

УДК 550.81, 550.8.053

DOI 10.31087/0016-7894-2020-1-113-117

Газогидраты азербайджанского сектора Южного Каспия по данным термодинамических исследований

© 2020 г. | А.В. Полетаев

Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан; avo1@mail.ru

Поступила 29.07.2019 г.

Доработана 30.09.2019 г.

Принята к печати 10.10.2019 г.

Ключевые слова: газогидраты; оценка; газ; Южный Каспий; термодинамическое равновесие.

Аннотация: Геологическое строение и батиметрия морского дна глубоководной части Южного Каспия свидетельствуют о возможности образования значительных объемов газогидратов. Анализ материалов по газогидратам Южного Каспия показал, что в основном все работы базируются лишь на изучении скопления газогидратов Элм, Боздаг, площади Апшерон, а также термодинамических факторах региона для определения возможной зоны их скопления. При исследованиях рассмотрено распределение температур и давлений на изучаемой территории для установления глубины залегания отложений при температуре 24 °С, а также для изучения диапазона изменения давлений в верхней части разреза. Температура формирования газогидратов для различных компонентов неодинакова. В результате анализа установлено, что максимальная глубина термодинамического равновесия при формировании газогидратов из метана может достигать 480 м. На основании термодинамических данных и анализа методических основ интерпретации определены предельные глубины формирования газогидратов. В результате были рассчитаны объемы газа газогидратов в пределах установленной зоны термодинамической стабильности. Общий объем газа составляет $1,15 \cdot 10^{13} \text{ м}^3$.

Для цитирования: Полетаев А.В. Газогидраты азербайджанского сектора Южного Каспия по данным термодинамических исследований // Геология нефти и газа. – 2020. – № 1. – С. 113–117. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-1-113-117.

Gas hydrates in the data of thermodynamic research: Azerbaijan sector of the Southern Caspian

© 2020 | A.V. Poletayev

Oil and gas Institute of National academy of sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; avo1@mail.ru

Received 29.07.2019

Revised 30.09.2019

Accepted for publication 10.10.2019

Key words: gas hydrates; assessment; gas; Southern Caspian; thermodynamic equilibrium.

Abstract: Geological structure and seafloor bathymetry in the deepwater part of the Southern Caspian are indicative of the possibility of generation of considerable gas hydrate amounts. Analysis of the materials related to gas hydrates of the Southern Caspian showed that all the activities aimed at determination of the zone of their possible accumulation are mainly based on the studies of Elm, Bozdag gas hydrate accumulations, and Apsheron area, and also on the thermodynamic factors of the region. As a part of the investigations, temperature and pressure distribution in the study area was examined in order to determine the depth of the formations occurrence at 24 °С, and also to analyse the range of pressure variations in near-surface. The temperature of gas hydrates formation is not the same for different components. As a result of the analysis, it was found that maximum depth of thermodynamic equilibrium at the time of gas hydrates formation from methane could reach 480 metres. On the basis of thermodynamic data and analysis of methodological bases of interpretation, the maximum depths of gas hydrates formation were determined. Finally, the amount of gas in gas hydrates was estimated within the identified zone of thermodynamic stability. Total amount of gas is $1.15 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$.

For citation: Poletayev A.V. Gas hydrates in the data of thermodynamic research: Azerbaijan sector of the Southern Caspian. *Geologiya nefi i gaza*. 2020;(1):113–117. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-1-113-117. In Russ.

Введение

В Азербайджане первые крупные исследования по изучению газогидратов Каспийского моря были проведены в 1972–1986 гг. Анализ равновесных параметров давления и температуры показал, что зона газогидратообразования в условиях Каспийского моря расположена ниже изобаты 250 м. В результате исследований на дне Каспийского моря открыты скопления газогидратов — Боздаг, Элм и одно проявление

