

## Геологическое строение Южно-Каспийской впадины и суши Азербайджана на основе температурных данных и гравимагнитного моделирования

Н.Р. Абдуллаев, К.Г.-М.И.  
BP Caspian Ltd,  
Институт нефти и газа

**Ключевые слова:** температура, геотермальный градиент, бассейн, кристаллический фундамент, гравимагнитное моделирование, осадочный чехол.

DOI.10.37474/0365-8554/2020-6-7-4-10

e-mail: nazim.abdullayev@se1.bp.com

**Çənubi Xəzər çökəkliyi və Azərbaycanın quru ərazilərinin temperatur göstəriciləri və qraviməqnit modeləşdirilmə əsasında geoloji quruluşu**

N.R. Abdullayev, K.G.-M.I.  
BP Caspian Ltd, Neft və Qaz İnstitutu

**Açar sözlər:** temperatur, geotermal qradient, hövza, kristallik fundamental, qraviməqnit modeləşdirilmə, çöküntü örtüyü.

İşin məqsədi Cənubi Xəzər hövzəsi akvatoriyası və Azərbaycanın quru ərazilərində (Cənubi və Orta Kür hövzələri, həmçinin Yevlax-Ağcabadi çökəkliyi) çöküntülərin qalınlığı, kristallik fundamentalin yerləşmə dərəcəsi, struktur vəziyyəti və tektonik sərhədlərin müəyyənləşdirilməsi, həmçinin geodinamik inkişafın bəzi məsələlərinin tədqiqatıdır. Seysmik temperatur, qravimetrik və maqnetometrik məlumatlar əsasında müqayisə aparılmışdır. Geotermal qradientlər, çöküntü örtüyünün qalınlığı və kristallik fundamentalin dərinliyi arasındakı əsliqlik müəyyən edilmişdir.

**Geological structure of South Caspian depression and onshore of Azerbaijan based on temperature data and gravimetric modelling**

N.R. Abdullayev, Cand. in Geol.-Min. Sc.  
BP Caspian Ltd, Institute of Oil and Gas

**Keywords:** temperature, geothermal gradient, basin, crystalline basement, gravimagnetic modelling, sedimentary cover.

The paper aims to justify the thickness of sedimentary cover along the equator of South Caspian basin and Azerbaijan onshore (including South and Middle Kur basin and Yevlax-Agh-jabedy downfall), the cover thickness of crystalline basement, specifying its structural position and key tectonic borders, as well as the confirmation of some issues on geodynamic evolution. Such comparison was carried out via published seismic temperature, gravimetric and magnetometric data. Definite dependences of geothermal gradients, the thickness of sedimentary cover and crystalline basement depth have been specified.

### Введение

Современный Южный Каспий и соседние бассейны (Среднекуринский, включая Евлах-Агджабединоскую депрессию, верхняя Кура и др.) представляет собой совершенно уникальный бассейн, характеризующийся большой толщиной отложений, благоприятными тектоническими и литолого-фациальными условиями, обуславливающими высокие перспективы нефтегазоносности. Нефтегазоносные системы Южного Каспия необычны благодаря быстрому осадконакоплению, поскольку быстрое и неравномерное заполнение определяет динамичность системы Южно-Каспийской впадины (ЮКБ). Анализ и обобщение многочисленных температурных замеров в скважинах показывают, что распределение температур в общих чертах отражает особенности тектоники ЮКБ. Как видно снижение температур отчетливо проявляется от бортов впадины к её центру. Локальные максимумы в верхах продуктивной толщи (ПТ) наблюдаются на окраинах Куринской депрессии на площадях Алжиноур (80 °С), Амирарх (65–70 °С на глубине 2400 м), Сарханбейли (65 °С на глубине 1400 м), в то время как минимумы обнаруживаются в центре бассейна (Дуванны-дениз, Хара-Зира и, конечно, Шахдениз, где температуры не превышают 50 °С на глубине 2500 м).

