

УДК 550.81,550.8.053

ГАЗОГИДРАТЫ ЮЖНОГО КАСПИЯ

© 2020 г. А. В. Полетаев*

*Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана,
Баку, Азербайджан*

**e-mail: avo1@mail.ru*

Поступила в редакцию 02.10.2019 г.

После доработки 17.11.2019 г.

Принята к публикации 16.12.2019 г.

Геологическое строение и батиметрия морского дна глубоководной части Южного Каспия указывают на возможность образования значительных объемов газогидратов. Цель исследований заключается в подсчете объема углеводородных газов газогидратов на основании интеграции геолого-геофизических, геохимических и термодинамических данных, а также изучения и прогнозирования поступления УВ газов в верхнюю часть разреза. Для региональной характеристики газогидратов использовано 17 региональных сейсмических профилей, 1282 пробы по газовой съемке и термодинамические данные, полученные в глубоководной части Южного Каспия. Расчет объемов газа газогидратов основан на интерпретации как сейсмических ($8.06 \times 10^{12} \text{ м}^3$), так и термодинамических данных ($1.15 \times 10^{13} \text{ м}^3$). Результаты газовой съемки указывают на гетерогенную структуру газогидратов по площади. В заключении установлено, что углеводородные газы газогидратов Южного Каспия находятся в тесной зависимости от источников формирования углеводородов, миграции и других процессов, протекающих в глубоководных отложениях, а также в верхней части разреза.

Ключевые слова: Южный Каспий, газогидраты, газ, оценка, углеводороды

DOI: 10.31857/S003015742004019X

ВВЕДЕНИЕ

В Азербайджане первая крупная работа по изучению газогидратов Каспийского моря проведена в период с 1972 по 1986 гг. Анализ равновесных параметров давления и температуры показал, что зона гидратообразования в условиях Каспийского моря существует ниже изобаты 250 м. В результате морских исследований на дне Каспийского моря открыты скопления газогидратов, названные Буздаг, Элм, и одно проявление газогидратов на валу Абиha. Установлено, что скопление Буздаг приурочено к одноименному грязевому вулкану вала Шатского на глубинах 480–500 м. В 17-ти поднятых грунтовых колонках обнаружены газогидраты в виде льдоподобных полупрозрачных метановых образований различной формы и размеров. Газогидратное скопление Элм, протяженностью около 4 км, располагается на глубинах моря 560 м. В пяти из семи случаев колонки оказались гидратоносными [3, 5].

В работе [2] приведены результаты морских исследований, выполненных в 5 милях от газогидратопоявления Элм. По сейсмоакустической записи была выделена диапировая структура. В центральной части диапира наблюдалось характерное затухание акустического сигнала, что, вероятно, обусловлено газоносностью от-

ложений. В 16 поднятых грунтовых колонках обнаружены гидратосодержащие грязевулканические отложения.

В 2004 г. опубликована работа [14], основанная на изучении термобарических параметров Южного Каспия. Исходя из анализа данных, автор прогнозирует наличие газогидратов в осадочных породах до глубин 3000 м, в зоне глубин моря – 1000 м.

Комплексирование сейсмических и термодинамических данных региона проведено группой исследователей [12] для площади Апшерон. Авторы рассмотрели два глубоководных 20 с профиля, пересекающих Южный Каспий, и выяснили, что газогидраты выявляются до 2 с. Они изучали газогидраты на глубинах моря от 200 до 715 м. Из анализа термобарической зоны стабильности газовых гидратов авторы сделали вывод, что глубина залегания газогидратов в отложениях площади Апшерон может устанавливаться до ≈ 1350 м.

С целью поисков газогидратов верхняя часть разреза глубоководных отложений Южного Каспия является наименее изученной и описанной в литературе зоной. Причем изучение зон газогидратов по сейсмическим данным произведено только на одной структуре Апшерон [12].

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮЖНОГО КАСПИЯ

В геологическом строении Южного Каспия (рис. 1а) участвуют отложения от юрского до антропогенного возраста (рис. 1б). В шельфовой зоне антропогенные отложения представлены плохо отсортированными песчано-глинистыми образованиями мощностью до 650 м. Неогеновые отложения, в среднем имеющие мощность 5000 м, представлены плиоценовым (до 3500 м) и миоценовым (до 1500 м) отделами. Первый из них сложен глинами, песками и песчаниками, а второй представлен глинами с редкими прослоями песков и алевроитов. В нижнем плиоцене накопилась мощная толща осадков – Продуктивная толща (ПТ). В этой толще (рис. 1в) выделяются следующие стратиграфические свиты: Сураханская, Сабунчинская, Балаханская, Кирмакинская (КС), Надкирмакинская глинистая свита (НКГ), Надкирмакинская песчаная свита (НКП), Подкирмакинская (ПК) и Калининская свиты (КаС) [1]. Мощность каждого стратиграфического горизонта в пределах продуктивной толщи колеблется в широких пределах от 20 до 120 м на суше и от 300 до 600 м в глубоководных зонах Южного Каспия. Мощность всех стратиграфических горизонтов увеличивается в сторону глубоководной части Южного Каспия [4, 7].