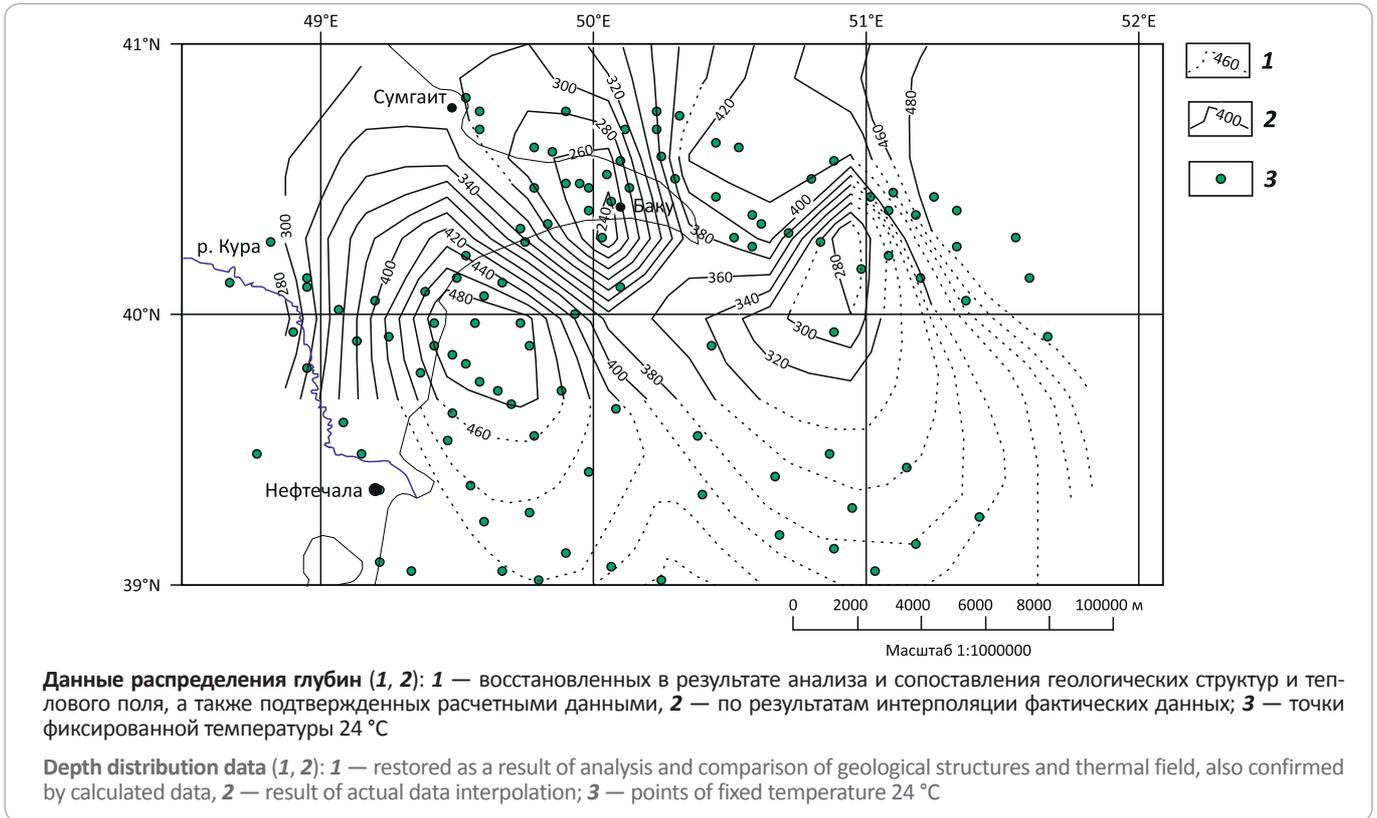
газогидратов — на валу Аби́ха. Установлено, что скопление Боздаг расположено на грязевом вулкане вала Шатского на глубине 480–500 м. В 17 поднятых грунтовых колонках были обнаружены газогидраты в виде ледоподобных полупрозрачных метановых образований разных форм и размеров. Газогидратное скопление Элм находится на глубине 560 м, его протяженность составляет около 4 км. В пяти из семи случаев колонки оказались газогидратоносными [1].



FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

Рис. 1. Карта изменения глубины в метрах при фиксированной температуре 24 °С

Fig. 1. Map of depth variations in metres at fixed temperature of 24 °C



В работе [2] приведены результаты морских исследований, выполненных в пяти милях от газогидратопоявления Элм. В этой зоне проведено сейсмоакустическое профилирование серийной аппаратурой «Аквамарин» на частоте 200–800 Гц с глубиной просвечивания ≈ 700 м от дна и разрешающей способностью ≈ 10 м. По сейсмоакустической записи была выделена диапировая структура. В центральной части диапира наблюдалось характерное затухание акустического сигнала, что, вероятно, обусловлено газоносностью отложений. Эта структура представляет собой усеченно-конусовидное образование высотой 180 м и диаметром у основания около 2,5 км. В 16 поднятых грунтовых колонках обнаружены гидратосодержащие грязевулканические отложения.

В работе [3], основанной на изучении термобарических параметров Южно-Каспийской впадины, были подтверждены гидратообразования, выделенные в 1986 г. Р.А. Гусейновым, Г.Д. Гинсбургом и др. [1, 2]. Работы были проведены с использованием уравнений изменения термического градиента в разрезе пород и равновесного стабильного существования газогидратов в пористой среде. Исходя из анализа вышеуказанных данных, Ч.С. Мурадов прогнозирует наличие газогидратов в осадочных породах до глубины 3000 м, в глубоководной зоне моря — 1000 м [3].

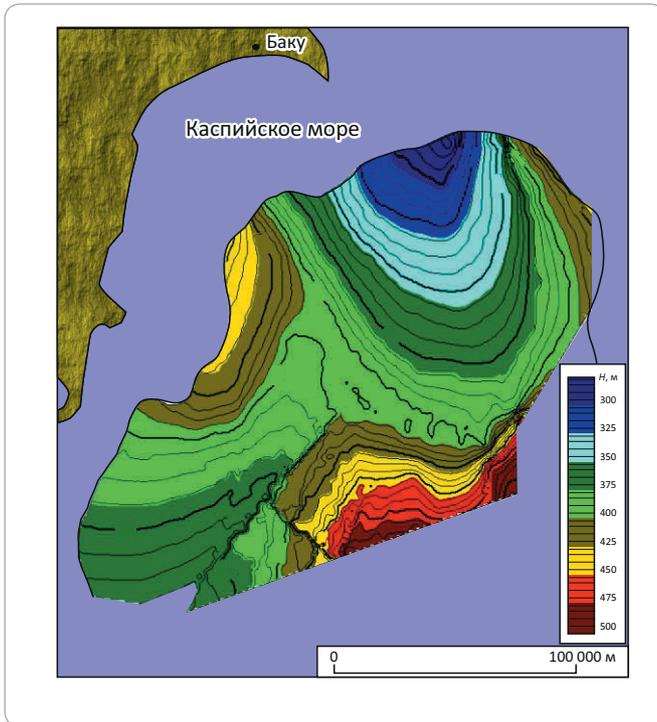
Комплексирование сейсмических и термодинамических данных региона было проведено группой

исследователей для площади Апшерон [4]. Авторы рассмотрели два глубоководных 20-секундных сейсмических профиля, пересекающих Южный Каспий, и выяснили, что газогидраты выявляются до 2 с. Они изучали газогидраты на глубине воды от 200 до 715 м. На этих профилях выделены мелководные высокоскоростные аномалии ($V_p = 2,1$ км/с, $V_s = 0,8$ км/с). Авторы связывают эти аномалии с газогидратами. Кровля газогидрата маркировалась высокоамплитудным положительным ($R_c = 0,123$), а подошва — высоким отрицательным ($R_c = 0,11$) отражением. Из анализа термобарической модели был сделан вывод, что глубина залегания газогидратов в отложениях площади Апшерон может достигать ≈ 1350 м.

В 2012 г. была опубликована книга [5], в которой описаны различные виды газогидратов с момента их возникновения, термодинамические образующие факторы и кинетика образования. В книге также обсуждаются технологии формирования и разрушения газогидратов, раскрывается тема газогидратных залежей, найденных в природе, их разработка и эксплуатация.

Газогидраты очень неустойчивые вещества, существующие в узком диапазоне температур и давления. Они встречаются на дне океанов (на глубине около 500 м) и в полярных районах, где господствуют низкие температуры.

