

Рис. 5. Зависимость температуры от глубины залегания пластов во газонефтяном месторождении Восточного Предкавказья (по данным Дятлова).  
Газонефтяные месторождения и структуры:  
1 – Александровская, 2 – Арзирская, 3 – Атамузская, 4 – Бажили, 5 – Бурица, 6 – Восточно-Сулеймановская, 7 – Гелогосский, 8 – Жираский, 9 – Западно-Майский, 10 – Каленский, 11 – Каспийский, 12 – Комсомольская, 13 – Кочубевская, 14 – Кузнецкая, 15 – Перекрестная, 16 – Присельская, 17 – Равнинная, 18 – Северо-Кочубевская I, 19 – Солонская, 20 – Сулеймановская, 21 – Тарумовская, 22 – Терекли-Местеб, 23 – Черноевье Бурица, 24 – Чидальская, 25 – Эригорская

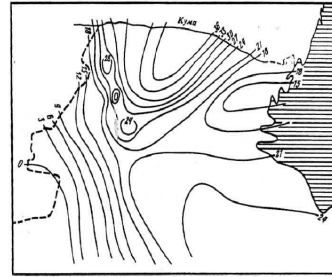


Рис. 6. Схематическая карта естественных запасов термальных вод среднеюрских водонесных горизонтов Платформенного Дагестана.  
Изобилие водной естественных запасов, млн м³/км²

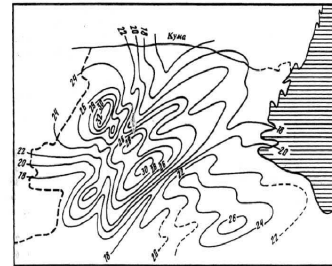


Рис. 7. Схематическая карта естественных запасов термальных вод нижнеюрского водонесного комплекса Платформенного Дагестана.  
Изобилие водной естественных запасов, млн м³/км²

## Массы, массопотоки и баланс седиментационных вод Каспийского осадочного бассейна

В.П.Зверев, И.А.Костикова  
Институт геоэкологии РАН

Впадина Каспийского моря, занятая акваторией моря, вытянута в меридиональном направлении, имея длину около 1200 км и ширину – около 320 км. Ее площадь составляет 374000 км<sup>2</sup>, а общая масса воды в Каспийском море достигает 0,78·10<sup>20</sup> г.

На территории, занимаемой современным Каспием выделяются три основных геолого-структурных элемента: в северной части - Прикаспийской синеклизы, в центральной - эпигерцинская Скифско-Туранская плита, а на западе и юге - зона альпийской складчатости. Последняя подразделена на Северо-западную часть, примыкающую к восточной оконечности Большого Кавказа. и Южную - представляющую собой крупную мегавпадину, залегающую на базальтовом основании).

Это районирование легло в основу приближенной оценки масс подземных вод в осадочном чехле Каспийского бассейна, мощность осадочных отложений в котором колеблется в широких пределах: от 5-6 км в зоне Скифско-Туранской плиты, до 30 и более км [1, 2, 7] в южной мегавпадине. За нижнюю границу осадочных отложений приняты разновозрастные породы консолидированного фундамента.

Средние мощности осадочного чехла для выделенных выше геолого-структурных элементов Каспийского бассейна, а также их объем и масса приведены в табл 1.

Для осадочных пород Прикаспийской синеклизы и эпигерцинской Скифско-Туранской плиты содержание химически связанных вод принято [9] равным среднему значению для платформ — 3,15 вес. %. Для Альпийской складчатой области Среднего Каспия — среднему для геосинклиналей — 2,85 вес. %, а для мощной осадочной толщ области Альпийской складчатости Южного Каспия. среднее содержание химически связанных вод в осадочной толще Южного Каспия равно примерно 4,01 вес. %

Оценка количества свободных и физически связанных подземных вод выполнена, исходя из условия, что они полностью занимают поровое пространство горных пород [4]. Для верхней части осадочного чехла определение значений средней пористости основных (глинистые, терригенные, карбонатные) типов горных пород – на основании анализа изменения пористости ядерного материала Восточного Предкавказья, а для более глубоких частей разреза Прикаспийской синеклизы и Скифско-Туранской плиты – путем интерполяции ее изменения с глубиной. Для осадочного чехла Южного Каспия, залегающего по геофизическим данным на базальтовом основании и который по своей структуре аналогичен осадкам окраинных морей типа Мексиканского залива, изменение пористости с глубиной принято аналогичным осадкам океанического блока земной коры. Конечные результаты оценки масс свободных и физически и химически свя-

занных вод, содержащихся в осадочном чехле Каспийского бассейна и отдельных его геолого-структурных единицах сведены в табл. 1.