В пределах глубоководной части Южного Каспия сейсмическими работами по плиоцен-четвертичному структурному этажу выявлено около 80 локальных поднятий различной ориентации (от широтной до меридиональной). Наиболее крупным тектоническим элементом здесь является вал Аби́ха, протягивающийся в северо-восточном направлении на 140 км. В пределах этого вала кровля среднего плиоцена залегает на глубинах менее 3000 м, а в прилегающих синклинальных прогибах она погружается до 6500–7500 м. Амплитуда вала Аби́ха, по отношению к прилегающим прогибам, составляет порядка 3500–4500 м. При такой большой амплитуде складчатость вала Аби́ха затухает в юго-восточном направлении. Геоморфологически, кроме вала Аби́ха, отмечается и аналогичный вал Шатского северо-восток–юго-западного простирания. Мощность осадочного чехла здесь достигает 25 км [1]. Ритмичное чередование песчаных коллекторов и глинистых покрышек и благоприятные структурные условия обусловили насыщения углеводородами всего разреза продуктивной толщи на Апшеронском полуострове и прилегающей акватории шельфа. В пределах района выделяется до 40 нефтегазовых объектов (Балаханы-Сабунчи-Раманы, Сураханы, Биби-Эйбат, Кала и др.).

Донные осадки глубоководной части Южного Каспия в основном представлены отложениями четвертичного возраста. Это четко прослеживается

на основании систематизации и анализа данных предыдущих исследований [1, 7, 8, 16]. В результате составлена обобщающая схема распределения донных осадков по площади и приведена их литолого-фациальная характеристика (рис. 2). Как видно из карты, в пределах Южного Каспия намечаются определенные зоны выхода плиоценовых отложений, согласующиеся с общим геологическим строением Южного Каспия. В пределах глубоководной части на поверхности дна моря установлены глинистые илы разной консистенции.

МЕТОДИКА И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

При изучении верхней части разреза (ВЧР) глубоководных отложений Южного Каспия использованы 17 региональных сейсмических профилей и данные термодинамики региона (рис. 3) [13]. По двум площадям Южного Каспия использованы данные скоростного анализа. Перевод сейсмического материала из временного разреза в глубинный осуществлялся с помощью глубинно-временной диаграммы [16]. Расположения сейсмических профилей представлены на рис. 4. Интерпретация данных производилась с помощью лицензионного программного комплекса Kingdom Suite 2017. Применение сейсмических методов при изучении газогидратов основано на наличии прямой связи между особенностями геологического строения зон газогидратов и распределением в среде физических параметров. Индикатором газогидрата на временном разрезе могут быть аномальные изменения сейсмических характеристик волн: амплитуда, частота, фаза, скорости продольных и поперечных волн и т.д. Наиболее широко применяемым сейсмо-разведочным признаком газогидрата является наличие на сейсмических записях отражающего сейсмического горизонта Bottom Simulation Reflector (BSR) и ярких пятен [3, 11, 12, 15]. По этим критериям интерпретированы все временные разрезы, указанные на рис. 4.

В работе использованы также данные по газовой съемке (1282 пробы газа), проведенной в пределах Южного Каспия (рис. 5), и данные геолого-геофизических исследований и др. материалы [4, 8, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Построена карта изменения поддонной глубины при фиксированной температуре 24°C (рис. 3) и рассчитано термодинамическое равновесие для газов двух газогидратных скоплений – Боздаг и Элм [9]. Скопления кристаллогидратов в акватории Южного Каспия характеризуются неравномерным распределением в породах. Положение их определяется неоднородностью температур-