Мы исследовали геотермальные градиенты, выделенные из большого количества температурных измерений на месторождениях Азербайджана как на суше, так и на море. Температурные данные из более 150 скважин с глубиной от 100 до 6000 м были использованы для подтверждения структуры бассейна ЮКБ

[1, 2]. Мы выяснили, что происходит значительное изменение температурных градиентов вдоль границы ЮКБ, что безусловно связано с изменением как толщины консолидированной коры ЮКБ, так и толщины осадков в бассейне.

Известно, что консолидированная кора значительно уменьшается в акватории ЮКБ, где она падает до 5–7 км и имеет океаническую природу [3]. Как показано в работе [3] граница между корой океанического и континентального типа проходит примерно по суше в районе Абшеронского п-ова. Мощность осадков океанической коры соответственно составляет 25 км в центре ЮКБ (рис. 1). В Среднекурином бассейне толщина осадков составляет 15 км, а толщина консолидированной коры до 30 км [4]. Региональный профиль, проходящий от границ Азербайджана до центра ЮКБ, показывает изменение толщины осадочного чехла с запада на восток, а также резкое утонение коры к востоку от Западно-Каспийского разлома (рис. 1).

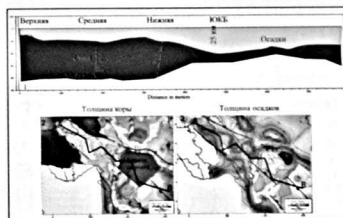


Рис. 1. Профиль через Куринский бассейн и бассейн ЮКБ (показан Западно-Каспийский разлом)

### Региональное температурное поле

Как же подобные данные можно калибровать (сравнить) по разным геофизическим полям? Начнем с теплового потока и температурных измерений. Существует большое количество публикаций по этой теме особенно публикаций, изданных термальной лабораторией Института геологии и геофизики во главе с А.Ш. Мухтаровым [1, 2]. На рис. 2 показано изменение температур с глубиной по различным регионам Азербайджана и акватории ЮКБ. В районах поднятия или значительной эрозии, таких как Абшеронский п-ов изначальные температурные значения и их изменения на поверхности являются проблемными и их можно игнорировать для общей региональной картины изменений.

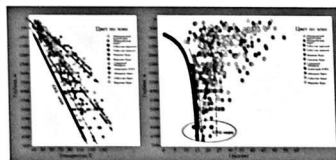


Рис. 2. Изменения температуры и геотермального градиента с глубиной на территории ЮКБ и суше Азербайджана

Более регионально температурное поле варьируется от самых глубоких скважин, где температура достигает 120 °С, но геотермальный градиент не превышает 15 °С/км, таких как Шахдениз или Булла-дениз на акватории ЮКБ вплоть до значений, превышающих 40 °С/км на западе Среднекуриной впадины ближе к грузинской границе (рис. 3). Наиболее высокие значения геотермальных градиентов выявлены на западе Азербайджана, особенно на месторождениях, близких к Малому Кавказу (Далимамеди, Гюрзунда) [1, 2]. Плотность теплового потока определяется температурным градиентом в скважинах и измерением термальной проводимости в породах по месторождениям и на обнажениях из образцов, а также на дне Каспийского моря и грязевых вулканах.

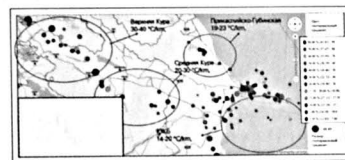


Рис. 3. Изменения геотермального градиента по географическим регионам (HGR)

Работы [1, 5] также показывают следующие особенности распределения теплового потока в Южном Каспии и Азербайджане. В пределах глубоководных частей этого региона наблюдаются относительно невысокие значения теплового потока от 20 до 50–60 мВт/м², при этом повышенные значения (от 50–100 до 480 мВт/м²) приурочены либо к западной и северо-западной периферии ЮКБ [5], либо к относительно узким линейным зонам с аномальными геологическими условиями. Для Евлах-Агджабединоского района величины плотности тепло-