Рис. 2. Карта изменения глубины, м, при фиксированной температуре 24 °С (глубоководная часть Южного Каспия)
Fig. 2. Map of depth variations (metres) at fixed temperature of 24 °С (deepwater part of the Southern Caspian)



Оценивая диаграммы и графики зависимости термодинамического равновесия газогидратов, опубликованные разными авторами [4–14], можно прийти к выводу, что верхний предел формирования газогидратов располагается в интервале 24–27 °С для разных типов газа. Для метана максимум составляет 24 °С. Для оценки возможных зон скопления газогидратов изучено температурное поле Южно-Каспийской впадины, а также детально рассмотрена ее морская часть (в пределах изучаемых месторождений).

Методика и фактический материал

В статье использованы данные температур [15], замеренных в скважинах Южного Каспия. При исследованиях рассмотрено распределение температур и давлений на изучаемой территории для установления глубины залегания отложений при температуре 24 °С, а также для изучения диапазона изменений давления в верхней части разреза. Полученный объем данных позволил проанализировать общую тенденцию изменения температуры по площади (рис. 1, 2).

Для изучения возможных интервалов температур формирования скопления газогидратов в пределах азербайджанского сектора Южного Каспия использована методика Кэррола [10]. Метод является универсальным для определения формирования газогидратов и дает возможность рассчитать температуру формирования их различных типов. Методические основы моделирования процессов гидрато-

образования реализованы в программном комплексе «Hydrate plus» [10]. Расчеты термодинамического моделирования [9] позволили установить возможность формирования газогидратов в пределах установленной зоны. Температура 24 °С в пределах Южного Каспия отмечается в интервале глубин от 280 до 480 м (см. рис. 1). Таким образом, анализ распределения температур в пределах Южного Каспия дает возможность предположить, что максимальная глубина формирования газогидратов по метану может соответствовать глубине 480 м. Пластовое давление изучено на площадях Пираллахи, Нефть-Дашлары, Гюнешли, Чираг, Азери.

На площади Пираллахи в скв. 72 на глубине 417 м пластовое давление составляет 22 МПа, а на 560 м — 38 МПа; в скв. 355 на глубине 416 м пластовое давление достигает 10 МПа; в скв. 456 на той же глубине — 18 МПа. Подобное изменение пластового давления наблюдается и на других месторождениях и площадях. Анализ пластовых давлений по площади верхней части разреза свидетельствует о колебании значений от 0,3 до 38 МПа. Градиент давления верхней части разреза составляет 3 МПа/100 м.

Оценка объемов газогидратов

Объемы газов в зонах газогидратов (GH) рассчитаны по общепринятой формуле

$$GH = V \cdot \Phi \cdot S_h \cdot FV,$$

где V — объем породы, определенный по данным термодинамических исследований; Φ — средняя пористость в зоне газогидратов; S_h — степень емкостного заполнения пористости газогидратов; FV — коэффициент расширения метана при разложении газогидрата (обычно принимается равным 160), и составляют

$$9968864,7275 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,036 \cdot 160 = 1,15 \cdot 10^{13}.$$

Среднее значение пористости в зоне газогидратов занижено на 50 %. Значения S_h выбраны и использованы исходя из анализа результатов, полученных на скоплениях газогидратов Боздаг и Элм, а также из анализа данных [2, 6, 12, 16, 17], S_h для глин составляет 0,036.

Как видно, суммарные объемы газа, рассчитанные для изучаемой площади отложений, достигают $1,15 \cdot 10^{13} \text{ м}^3$. Справедливо отметить, что генерация газа по площади неодинаковая, этот факт подтверждается и данными сейсмических исследований.

Выводы

Анализ методических приемов интерпретации свидетельствует о возможности формирования газогидратов на глубине, меняющейся в широких пределах. Температура образования газогидратов для различных компонентов неодинаковая. Для метана максимальная температура составляет 24 °С. В связи с этим для территории Каспийского моря построена карта изменения температуры по глубине. В ре-

FORMATION AND LOCATION OF OIL AND GAS POOLS

зультате анализа установлено, что максимальная глубина термодинамического равновесия при формировании газогидратов из метана может достигать 480 м. На основе данных термодинамического

равновесия рассчитаны объемы газа газогидратов в пределах установленной зоны термодинамической стабильности. Исходя из расчетов, общий объем газа составляет $1,15 \cdot 10^{13} \text{ м}^3$.