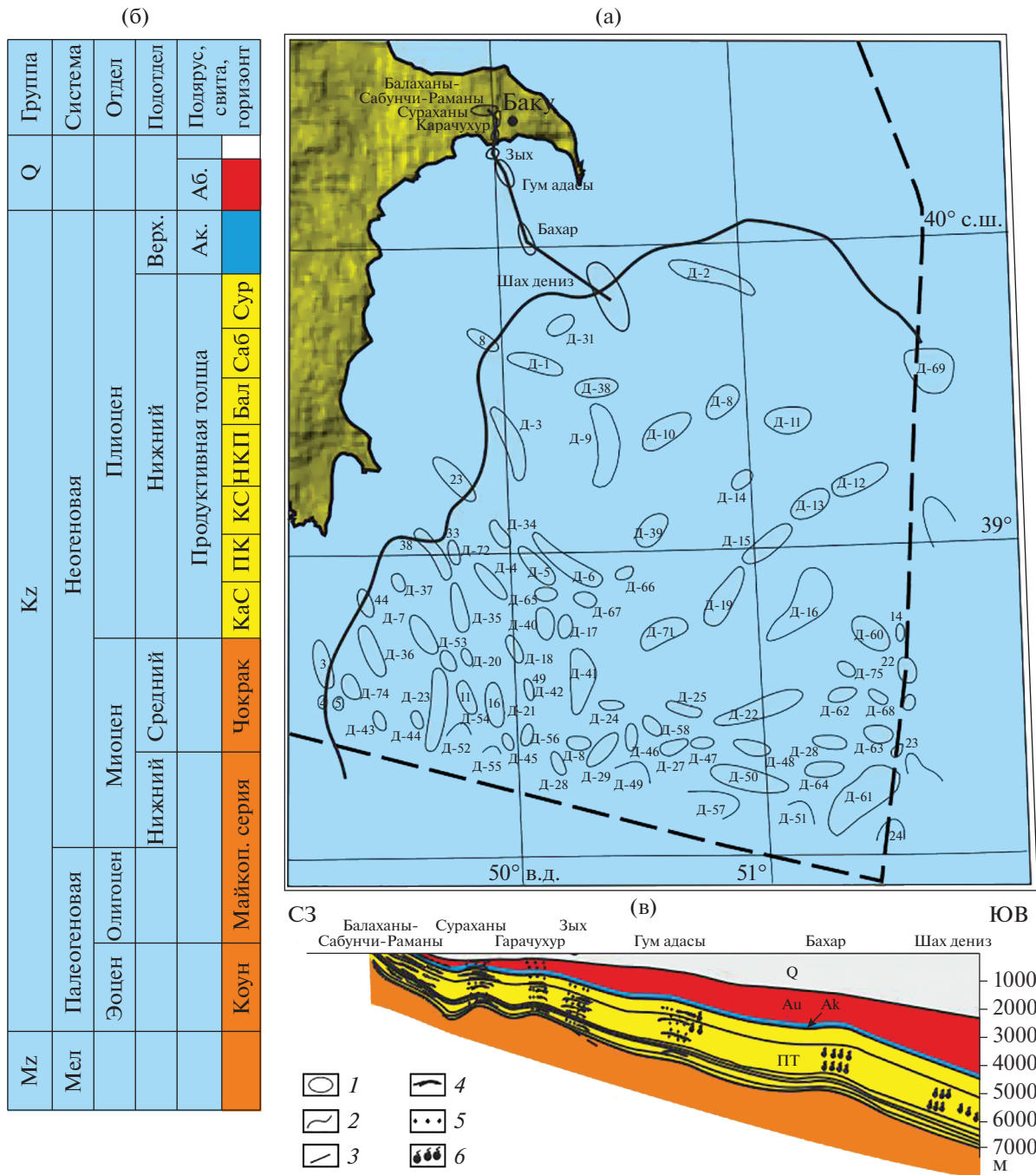


Рис. 1. Карта расположения изучаемых площадей Южного Каспия (в основу положена карта тектонического районирования нефтегазоносных территорий Азербайджана [1]). 1 – месторождения нефти и газа; 2 – изобата, 200 м.; 3 – профиль по линии СЗ-ЮВ; 4 – нефтяные залежи с растворенным в нефти газом; 5 – нефтяные залежи с газовыми шапками; 6 – газоконденсатные залежи.

ного поля и давления по площади и разрезу. На основе данных термодинамического равновесия рассчитаны объемы зон газогидратов. Исходя из расчетов установлено, что суммарные объемы газа газогидратов для изучаемой площади отложений составляют $1.15 \times 10^{13} \text{ м}^3$ [9].

В результате интерпретации 17 сейсмических временных разрезов (рис. 4а), секущих глубоководную зону, выделены границы зон газогидратов [11]. Расчеты произведены для всей глубоководной зоны (рис. 4б), объем пород которой составляет $6.99365 \times 10^{12} \text{ м}^3$. Суммарные объемы

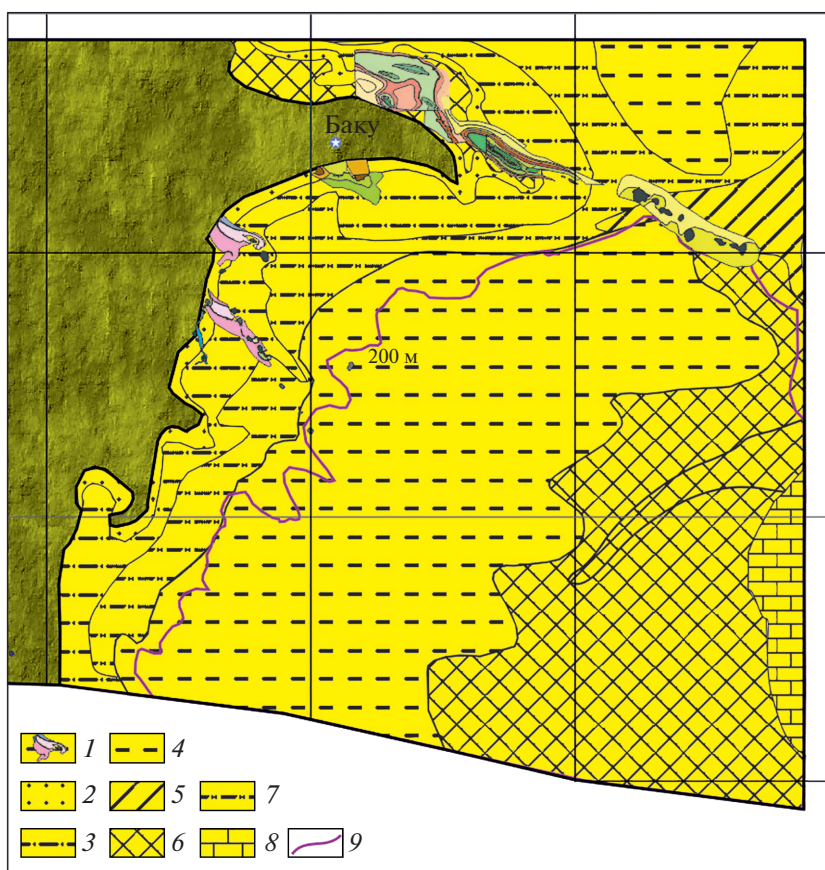


Рис. 2. Обобщающая схема распределения донных осадков по площади и их литолого-фациальная характеристика [по данным 1, 7, 8].