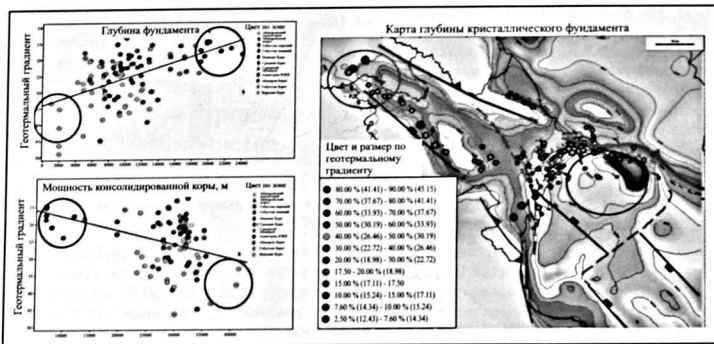


Рис. 4. График зависимости геотермального градиента от глубины фундамента и мощности консолидированной коры, от мощности коры и осадочного чехла

вого потока тоже малы и колеблются в пределах от 20 до 50 мВт/м<sup>2</sup>. Изменения теплового потока часто связаны с радиогенной теплотой, генерируемой в мантии и земной коре [6].

Геотермальный градиент имеет очень низкие значения, составляющие всего 12–13 °С/км в центре бассейна и соответствие их с наибольшей толщиной осадочного чехла в бассейне по данным региональных профилей общей глубинной точки (ОГТ) (более 25 км). Необходимо отметить определенную зависимость геотермального градиента от мощности осадков (по карте в работе [4]) и от глубины фундамента. На рис. 4 показаны эти графики и зависимости вместе с картой глубины фундамента. В синем круге показано минимальное значение геотермального градиента в акватории ЮКБ, а в красном – максимальное. Они соответствуют глубине фундамента 20–35 км (менее 10 км мощности осадочного чехла) и 2–5 км (более 40 км мощности осадочного чехла) соответственно.

Изменение теплового поля во времени является функцией теплового затухания при образовании бассейна, последующего погребения и осадконакопления [1]. Ощутимое изменение происходило в течение первых 50 млн. лет в процессе образования бассейна, после чего до начала олигоцена не происходило значительных изменений теплового поля, как и скорости осадконакопления. Увеличение скорости осадконакопления в майкопе привело к уменьшению температуры. Дальнейшее уменьшение

скорости осадконакопления сопровождалось соответствующим увеличением температуры. Начало лавинного осадконакопления в плочине естественно сопровождалось резким снижением температуры. На глубине 1 км температура снизилась примерно на 20 °С, а на границе фундамента – осадки более чем на 50 °С [1, 2]. Современный тепловой поток (ТП) на поверхности 27 мВт/м<sup>2</sup> [5], а на фундаменте (глубинный ТП) около 60 мВт/м<sup>2</sup>. Хорошо прослеживается изменение ТП в зависимости от скорости осадконакопления.

#### Глубинное строение по данным гравимагнитного моделирования

Глубинное строение ЮКБ и Евлах-Агдабединского прогиба и глубина кристаллического фундамента были также изучены с использованием моделирования гравимагнитометрических исследований на нескольких региональных сейсмогеологических профилях. В работах [6, 7], выявлено, что построить единую корреляционную зависимость, позволяющую вычислить глубины залегания кристаллического фундамента не представляется возможным из-за присутствия вулканических тел (рис. 5).

Так профиль А на рис. 6, а из работы Н.Р. Абдуллаева [3], проходит от среднего Каспия через Абшеронский порог и погружающийся океаническую кору ЮКБ в сам бассейн ЮКБ. Значительные аномалии Буге связаны с погружением коры ЮКБ и значительной мощностью

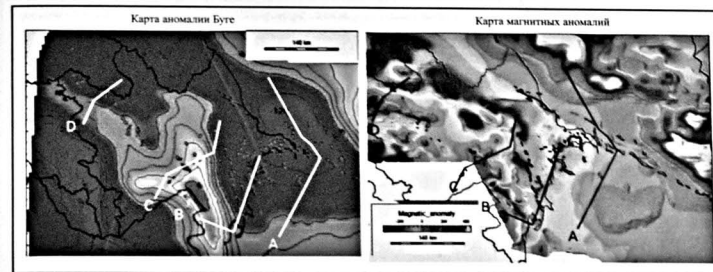


Рис. 5. Карта аномалии Буге и карта магнитной аномалии [7, 8]