Литература

1. Гусейнов Р.А., Дадашев Ф.Г. Углеводородные газы Каспийского моря. – Баку : Nafta-Press, 2000. – 128 с.
2. Гинсбург Г.Д., Грамберг И.С., Гулиев И.С., Гусейнов Р.А., Дадашев А.А., Иванов В.Л., Кротов А.Г., Мурадов Ч.С., Соловьев В.А., Теплепнев Е.В. Подводногрязевулканический тип скоплений газовых гидратов // Доклады Академии Наук СССР. – 1988. – Т. 300. – № 2. – С. 416–418.
3. Muradov Ch.S. The Area of formation of the South Caspian gas hydrates. South-Caspian basin: geology, geophysics, oil and gas content. – Баку : Nafta-Press, 2004. – С. 322–332.
4. Diaconescu C.C., Kieckhefer R.M., Knapp J.H. Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan // Marine and Petroleum Geology. – 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 209–221. DOI: 10.1016/s0264-8172(00)0061-1.
5. Панахов Р.А., Адуллаев Э.А., Новрузова С.Г. Газовые гидраты. – Баку : Элм, 2012. – 298 с.
6. Бык С.Ш., Фомина В.И. Газовые гидраты // Успехи химии. – 1968. – Т. 37. – № 6. – С. 1098–1135.
7. Дмитриевский А.Н., Баланык И.Е. Газогидраты морей и океанов — источник углеводородов будущего. – М. : Газпром, 2009. – 415 с.
8. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – Т. 20. – № 2. – С. 1–17.
9. Полетаев А.В., Полетаева Е.В. Условия формирования газогидратов в пределах южной части Каспийского моря // Ученые записки Тамбовского отделения РОСМУ. – 2016. – № 5. – С. 247–254.
10. Carroll J. Natural Gas Hydrates. 2nd Edition: A Guide for Engineers. – Burlington : Elsevier, 2008. – 248 с.
11. Sain K., Gupta H.K. Gas hydrates in India: Potential and development // Gondwana Research. – 2012. – Т. 22. – № 2. – С. 112–131. DOI: 10.1016/j.gr.2012.01.007.
12. Frye M., Shedd W., Boswell R. Gas hydrate resource potential in the Terrebonne Basin, Northern Gulf of Mexico // Marine and Petroleum Geology. – 2011. – Т. 34. – № 1. – С. 1–19. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2011.08.001.
13. Milkov A.V., Sassen R. Economic geology of offshore gas hydrates accumulations and provinces // Marine and Petroleum geology. – 2002. – Т. 19. – № 1. – С. 1–11. DOI: 10.1016/S0264-8172(01)00047-2.
14. Bangs N., Hornbach M., Berndt C. The mechanics of intermittent methane venting at South Hydrate Ridge inferred from 4D seismic surveying // Earth and Planetary Science Letters. – 2011. – Т. 310. – № 1–2. – С. 105–112. DOI: 10.1016/j.epsl.2011.06.022.
15. Geothermal Atlas of Azerbaijan / Под ред. А.А. Ali-Zadeh, S.A. Aliyev. – Баку : Nafta-Press, 2001. – 151 с.
16. Sloan E.D., Koh C.A. Clathrate Hydrates Of Natural Gases. 3rd Edition. – CRC Press, 2008. – 752 с. DOI: 10.1201/9781420008494.
17. Полетаев А.В., Полетаева Е.В. Газогидраты Азербайджанского сектора Южного Каспия: термодинамика, сейсмоакустика и газопроявления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 12. – С. 164–178. DOI: 10.18799/24131830/2018/12/32.