1 – выходы плейстоцен-четвертичных отложений; 2 – песок терригенный; 3 – мелко-алевролитовый ил; 4 – глинистый ил слабозернистый; 5 – зона илового осадконакопления; 6 – глинистый ил; 7 – алевролитоглинистый ил; 8 – известковый ил; 9 – изобата, 200 м.

газа, рассчитанные для изучаемой площади, составляют 8.06 трил. м³.

Результаты газовой съемки в пределах глубоководной части Южного Каспия [10] показали, что для этой зоны характерна газогенерация с преобладанием двух компонентов – метана и этана (рис. 5а, 5б). Интенсивные выходы гомологов метана (рис. 5б) установлены только в ряде зон вблизи структур Д-12, Д-13, Д-15, Д-19, Д-29, Д-66, Д-71, Гюнешли и Чираг. Для других зон интенсивность их проявления минимальна. Таким образом, можно ожидать, что газогидраты, имеющие в составе гомологи метана, будут установлены в зонах структур Д-12, Д-13, Д-15, Д-19, Д-29, Д-66 и Д-71.

Литификация осадков в дигенетической зоне до глубин 400–500 м и на дальнейших стадиях преобразования органического вещества в подавляющих случаях ведет к восстановительной обстановке. Понятно, что в таких условиях газы могут быть не только миграционными, но также и

сформировавшимися в современных осадках Южного Каспия. С целью оценки возможных объемов газа предпринята попытка их количественного анализа. Для расчета масштабов генерации газов глубоководной части Южного Каспия (от изобаты 200 м) использованы данные по объему пород от новокаспийского до ачкагыльского региона русов включительно и среднее содержание органического углерода. В таблице 1 приведены расчеты объемов генерации УВ газа.

Расчет масштабов генерации УВ газов произведен по формуле [6]:

$$Q_{\text{гн}} = Vd\text{ОВ}^* \gamma \tau \times 10^{-6},$$

где $Q_{\text{гн}}$ – масштабы генерации газа и нефти, трлн м³; V – объем нефтегазоматеринских глинистых пород, см³; d – плотность, г/см³; γ – коэффициент генерации газообразных углеводородов; ОВ – содержание органического вещества в изучаемом комплексе (в граммах на 1 кг нефтегазоматеринской породы); τ – поправка, учитывающая текто-

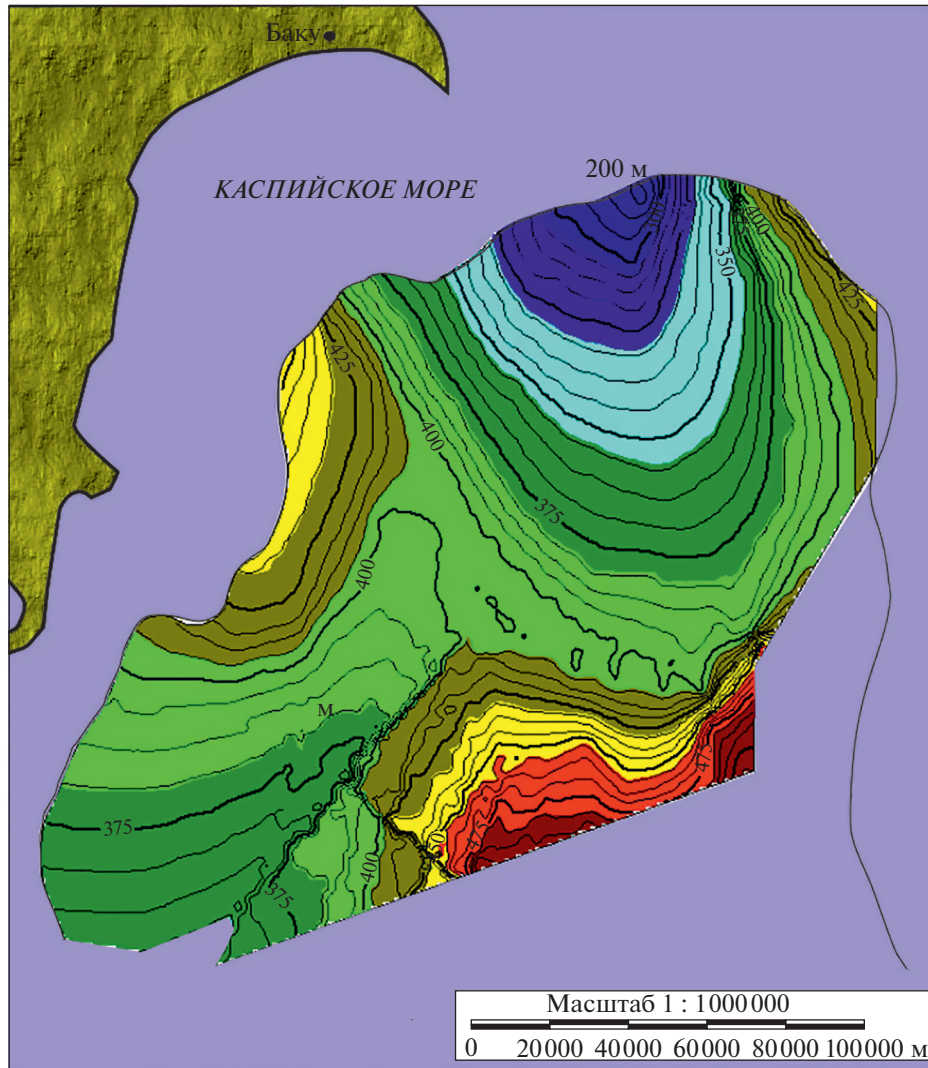


Рис. 3. Карта изменения поддонной глубины при фиксированной температуре 24°C (глубоководная часть Южного Каспия) [9].

