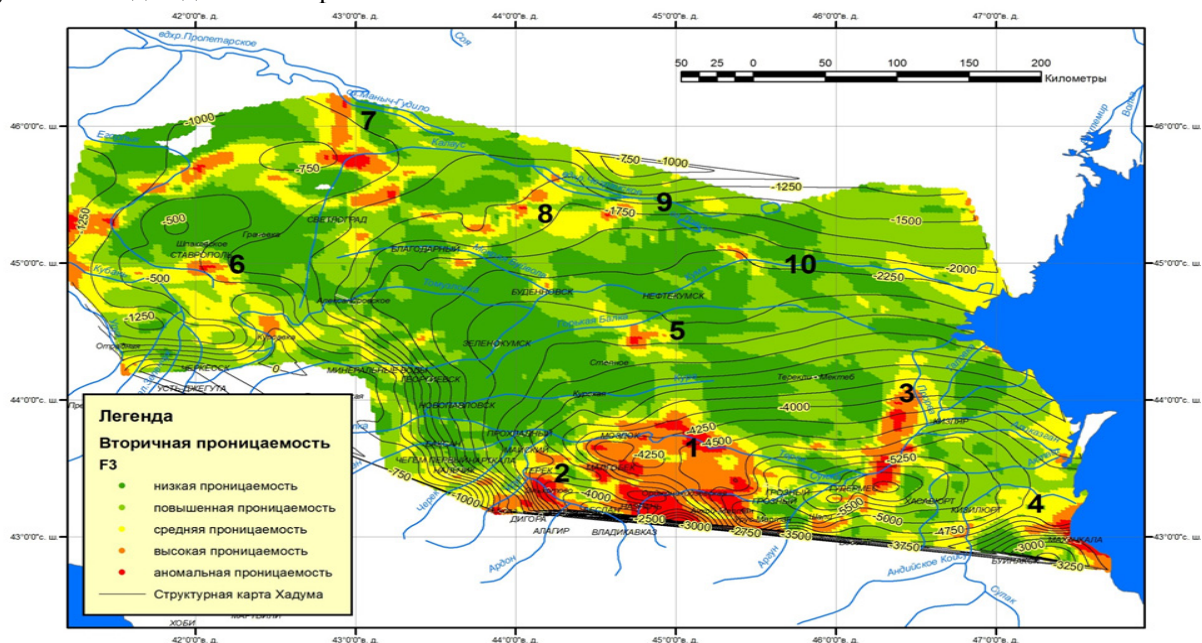
**Рисунок 1** Трехмерная цифровая геологическая модель кровли хадумской свиты для территории центрального и восточного Предкавказья.

**Прогнозная дискретная аналитическая модель трещиноватости хадумской свиты.** Расчеты появления новообразованных трещин был выполнен с помощью специального программного модуля (Create Fracture Model) компании ROXAR, который позволяет использовать тренды (зависимости), полученные в результате геомеханического моделирования, для прогноза появления разно ориентированных систем трещин. С помощью геомеханической модели были рассчитаны шесть параметров, которые определяют появление новых трещин или изменение степени раскрытости существующих неоднородностей. Этими параметрами являются: кривизна структурной поверхности (антиформы), ориентировка трещин – MaxCurvatureDirection; кривизна структурной поверхности (синформы); близость к

разломам (FaultProximity), ориентировка трещин – FaultStrike; близость к концам разломов (FaultTipProximity); величина горизонтального смещения (DisplacementX); вероятность появления новообразованных трещин (FractureLike), ориентировка трещин – Shmaxdir.

В результате проведенных исследований была построена прогнозная аналитическая модель трещиноватости хадумского горизонта месторождения по шести параметрам, которая послужила основой для расчёта вторичной проницаемости. Для описания сложных коллекторов, обладающих значительным количеством трещин, при моделировании фильтрационных процессов в пласте применяется метод двойного пространства (двойной пористости и проницаемости). Первичная пористость и проницаемость, связанная с межзерновыми параметрами терригенного коллектора, изучается с помощью традиционных методов. Вторичная - с помощью специальных тектонофизических методов, позволяющих прогнозировать плотность, апертуру и ориентировку систем трещин. В случае с хадумской свитой, вторичная проницаемость является преобладающей.