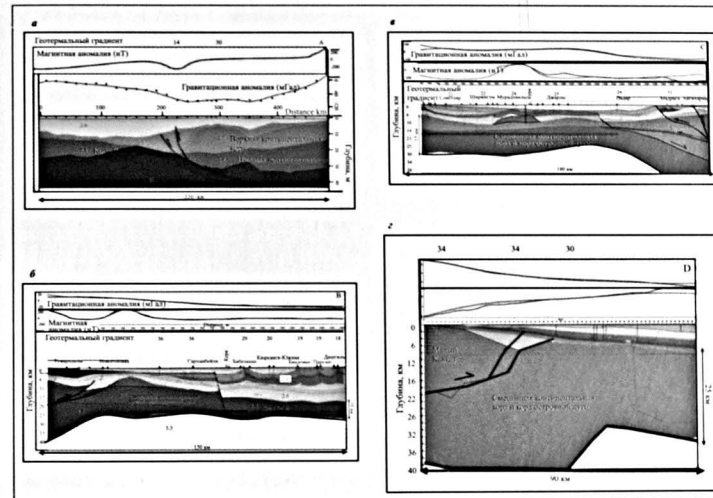


Рис. 6. Региональный сейсмогеологический профиль А(а), В(б), С(с), D(д) по результатам гравимагнитного моделирования

осадков в акватории ЮКБ. Магнитная аномалия на севере профиля связана со значительным поднятием фундамента к северу от ЮКБ.

Профиль В на рис. 6, б, проходящий от Тумарханлы и Новоголовки через Сарханбейли, Бабазанан, Кюрювадг и заканчивающийся на Дагшиле [7], пересекает различные тектонические блоки. Так в западной части профиля пересекается регион Саатлинской

гравитационной аномалии, а также определенный магнитный максимум. Как только мощность осадочного чехла увеличивается, падают значения гравитационной аномалии Буге. На этом же профиле резко уменьшаются средние значения геотермального градиента между Сарханбейли и Бабазанан (см. рис. 4). Здесь проходит основная тектоническая граница, определенная по многим сей-

смологическим данным – Западно-Каспийский разлом [3]. Разлом отделяет утоненную кору ЮКБ возможно океанического типа от континентальной коры смешанного типа (вулканической дуги).

Профиль С на рис. 6, в показывает изменение профиля в Евлах-Агджабединской депрессии от Советляр через Мурадханлы [8] и потом выходящий от него на Куринскую низменность и верхний Гобустан. На этом профиле Евлах-Агджабединская депрессия и Саатлинское погребенное поднятие представляют собой небольшую положительную аномалию Буге (30–10 мГал), которая сменяется значительной негативной аномалией, связанной с погружением Куринской депрессии под Большой Кавказ [6, 7]. Моделирование профиля показывает утоненную континентальную и островодужную кору мощностью 15 км, подвигающуюся под герцинский фундамент Большого Кавказа, увеличивая мощность коры до 40 км. В работе [4] мощность консолидированной коры в Евлах-Агджабединской депрессии не менее 25 км, однако с такой мощностью трудно объяснить геотермальные градиенты и провести гравимагнитное моделирование, соответствующее такой мощности – нам представляется, что кора утончена больше в результате изначального рифтинга, что подтверждают данные ГСЗ. Магнитная аномалия на Мурадханлинском поднятии связана с вулканическими интрузиями островодужного порядка и определенным поднятием фундамента на края предполагаемого рифтового бассейна. Модели вулканогенной постройки по данным гравимагниторазведки на СЗ бортовой части Евлах-Агджабединского прогиба описаны в работе [6], где отмечено, что они вместе с эффузивными породами влияют на магнитную аномалию и её размер.