нодинамические условия и корректирующая соответствие масштабов газообразования в осадочном бассейне с экспериментальными и фактическими данными.

ВЫВОДЫ

На основе интеграции геолого-геофизических и геохимических данных построена модель плиоцен-четвертичных отложений глубоководной ча-

Таблица 1. Расчеты объемов УВ газов для глубоководной части Южного Каспия

Стратиграфический возраст	Объем пород, в см ³	Плотность осадков, г/см ³	ОВ (г) на 1 кг	γ	τ	Объем УВ газа
Хвалынский горизонт	4.38×10^{18}	1.6	10	0.01	3.00×10^{-8}	7.01×10^{17}
Ранне-Хазарский горизонт	1.50×10^{19}	2.0	10	0.01	4.00×10^{-8}	3.00×10^{18}
Бакинский горизонт	8.11×10^{18}	2.1	10	0.01	5.00×10^{-8}	1.70×10^{18}
Тюрканский горизонт	6.16×10^{18}	2.2	10	0.01	5.00×10^{-8}	1.36×10^{18}
Абшеронский регионарус	3.60×10^{19}	2.35	10	0.01	5.00×10^{-8}	8.46×10^{18}
Акчагыльский регионарус	4.63×10^{18}	2.4	10	0.01	5.00×10^{-8}	1.11×10^{18}

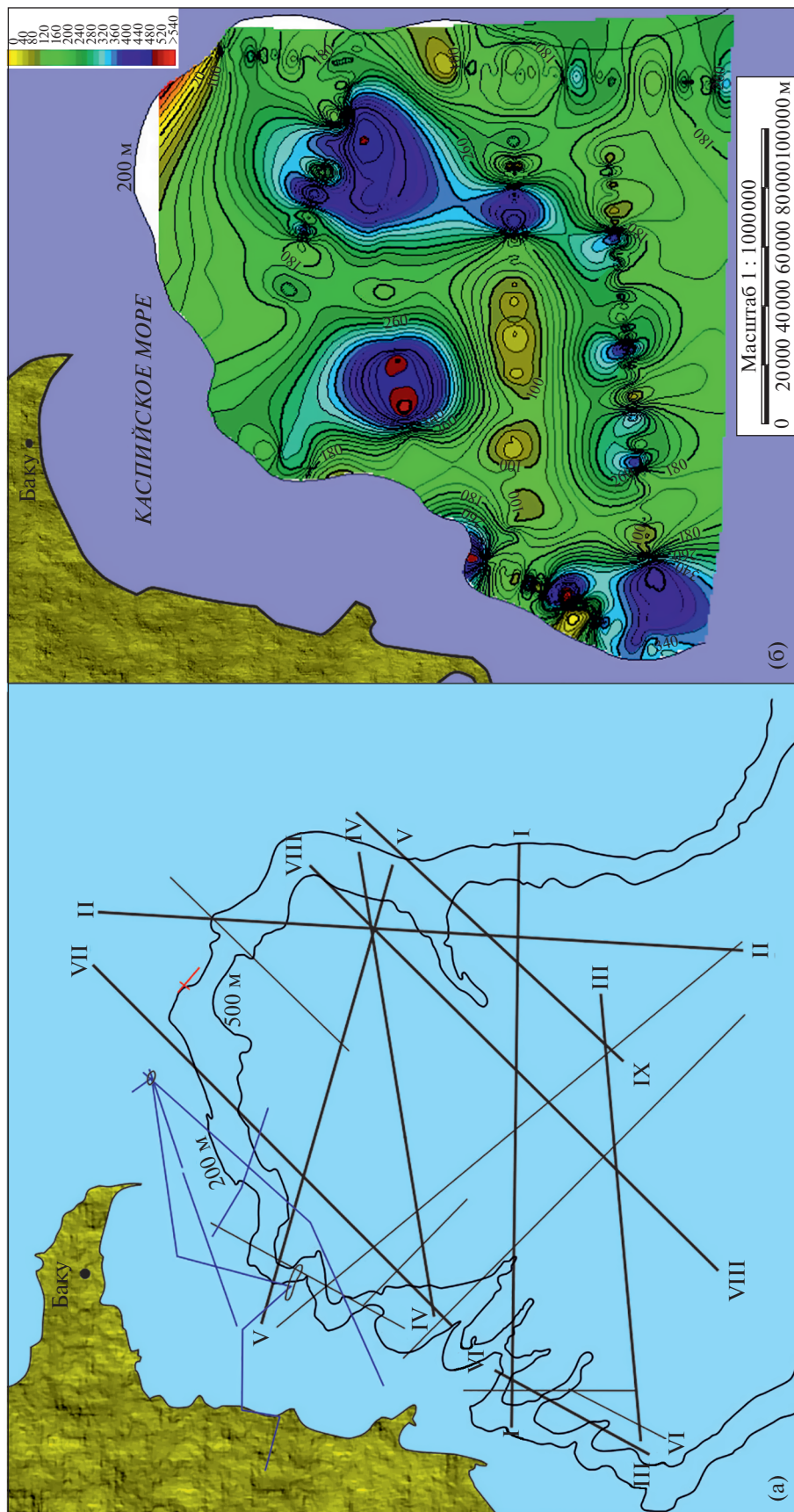


Рис. 4. Результаты интерпретации сейсмических данных [11] в пределах глубоководной части Южного Каспия: (а) – расположение сейсмических профилей; (б) – карта толщин зон газогидратов.