На завершающем этапе работ, был выполнен расчет вторичной пористости и проницаемости хадумской свиты (Рис.2). Максимальные значения вторичной проницаемости были выявлены в пределах плевев: Грозненского (1- между г. Моздок и г. Грозный), Эльхотовского (2- в районе п. Эльхотово), Махачкалинского (4 - севернее г. Махачкала). Данные участки вытянуты вдоль северного склона Большого Кавказа и занимают наиболее погруженные части хадумской свиты. Аномально высокие значения вторичной проницаемости прогнозируются в пределах Кизляро-Кочубейского плев (3 – протягивается в субмеридиональном направлении от г. Кизляра до г. Кочубей. В Ставропольском крае выявлено несколько зон с высокими значениями проницаемости (5, 6, 7, 8, 9, 10). Все они вытянуты в субширотном либо северо-восточном направлении. Отметим Ипатовский плей (7 - в районе п. Ипатово), который представляет собой зону пересечения субширотной и субмеридиональной аномалий, и Северо-Благодарненский плей в районе п. Арзгир представлен в виде цепочки пересекающихся аномалий субширотной и северо-восточной ориентировок (8). Выявленные области повышенных значений вторичной проницаемости являются наиболее благоприятными участками для добычи нефти и газа.



**Рисунок 2** Карта вторичной проницаемости хадумской свиты. (Наиболее перспективные зоны и плев: 1 - Грозненский, 2 - Эльхотовский, 3 – Кизляро-Кочубейский, 4 - Махачкалинский, 5 – Южно-Нефтекумский, 6 - Ставропольский, 7 - Ипатовский, 8 – Северо-Благодарненский, 9 – Северо-Нефтекумский, 10 - Северо-Восточно-Нефтекумский).



Таким образом, новейшая геодинамика является одним из определяющих факторов, влияющих на формирование залежей углеводородов, имеющих трещиноватый коллектор. В пределах центрального и восточного Предкавказья трещиноватость пород хадумской свиты оказывает существенное влияние на степень её проницаемости, которая, определяется типом отложений, степенью их нарушенности и полем тектонических напряжений. 3D геомеханическая модель изучаемой территории позволила выполнить оценку вторичной проницаемости пород хадумской свиты, являющейся нефтематеринской толщей. Выявленные участки повышенных значений проницаемости являются наиболее благоприятными для добычи сланцевой нефти и газа.

### Список литературы

1. I.S. Guliev, V.Yu. Kerimov, R.N. Mustaeв (2016) Fundamental Challenges of the Location of Oil and Gas in the South Caspian Basin // *Doklady Earth Sciences*, 2016, Vol. 471, Part 1, pp. 1109–1112.
2. Kerimov V.Yu, Rachinsky M.Z. Geo-fluid dynamic concept of hydrocarbons accumulation in natural reservoirs // *Doklady Earth Sciences*, 2016, Vol. 471, Part 1, pp. 1123–1125.
3. Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N., Dmitrievsky S.S., Zaitsev V.A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of Central and Eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling // *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*. – Moscow, 2016. – №9. – pp. 18-21
4. Kerimov, V.Yu., Mustaeв, R.N., Dmitrievsky, S.S., Yandarbiev, N.Sh., Kozlova, E.V. (2015) The shale hydrocarbons prospects in the low permeability khadum formation of the Pre-Caucasus // *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*, (10), pp. 50-53.
5. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustaeв R.N., Dmitrievskiy S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the low-permeability oil reservoirs of Khadum suite of the Pre-Caucasus // *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*. – Moscow, 2016. – №2. – pp. 8-11
6. Kerimov, V.Yu., Mustaeв, R.N., Senin, B.V., Lavrenova, E.A. (2015) Basin modeling tasks at different stages of geological exploration // *Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry*, (4), pp. 26-29.
7. Kerimov V.Yu., Gorbunov A.A., Lavrenova E.A., Osipov A.V. (2015) Models of Hydrocarbon Systems in the Russian Platform – Ural Junction Zone // *Lithology and Mineral Resources*. 2015. V. 50. № 5. P. 394–406.
8. Kerimov, V.Y., Osipov, A.V., Mustaeв, R.N., Monakova, A.S. (2014) Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure // 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014
9. Kerimov, V.Yu., Serikova, U.S., Mustayev, R.N., Guliyev, I.S. Deep oil-and-gas content of South Caspian Basin // (2014) *Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry*, (5), pp. 50-54.
10. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaeв R.N., Serikova U.S. Evaluation of oil and gas potential of the Crimea Peninsular and adjacent Azov and Black sea areas based on hydrocarbon system modeling // *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*. – Moscow, 2015. – №1. – pp. 5-17
11. Johnson, D., 2003, Reservoir characterization of the Barnett Shale: Barnett Shale Symposium, Ellison Miles Geotechnology Institute at Brookhaven College, Dallas, Texas, November 12–13, 2003.