Таким образом, по нашим достаточно приближенным расчетам следует, что в осадочной толще Каспийского бассейна содержится  $11,9 \cdot 10^{20}$  г. химически и физически связанных и свободных подземных вод, из которых на последние приходится почти  $7,4 \cdot 10^{20}$  г., что практически на порядок превышает массу воды Каспийского моря ( $0,78 \cdot 10^{20}$  г.). Следует также подчеркнуть, что существенно большая часть этих вод ( $5,3 \cdot 10^{20}$  г.) сосредоточена в Южной впадине Каспия [4].

История седиментации в Каспийском осадочном бассейне, достаточно четко делится на два этапа: юрско-нижнеплиоценовый, продолжавшийся 180 млн. лет и средне плиоцен-четвертичный, уложившийся в 5 млн. лет.

За начальное количество воды в осадке для глинистых пород принято 72%, а для песчано-алевритистых и карбонатных – 40% [10]. Соотношение между названными типами пород 50, 25 и 25% соответственно для обеих этажей осадочной толщи. Учитывая, что в процессе литогенеза глинистые породы испытывают значительное уплотнение, принято, что ниже плиоцен-юрские породы уплотнены в 2, а средне плиоцен-четвертичные – в 1,5 раза.

Таким образом, с учетом уплотнения глинистых пород ниже плиоцен-юрской толщи за время ее формирования было захвачено  $14,3 \cdot 10^{20}$  г иловых поровых вод, а средне плиоцен-четвертичной –  $10,59 \cdot 10^{20}$  г. (табл. 2). В итоге оценены массы воды, выделившиеся в процессе литогенеза за время существования породы. Для нижней толщи эта величина составляет  $13,29 \cdot 10^{20}$  г, а для верхней –  $6,28 \cdot 10^{20}$  г.

От этих значений легко перейти к оценке средних темпов выделения свободных и физически связанных вод из осадочной толщи, которая, исходя из времени существования нижнего и верхнего этажей, соответственно составляют  $0,074 \cdot 10^{14}$  г/год и  $1,26 \cdot 10^{14}$  г/год. Приведенные цифры представляют собой средние значения темпов выделения подземных вод из осадочной толщи. В действительности темпы выделения подземных вод, исходя из особенностей эволюции осадочного бассейна, в отдельные этапы его развития существенно отличались от средних.

Полный баланс седиментационных вод Каспийской впадины (табл. 2) следующий: всего за время существования впадины осадочными породами при седиментации было захвачено более  $40,7 \cdot 10^{20}$  г свободных и физически связанных вод, из которых  $7,4 \cdot 10^{20}$  г сохранилось к настоящему времени. Большая же часть –  $33,3 \cdot 10^{20}$  г – в ходе эволюции впадины была выделена и скорее всего поступила обратно в океанические и морские акватории.

В гидрогеологическом понимании Каспийская осадочная впадина представляет собой классический элизионный бассейн. Как показывают последние исследования [3], под собственно элизионным процессом следует понимать рассредоточенную в пространстве и времени восходящую миграцию поровых и освобождающихся связанных вод, приуроченную к зонам тектонических разломов, которые рассматриваются как сложные геологические тела, ширина зоны дробления в которых достигает 40 и более километров, протяженностью в несколько сот и даже начальные тысячи километров, и глубиной заложения нескольких десятков километров.

Представляется, что основным видом движения в глубоких водоносных горизонтах Южной мегавпадины Каспийского осадочного бассейна является эпизодическая восходящая локальная миграция растворов по разломам и их пересечениям, активизирующаяся в периоды увеличения тектонической активности [5].

Полученные данные показывают, что на отдельных активных этапах развития Каспийского осадочного бассейна элизионный или «литогенетический» массоперенос освобождающихся подземных вод может достигать значительных масштабов, определяя развитие грязевулканической деятельности в пределах бассейна и гидротермальной в зонах его сочленения с ограничивающими его структурами.

Исследования иловых и седиментационных вод, выполненные в ходе глубоководного бурения в Мировом океане, Мексиканском заливе и Черном море [10] показало, что их состав в толще осадка и пород в основном аналогичен составу воды бассейна осадконакопления, за исключением окраинных частей бассейна, где он близок составу подземных вод прибрежных гидрогеологических структур [6].