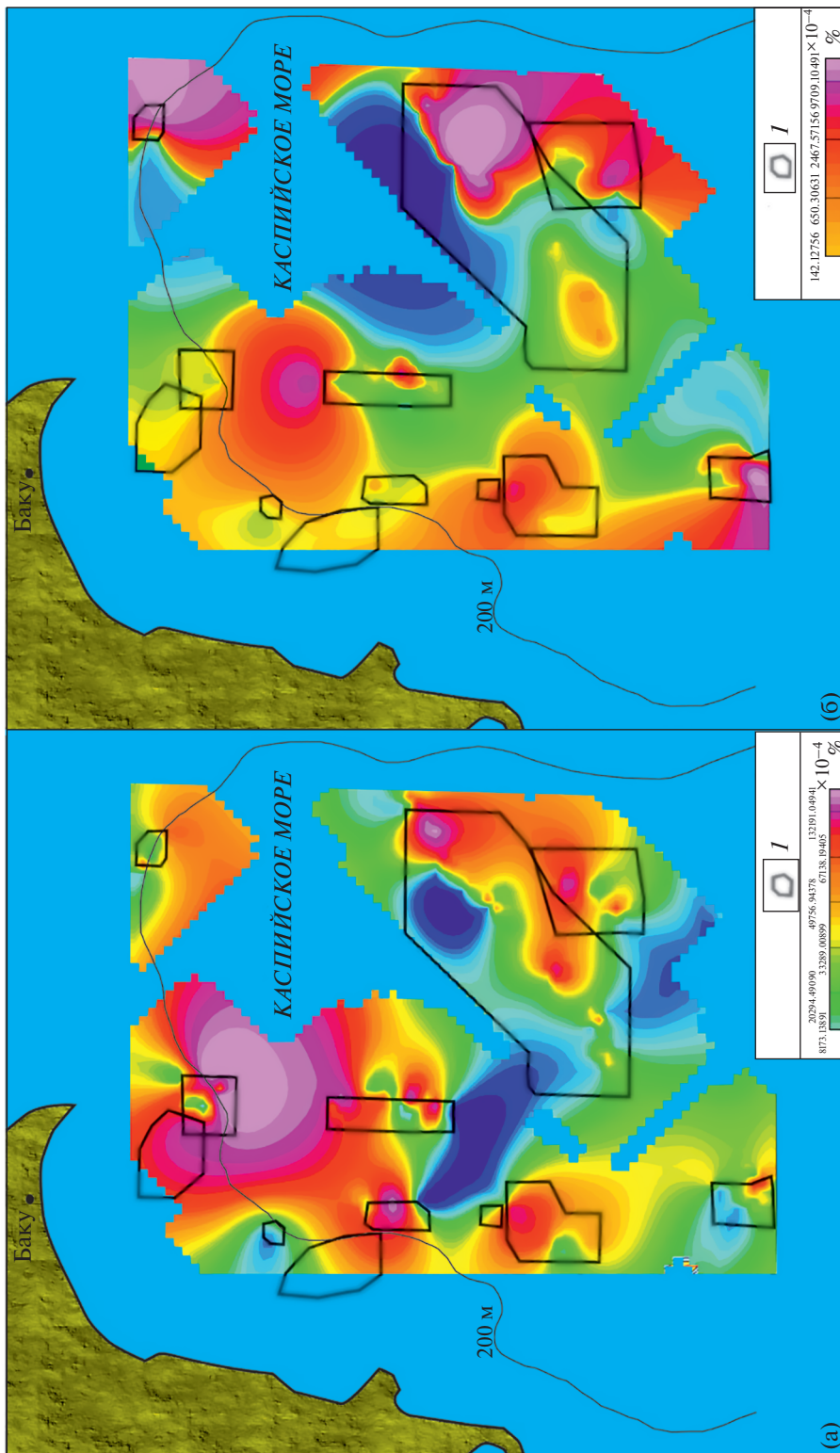


Рис. 5. Результаты газовой съемки [10] в пределах глубоководной части Южного Каспия: (а) — распределение метана, (б) — распределение суммы тяжелых углеводородов. 1 — область отбора проб газа.