И наконец, профиль D из работы [9] проходит в верхней части бассейна через регион между речья Куры и Габирры в Грузинскую часть Верхнекуринского бассейна (рис. 6, з). Здесь мощность консолидированной коры используя гравиметрическое моделирование достигает 35 км под мощной толщей вулканогенных осадков и коры Восточного Кавказа, меняясь до 25 км под самим осадочным чехлом в между речье. Здесь

тоже присутствует значительная магнитная аномалия на ЮЗ части профиля сменяясь положительными значениями. Геотермальные градиенты в этом районе высоки – от 34 до 30 °С/км в принципе являясь нормальным проявлением радиогенной теплоты в коре мощностью не более 30–40 км и небольшим осадочным слоем. В работе [4] мощность консолидированной коры не превышает 40 км, что согласуется с нашей моделью.

#### Заключение

Используя моделирование температур, сейсмогеологических профилей, геотермальных градиентов, гравимагнитных моделей и исследований автор приводит модель эволюции и образования ЮКБ и смежных бассейнов модифицируя работы [3, 9]. Полученная как обобщение модели палеогеографическая карта расположения бассейнов в период верхнего мела соответствует расположению магматических поднятий и магнитных аномалий из работы [10]. Необходимо отметить несколько основных характеристик модели.

1. ЮКБ был образован на границе неотетиса как задугового бассейна континентальной окраины Евразии [3, 11] вместе с Большекавказским бассейном (БКБ, сейчас находящимся на месте Кавказских гор) в юрский период (БКБ и ЮКБ), разделяясь от него сочленением островодужных поднятий.

2. Западно-Каспийский разлом является тектонической границей плиты ЮКБ на протяжении всей его эволюции, где он обозначал границу с юрским островодужным вулканическим материалом, выявленным на Саатлинском поднятии. По этому разлому также выявлено и современное движение векторов по данным GPS [7]. И сейчас на этой границе происходит резкое утолщение консолидированной коры и уменьшение мощности осадочного чехла что показывают температурные данные.

3. Началом Евлах-Агджабединской депрессии является верхнемеловое междуговое растяжение (рифтинг), во времени совпадающее с образованием находящихся рядом задуговых бассейнов как Восточно-Черноморский бассейн и бассейн Риони в Грузии. Она является типичным примером междугового (fore-arc) бассейна, о чем свидетельствуют

пробуренные мощные вулканогенные слои верхнемелового возраста на Мурадханлы и смежных месторождениях.

4. Поднятие Большого Кавказа в результате альпийской складчатости скрыло под со-

бой значительную часть перехода от ЮКБ к БКБ и сочлененной дуги, изменив режим погребения на флексурий и наложив отпечаток на расположение седиментационных бассейнов.

#### Список литературы

1. *Mukhtarov A.* Heat flow distribution and some aspects of formation of thermal field in the Caspian region – 2004. – Conference: 32nd International Geological Congress, Florence, p. 1.
2. *Mukhtarov A., Gadirov F., Mammadova.* Reconstruction of the Surface Temperature in the Kura Depression (Azerbaijan) by the Inversion of Borehole Data. *Izvestiya Physics of the Solid Earth* - June 2010, Baku, Publishing House Nafta-Press, pp. 55-58.
3. *Abdullayev N.R., Gadirov F., Guliyev I.S.* Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modelling – 2015 – Brunet, M.-F., McCann, T. & Sobel, E.R. (eds) Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, London, Special Publications, 427, pp. 1-22.
4. *Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В.* Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. – М.: Недра, 1994, 342 с.
5. *Tomara G.A.* Heat flow of deepwater depressions in the Caspian Sea. / In book: Experimental and theoretical studies of heat flows. – М.: Nauka, 1979, pp. 99-112.
6. *Гадиров В.Г.* Гравимагнитное исследование распределения погребенных вулканогенных пород в Среднекуринской депрессии в связи с их нефтегазоносностью // Геолог Азербайджана, 2002, № 7, с. 130-141.
7. *Qadirov V.Q., Hamedova A.R., Bakirov M.A., Qadirov K.V.* Evlax-Ağcabədi çökəkliyində kristallik bünövrənin dərinliyinin qravimetrik məlumatlar əsasında təyini // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2017, № 11, s. 11-15.
8. *Süleymanov Ə.M., Zeynalov R.L., Məhərrəmov B.I.* Kür Dağları arasındakı Cökəkliyinin Mezozoy Kompleks Cöküntülərinin Paleostruktur analizi və neft-qazlılığı // SOCAR Proceedings, 2005, № 12, s. 15-21.
9. *Salmanov Ə.M., Süleymanov Ə.M., Məhərrəmov B.I.* Azərbaycan neftli-qazlı rayonların paleogeologiyası. – Baku: 2015, 420 s.
10. *Eppelbaum L.V., Khesin B.E.* Geophysical Studies in the Caucasus, Lecture Notes in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-540-76619-3\_6, # Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, pp. 1-3.
11. *Brunet M.F., Sobel E.R., Tom McCann.* Geological evolution of Central Asian Basins and the western Tien Shan Rang Brunet, M.-F., McCann, T. & Sobel, E. R. (eds) Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, London, Special Publications, 427, <https://doi.org/10.1144/SP427.17> # 2017 The Author(s). Published by The Geological Society of London, pp. 150-153.