Современная Каспийская впадина унаследована от мезо-кайнозойской зоны прогиба. Начиная с верхнего понта, и в течение последних 5 млн. лет (средне плиоцен-четвертичное время), Каспийское море существует как изолированный от Мирового океана и Черного моря бассейн [8]. т.е макрокомпонентный состав седиментационных вод осадочной толщи этого возраста соответствует составу воды современного Каспийского моря. В течение юрско-нижнеплиоценового времени территория современной Каспийской впадины входила сначала в состав обширного морского бассейна, относившегося к северной окраине Тетиса, а позднее к единому Средиземноморско-Черноморско-Каспийскому бассейну. Исходя из представлений о достаточно стабильном составе воды Мирового океана, принято, что макрокомпонентный состав седиментационных вод юрско-нижне-плиоценовой толщи Каспийского осадочного бассейна должен соответствовать составу вод современного Мирового океана.

Таблица 1

## Количественная оценка масс подземных вод, содержащихся в осадочном чехле Каспийского бассейна

	Мощность, км		Объем осадков $10^{21}$ см <sup>3</sup>	Масса осадков $10^{21}$ г	Химически связанные воды		Свободные и физически связанные воды		Масса воды в осадочном чехле, $10^{20}$ г
	Вся	По этажам			Содержание, вес. %	Масса $10^{20}$ г	Средняя пористость, %	Масса $10^{20}$ г	
Прикаспийская Синеклиза	10,5	2,4 <sup>*)</sup>	0,104	1,135	3,15	0,357	22,32 <sup>**)</sup>	0,232	0,869
		8,1	0,350				8,0	0,280	
Эпигерцинская Скифско-Туранская Плита	6,0	2,4 <sup>*)</sup>	0,350	2,185	3,15	0,688	22,32	0,781	1,941
		3,6	0,524				9,0	0,472	
Альпийская складчатая область средней части Каспийского бассейна	12,5		0,520	1,30	2,85	0,370	6,06	0,315	0,685
Альпийская складчатая область южной части Каспийского бассейна	21,5	10	1,436	7,717	4,01	3,094	30,0	4,308	8,410
		11,5	1,551				6,5	1,008	
Каспийский осадочный бассейн			4,835	12,337		4,509		7,396	11,905

Примечание: \*) 2,4 км - средняя мощность осадочного чехла платформ на континенте. \*\*) 22,33 - средняя пористость осадочного чехла континентальных платформ.

Таблица 2.

## Баланс подземных вод осадочного чехла Каспийской впадины

	Прикаспийская синеклиза	Скифско-Туранская плита	Альпийская складчатая область		Весь бассейн
			средней части Каспийского бассейна	южной части Каспийского бассейна	
Площадь, км <sup>2</sup>	43200	145600	41600	143600	374000
Средняя мощность осадочного чехла, км	10,5	6,0	12,5	21,5	
Объем осадочных пород, $10^{21}$ см <sup>3</sup>	0,454	0,874	0,520	3,087	4,935
Масса осадочных пород, $10^{21}$ г	1,135	2,185	1,3	7,717	12,337
Масса воды, захваченной при седиментации, $10^{20}$ г	3,76	7,75	4,32	24,89	40,72
Масса свободных и физически связанных вод, содержащихся в осадочном чехле, $10^{20}$ г	0,512	1,253	0,315	5,316	7,396
Масса свободных и физически связанных вод, выделившихся из осадочного чехла, $10^{20}$ г	3,248	6,497	4,005	19,574	33,324

На основании этого оценена масса макрокомпонентов, содержащихся в седиментационных водах осадочной толщи Каспийской впадины (табл. 3), которая составляет  $\sim 30,4 \cdot 10^{18}$  г, что почти в 30 раз больше, чем масса макрокомпонентов, содержащаяся в морской воде Каспия ( $\sim 1,02 \cdot 10^{18}$  г).

Данные о средних составах седиментационных вод основных осадочных толщ Каспийской впадины позволили так же оценить и массопотоки макрокомпонентов седиментационных вод, разгружающихся в пределах акватории Каспийского моря (табл.4). Таким образом, общий вынос макрокомпонентов с седиментационными водами в Каспий составляет  $\sim 2,83 \cdot 10^{12}$  г/год.

Таблица 3.

## Массы макрокомпонентов в седиментационных водах Каспийского осадочного бассейна и Каспийском море

Седиментационные воды	Масса осадков, R, $10^{21}$ г	Масса седиментационных вод, W <sub>R</sub> , $10^{20}$ г	R/W <sub>R</sub>	Масса, $10^{15}$ г							
				Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Всего
Девон-триасового комплекса Прикаспийской синеклизы	0.875	0.280	31.25	34.1	57.9	2691.9	38.9	18.6	41.3	4475.5	7358.2
Пермско-триасового комплекса Скифско-Туранской плиты	1.381	0.472	29.26	475.3	38.7	3162.4	177.0	3.4	0.2	6006.2	9863.2
Юрско-нижнеплиоценового комплекса Каспийской впадины	5.94	1.872	31.25	68.9	262.1	2115.4	77.9	29.7	565.3	3931.2	7050.5
Среднеплиоцен-четвертичный комплекс Каспийской впадины	4.144	4.538	9.13	155.6	329.0	1426.7	37.6	100.7	1350.9	2719.7	6120.2
Каспийский осадочный бассейн	12.34	7.162	17.23	733.9	687.7	9396.4	331.4	152.4	1957.7	17132.6	30392.1
Каспийское море		0.756		25.9	54.8	237.7	6.3	16.8	225.0	453.0	10195

Таблица 4.