References

1. Guseynov R.A., Dadashev F.G. Uglevodorodnye gazy kaspийskogo morya [Hydrocarbon gases of the Caspian Sea]. Baku: Nafta-Press; 2000. 128 p. In Russ.
2. Ginsburg G.D., Gramberg I.S., Guliev I.S., Guseynov R.A., Dadashev A.A., Ivanov V.L., Krotov A.G., Muradov Ch.S., Solovov V.A., Telepnev E.V. Podvodnogyazevulkanicheskiy tip skopleniy gazovykh gidratov [Subsea mud volcanoes type of the gas hydrate fields]. Doklady Akademii Nauk SSSR. 1988;300(2):416–418. In Russ.
3. Muradov Ch.S. The Area of formation of the South Caspian gas hydrates. South-Caspian basin: geology, geophysics, oil and gas content. Baku: Nafta-Press; 2004. pp. 322–332.
4. Diaconescu C.C., Kieckhefer R.M., Knapp J.H. Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology. 2011;18(2):209–221. DOI: 10.1016/s0264-8172(00)0061-1.
5. Panakhov R.A., Adullaev E.A., Novruzova S.G. Gazovye gidraty [Gas hydrates]. Baku: Elm; 2012. – 298 p. In Azeri.
6. Byk S.Sh., Fomina V.I. Gazovye gidraty [Gas hydrates]. Uspekhi khimii = Russian Chemical Reviews. 1968;37(6):1097–1135. In Russ.
7. Dmitrievskiy A.N., Balanyuk I.E. Gazogidraty morey i okeanov — istochnik uglevodorodov budushchego [Gas hydrates of the sea and ocean — hydrocarbon future source]. Moscow: Gazprom; 2009. 415 p. In Russ.
8. Makogon Yu.F. Gazogidraty. Istoriya izucheniya i perspektivy osvoeniya [Gas hydrates. History of study and perspectives of development]. Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. 2010;20(2):1–17. In Russ.
9. Poletayev A.V., Poletayeva Y.V. Gas hydrate formation condition in the south part of the Caspian Sea. Uchenye zapiski Tambovskogo otdeleniya ROSMU. 2016;(5):247–254. In Russ.
10. Carroll J. Natural Gas Hydrates. 2nd Edition: A Guide for Engineers. Burlington: Elsevier; 2008. 248 p.
11. Sain K., Gupta H.K. Gas hydrates in India: Potential and development. Gondwana Research. 2012;22(2):112–131. DOI: 10.1016/j.gr.2012.01.007.
12. Frye M., Shedd W., Boswell R. Gas hydrate resource potential in Terrebonne Basin, Northern Gulf of Mexico. Marine and Petroleum Geology. 2011;34(1):1–19. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2011.08.001.

13. *Milkov A.V., Sassen R.* Economic geology of offshore gas hydrates accumulations and provinces. *Marine and Petroleum geology*. 2002;19(1): 1–11. DOI: 10.1016/S0264-8172(01)00047-2.
14. *Bangs N., Hornbach M., Berndt C.* The mechanics of intermittent methane venting at South Hydrate Ridge inferred from 4D seismic surveying. *Earth and Planetary Science Letters*. 2011;310(1–2):105–112. DOI: 10.1016/j.epsl.2011.06.022.
15. *Ali-Zadeh A.A., Aliyev S.A.* (eds.) Geothermal Atlas of Azerbaijan. Baku: Nafta-Pressa; 2001. 151 p.
16. *Sloan E.D., Koh C.A.* Clathrate Hydrates Of Natural Gases. 3rd Edition. CRC Press; 2008. 752 p. DOI: 10.1201/9781420008494.
17. *Poletayev A.V., Poletayeva Y.V.* Gas hydrates within Azerbaijan sector of Southern Caspian: thermodynamics, seismoacoustics and gas shows. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018;329(12):164–178. DOI: 10.18799/24131830/2018/12/32. In Russ.

Информация об авторе

Полетаев Александр Владимирович

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник

Институт Нефти и Газа
Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZ1000, Баку, ул. Ф. Амирова, д. 9

e-mail: avo1@mail.ru

номер ORCID: 0000-0003-4087-6683

Information about author

Alexander V. Poletayev

PhD in geosciences, leading researcher
Oil and Gas Institute of National Academy
of Sciences of Azerbaijan,

9, F. Amirov str., Baku, AZ1000, Azerbaijan

e-mail: avo1@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4087-6683