## References

1. *Mukhtarov A.* Heat flow distribution and some aspects of formation of thermal field in the Caspian region // Conference: 32nd International Geological Congress, Florence, 2004, p. 1.
2. *Mukhtarov A., Gadirov F., Mammadova.* Reconstruction of the surface temperature in the Kura depression (Azerbaijan) by the inversion of borehole data // *Izvestiya Physics of the Solid Earth.* June 2010, Baku, Nafta-Press, pp. 55-58.
3. *Abdullayev N.R., Gadirov F., Guliyev I.S.* Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian basin from geophysical mapping, flexuralbackstripping, forward lithospheric modeling and gravity modeling. 2015, Brunet, M.-F., McCann, T. & Sobel, E.R. (eds) *Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range.* Geological Society, London, Special Publications, 427, pp. 1-22.
4. *Glumov I.F., Malovitskiy Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V.* Regional'naya geologia i neftegazonosnost' Kaspiyskogo morya. – M.: Nedra, 1994, 342 s.
5. *Tomara G.A.* Heat flow of deepwater depressions in the Caspian Sea. / In book: *Experimental and theoretical studies of heat flows.* – M.: Nauka, 1979, pp. 99-112.
6. *Gadirov V.G.* Gravimagnitnye issledovaniya raspredeleniya pogrebennykh vulkanogennykh porod v Srednekuriskoy depressii v svyazi s ikh neftegazonosnost'yu // *Geolog Azerbaidzhana*, 2002, № 7, s. 130-141.
7. *Gadirov V.G., Hemidova A.R., Bekirov M.A., Gadirov K.V.* Yevlakh-Aghjabedi chokekliyiinde kristallik bunovrenin derinliyinin gravimetric melumatlar esasynda teyini// *Azerbaijan neft teserrufaty*, 2017, № 11, pp. 11-15.
8. *Suleimanov A.M., Zeynalov R.L., Meherremov B.I.* Kur daghlararasy chokekliyinin Mezozoy kompleks chokuntulerinin paleostruktur analizi ve neft-gazlylyghy, 2005, SOCAR Proceedings, № 12, pp. 15-21.
9. *Salmanov A.M., Suleimanov A.M., Meherremov B.I.* Azerbaijanyn nefli-gazly rayonlarynyn paleogeologiyasy. – Baki: 2015, 420 s.
10. *Eppelbaum L.V., Khesin B.E.* Geophysical Studies in the Caucasus, Lecture Notes in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-540-76619-3\_6, // Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, pp. 1-3.
11. *Brunet M.F., Sobel E.R., Tom McCann.* Geological evolution of Central Asian Basins and the western Tien Shan Rang Brunet, M.-F., McCann, T. & Sobel, E.R. (eds) *Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range.* Geological Society, London, Special Publications, 427, <https://doi.org/10.1144/SP427.17> // 2017 The Author(s). Published by The Geological Society of London, pp.150-153.