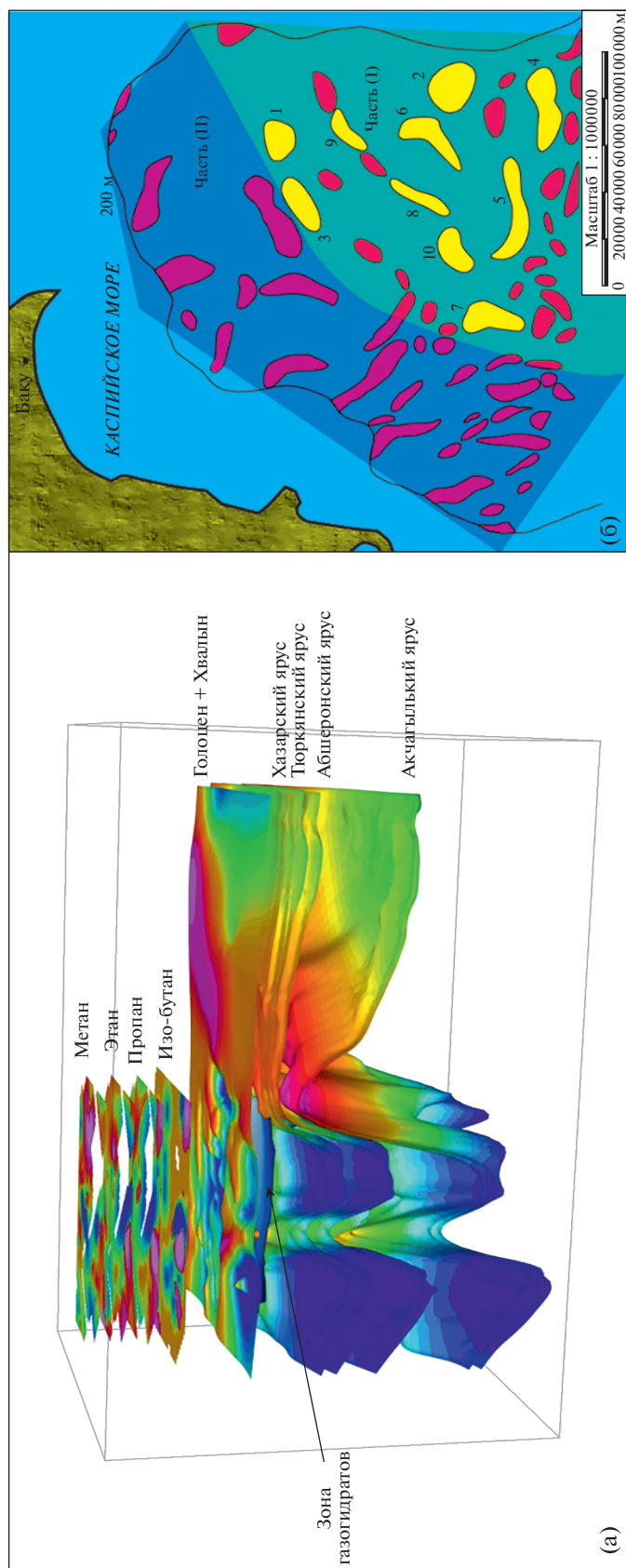


Рис. 6. Геолого-геохимическая модель плиоцен-четвертичных отложений (а) и карта распределения объемов газа [11] по площади (б).

сти Южного Каспия с целью выявления скоплений газогидратов (рис. 6а). Кроме того в модели заложены результаты расчетов термодинамического равновесия в пределах глубоководной части Южного Каспия. Анализ полученной модели позволяет сделать вывод, что газогидраты, в состав которых входят гомологи метана, будут установлены в зонах структур Д-12–Д-15, Д-19, Д-45, Д-56, Д-59, Д-66 и Д-71. Ранжирование данных по объемам в пределах структур (рис. 6б) показало [11], что в 10 первых структурах 1 – Д-11, 2 – Д-60, 3 – Д-10, 4 – Д-28, 5 – Д-25, 6 – Д-16, 7 – Д-41, 8 – Д-19, 9 – Д-13, 10 – Д-71 содержится $6.12 \times 10^{11} \text{ м}^3$ газа, в то время как для всех остальных 46 структур объем газа составляет $6.40 \times 10^{11} \text{ м}^3$.

Из модели видно, что толщины гидратоносных горизонтов увеличиваются в зонах, где плиоценовые отложения располагаются на более гипсометрически повышенных участках, к которым в первую очередь относится зона Аби́ха, а также области в зонах структур Д-21 и Д-42. В этих зонах толщины гидратоносных горизонтов варьируют в интервале от 200 до 350 м. Это обуславливается тем, что плиоценовые отложения обладают значительными объемами УВ и имеют высокий генерационный потенциал [10]. Следует отметить, что зоны Д-21 и Д-42 характеризуются сложным геологическим строением, осложнены разломами и грязевыми вулканами. Для зон, связанных с грязевыми вулканами, характерно отсутствие значительных толщин газогидратов, варьирующих в интервале от 50 до 200 м.

Установлено, что газогидраты формируются в зоне диагенеза, нижняя граница которого фиксируется приблизительно на глубине 500 м при максимальной температуре 24°C. Анализ газо-геохимического материала показывает, что антропоген-плиоценовые отложения характеризуются повсеместными интенсивными выходами УВ газов, активность проявления которых меняется в зависимости от территориальной принадлежности. Углеводородные газы, сформированные в диагенетической зоне, имеются в достаточных объемах и могут создавать участки кристаллизации. Сформировавшиеся газогидраты цементируют морские осадки и делают их практически непроницаемыми для углеводородных газов. Это значительно ограничивает процессы диффузионного рассеивания углеводородов газов и способствуют их сохранению [10, 16]. Другим важным фактором является увеличение объемов газогидратов в зонах стабильности. Это обуславливается поступлением значительных объемов газогидратов из подстилающих отложений в зоны стабильности. Подстилающими отложениями являются нижележащие отложения плиоцен-четвертичного возраста.