Массопотоки седиментационных вод и макрокомпонентов из осадочной толщи Каспийского бассейна

Осадочная толща	Время существования, 10 <sup>6</sup> лет	Масса выделившихся седиментационных вод, 10 <sup>20</sup> г	Интенсивность выделения седиментационных вод, 10 <sup>12</sup> г/год	Массопотоки, 10 <sup>9</sup> г/год							
				Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Всего
Девон-триасовая Прикаспийской синеклизы	405	2.63	0.649	0.79	1.34	62.39	0.90	0.43	0.96	103.74	170.55
Пермско-триасовая Скифско-Туранской плиты	290	4.368	1.506	15.16	1.23	100.90	5.65	0.11	0.01	191.64	314.70
Юрско-нижнеплиоценовая	185	17.969	9.713	3.59	13.59	109.75	4.09	1.55	30.62	203.97	367.16
Среднеплиоцен-четвертичная	5	7.378	146.48	49.81	107.05	459.95	11.71	32.34	436.51	877.67	1974.44
Каспийская впадина			158.348	69.35	123.21	732.99	22.35	187.88	468.10	1376.42	2826.85

Полученные данные показывают, что седиментационные воды осадочного чехла Каспийской впадины вносят определенный вклад в формирование химического состава современных вод Каспия.

Дальнейшие исследования гидрогеохимических особенностей современных осадочных бассейнов связаны с изучением процессов взаимодействия седиментационных вод с минеральным веществом горных пород, которое во многом определяется соотношением между массами твердой и жидкой фаз. Для Каспийской впадины это отношение изменяется от ~ 9 для средне плиоцен-четвертичного комплекса до ~30 в более древних осадочных толщах (табл. 3).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 05-05-64301.

#### Литература

1. Алиханов Э.Н. Геология Каспийского моря. Баку: ЭЛМ, 1978. 189 с.
2. Гулиев И.С., Павленкова Н.И., Раджапов М.М. Зона регионального разуплотнения в осадочном чехле Южно-Каспийской впадины // Литол. и полезные ископаемые. 1988. № 5. С. 130-136
3. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М.: Научный мир. 2000. 472 с.
4. Зверев В.П., Варваница О.Ю., Костикова И.А. О количественной оценке содержания подземных вод в породах осадочного чехла Каспийской впадины. // Докл. АН, 1999. Т. 368, № 4. С. 511-514
5. Зверев В.П., Костикова И.А. Баланс подземных вод осадочного чехла Каспийской впадины// Геоэкология, 2001, № 3. С. 204-208.
6. Костикова И.А. Седиментационные воды Каспийского осадочного бассейна как один из источников формирования химического состава морской воды // Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии. Томск: Изд-во научн.-техн. лит. 2004. С. 95-99.
7. Лебедев Л.И., Алексина И.А., Кулакова Л.С. и др. Каспийское море. Геология и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 296 с.
8. Леонов Ю.Г., Антипов В.С., Волож Ю.А. и др. Геологические аспекты проблемы колебаний уровня Каспийского моря // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. С. 30-57.
9. Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. М.: Наука. 1980. 78 с.
10. Initial reports of DSDP. Wash. (D.C.): US Gov. print. off. 1969. V. 1. 937 p.; 1975. V. 42, Part. 2.

### Теплоэнергетический потенциал осадочной толщи геотермальных месторождений Дагестана

О.А. Маммаев  
ИПГ ДНЦ РАН

По данным Международного энергетического агентства (МЭА) по состоянию на 2002 год доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мировом энергетическом балансе составляют 13,60%. В составе возобновляемых источников энергии по своим потенциальным ресурсам и темпам освоения значительное место занимает геотермальная энергия недр Земли. Интерес специалистов к ВИЭ и, в частности к геотермальной энергии, в связи с постоянным повышением цен на нефть и газ и прогнозируемым истощением этих традиционных углеводородных источников в последние годы неуклонно растет.

Если не считать гидроэнергию рек и в настоящее время (по данным МЭА 2000 г.) использование геотермальной энергии занимает около 60% среди неорганических ВИЭ.