Анализируя результаты бассейнового моделирования и изучения изотопного состава УВ газов Южного Каспия, можно заключить, что процессы нефтегазообразования охватывают здесь широкий стратиграфический интервал (от юры до раннего плиоцена включительно) и характеризуются изменчивостью в пространстве. Поступление УВ газов в верхнюю часть разреза происходит благодаря вертикальной миграции углеводородов, формирующихся в термokatалитической зоне. Причем, углеводородные газы могут и не быть привязанными к нефтегазовым или газовым месторождениям больших глубин. Пористость и проницаемость ВЧР значительно отличаются от данных по подстилающим их отложениям ПТ. Коллекторы ПТ образуют мощную переслаивающуюся толщу, в которой каждый проницаемый слой отделен мощными умеренно уплотненными глинами, изолирующими его от соседних слоев. Миграция УВ газов из термokatалитической зоны способствует дальнейшему накоплению газогидратов в пределах зоны стабильности. Углеводородные газы в донных осадках, а также в отложениях верхней части разреза Южного Каспия находятся в тесной зависимости от источников формирования УВ, миграции и других процессов, протекающих в плиоцен-четвертичных отложениях.

Таким образом, Южный Каспий имеет высокие перспективы поисков газогидратов по площади и разрезу. Первоочередные объекты для поисков газов газогидратов будут связаны с четвертичными отложениями структур Д-11, Д-13, Д-16, Д-19, Д-25, Д-41 и Д-71.

Исходя из вышеизложенного в глубоководной части Южного Каспия выделяются две газогидратные зоны:

- северо-западная кристаллогидратная прогнозная зона;
- перспективная юго-восточная зона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология Азербайджана. Нефть и газ / (ред. ак. А. Али-заде). Баку: Nafta-Press, 2008. Т. VII. 380 с.
2. Гинсбург Г.Д., Грамберг И.С., Гулиев И.С. и др. Подводногрязевулканический тип скоплений газовых гидратов // Докл. А.Н. СССР. 1988. Т. 300. № 2. С. 416–418.
3. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. 193 с.
4. Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Полетаев А.В. Изотопы углеводородных газов Азербайджана. Баку: Изд-во Nafta-Press., 2013. 107 с.
5. Гусейнов Р.А., Дадашев Ф.Г. Углеводородные газы Каспийского моря. Баку: Нафта-Пресса, 2000. 128 с.
6. Дьяконов А.И., Соколов Б.А., Бурлин Ю.К. Теоретические основы и методы прогноза, поисков и раз-

- ведки месторождений нефти и газа. Ухта: УГТУ, 2002. 327 с.
7. *Лебедев Л.И.* Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Южного, Среднего и Северного Каспия. М.: Министерство нефтяной промышленности СССР, Академия наук СССР. 1977. Т. 1. 2.512 с.
 8. Обобщение геолого-геофизических материалов и данных бурения с целью изучения газоносности верхней части разреза и выходов газа донных осадков (газогидратов) северной части Азербайджанского сектора Абшеронского и Бакинского архипелагов Каспийского моря. Баку: Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики, 2012. 215 с.
 9. *Поletaев А.В., Поletaева Е.В.* Газогидраты азербайджанского сектора Южного Каспия: термодинамика, сейсмоакустика и газопроявления // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 12. С. 164–178.
 10. *Поletaев А.В., Поletaева Е.В.* Исследование распределения выходов углеводородных газов в зависимости от геологического строения Южного Каспия по данным газовой съемки // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 11. С. 136–152.
 11. *Поletaев А.В., Поletaева Е.В.* Оценка объемов углеводородных газов газогидратов Азербайджанского сектора Южного Каспия по сейсмическим данным // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 10. С. 153–162.
 12. *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*. 2001. V. 18. P. 209–221.
 13. *Geothermal Atlas of Azerbaijan* / Eds. Ali-Zadeh A.A., Aliyev S.A. Geological Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences. 2001. 151 p.
 14. *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. P. 322–332.
 15. *Sloan Dendy E., Koh Carolyn A.* Clathrate Hydrates of Natural Gases. Third Edition. CRC Press. 2007. 721 p.
 16. South Caspian Basin project. Geological Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences (GIA), Azerbaijan research Institute of Geophysics (SOCAR), Earth Sciences and Resources Institute of the South Carolina (ESRI), 1995. 171 p.

Gas Hydrates of Southern Caspian

A. V. Poletayev[#]

Oil and Gas Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

[#]*e-mail: avo1@mail.ru*

The geological structure and bathymetry of the deep-water part of the Southern Caspian indicate the possibility of the formation of significant amounts of gas hydrates. The aim of the research is to calculate the volume of hydrocarbon gases of gas hydrates according to integration of geology-geophysical, geochemical and thermodynamic data, as well as to study and predict the migration of hydrocarbon gases into the upper part of the section. For regional characterization of gas hydrate to be used for 17 seismic profiles, 1282 samples of the gas survey and thermodynamic data was carry out in the Southern Caspian deep area. Estimation of the gas volume of gas hydrate is based on interpretation of seismic data ($8.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$), as well as thermodynamic data ($1.15 \times 10^{13} \text{ m}^3$). The result of the gas survey indicates heterogeneous nature of gas hydrate by area. Finally, it has been established that hydrocarbon gases in bottom sediments and sediments of the upper part of the South Caspian section are closely related to the sources of hydrocarbon formation, migration and other processes occurring in deeply buried sediments, as well as in the upper part of the section.

Keywords: South Caspian, gas hydrates, gas, estimation, hydrocarbon