

В.В. Хаустов¹, Ю.Н. Диденков²

V.V. Khaustov, Yu.N. Didenkov

¹*Юго-Западный государственный университет*

²*Иркутский государственный технический университет*

¹*Southwest State University*

²*Irkutsk State Technical University*

ОБ АНОМАЛЬНЫХ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗАХ РЕГИОНА ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

ANOMALOUS HYDROGEOCHEMICAL CROSS-SECTIONS OF THE REGION OF THE SOUTH CASPIAN BASIN

Аннотация. Рассмотрены геолого-гидрогеологические условия Южно-Каспийской впадины, акцентируется ее рифтогенное происхождение. Отмечается широкое распространение аномальных гидрогеохимических разрезов в регионе. Генезис гидрохимических инверсий объясняется участием глубинных низкоминерализованных водных флюидов в формировании гидрогеохимического фона, что подтверждено результатами термодинамического моделирования.

Abstract. Considered geological hydrogeological conditions of the South Caspian Basin, focuses its rift origin. There is widespread anomalous hydrogeochemical cross-sections in the region. The genesis of the hydrochemical inversion due to the participation of deep fluids of low salinity in the formation of hydrogeochemical background, which confirmed the results of thermodynamic modeling.

Вопрос о времени и способе образования Южно-Каспийской впадины (далее ЮКВ) до сих пор остается дискуссионным и на сегодня существует несколько наиболее распространенных взглядов на его генезис. По одному из них, эта впадина, подобно Черноморской, может представлять собой продукт задугового рифтинга и спрединга, связанного с развитием магматической дуги Эльбурса [40 и др.]; по другому - Каспийская котловина образовалась в результате схлопывания мезозойского океана Тетис [23, 33, 35, 37]; согласно третьего взгляда ЮКВ рассматривается как океаническая структура типа пул-апарт, возникающая на поздне меловой зоне сдвига, параллельной Кавказу, Эльбурсу и Копетдагу [39]. Иная версия трактует образование ЮКВ в результате рифтинга в меридиональном направлении. Существует также предположение, что ЮКВ могла возникнуть в результате уплотнения пород основного состава в нижней части континентальной коры за счет фазового перехода габбро-эклогит [2]. Но несмотря на обилие гипотез все же невозможно не согласиться с утверждением В.Е. Хаина, что относительная молодость ЮКВ и ее рифтогенное происхождение несомненны [26]. Таким образом, в области альпийской складчатости за счет мезозой-эоценового расхождения, олигоцен-раннеплиоценовой коллизии и среднеплиоцен-антропогеновой изостаии малых плит образовался Южно-Каспийский рифт [10]. В миоцене и олигоцене ЮКВ, вероятно, служила депоцентром мощных глинистых осадков, а резкое ускорение процесса прогибания ложа Южного Каспия совпало по времени с началом интенсивного проявления грязевого вулканизма в этом регионе. На рифтогенную природу Южно-Каспийской впадины указывают все основные геофизические признаки, такие как повышенный тепловой поток, разуплотненность пород верхней мантии и высокое залегание кровли границы Мохоровичича и астеносферы [1, 22].

ЮКВ ограничена сейсмоактивными поясами Апшерон-Прибалханского порога и горной системы Эльбурса. Если на южной границе большинством исследователей признается поддвиг океанической литосферной плиты Южного Каспия под обрамляющее котловину горное сооружение Эльбурса [24, 27, 31, 32, 34], то относительно северной границы (Апшерон-Прибалханский порог) такого единомышления нет. Одними исследователями допускается погружение и субдукция субокеанической Южно-Каспийской плиты под Скифско-Туранскую плиту [20, 25, 28, 36]. По мнению других границей между

Скифско-Туранской плитой и ЮКВ служит глубинный разлом, выделяемый по комплексу геофизических исследований [2, 15, 19]. На границах Южно-Каспийской субокеанической литосферной мезоплиты фиксируется наиболее интенсивная сейсмичность в данном регионе [26].

Существование (палео)- зон рифтинга и субдукции в пределах Южно-Каспийской впадины, установленное многочисленными исследованиями, является важным моментом в рамках исследуемой проблематики, так как обосновывается реальная возможность существования здесь дополнительного мантийного резервуара водных и прочих флюидов.

В пределах ЮКВ земная кора имеет океаническую структуру и состоит из мощной осадочной толщи 15—25 км и более (данные ГСЗ [3, 38] и сейсмического профилирования на отраженных волнах [6, 36]) и «базальтового» слоя толщиной 10-15 км. "Гранитный" слой здесь отсутствует. Фундамент ЮКВ разбит дизъюнктивами сбросового типа на блоки [18], а граница Мохоровичича прослеживается на глубине 30-35 км, погружаясь в сторону Кавказа и Копетдага до 45-50 км и более [5]. Бассейн ЮКВ стал краевым прогибом сразу для трех горных систем: Большого Кавказа, Эльбурса и Копетдага и его погружение ускорило сразу за счет двух основных механизмов: его литосфера вдавливалась вниз из-за регионального сжатия и она же погружается в связи с избыточной тяжестью орогенов Большого Кавказа и Эльбурса [16].

В Южно-Каспийскую впадину с запада открываются Апшероно-Гобустанский и Нижнекуруинский молассовые прогибы, с востока Западно-Туркменский, а на юге к ней примыкает Предэльбурсский прогиб. Следовательно, Южно-Каспийская группа артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов распространена на периферии Большого Кавказа, Эльбурса, Копетдага и в межгорных впадинах, среди них самым крупным и уникальным является Южно-Каспийский артезианский бассейн, внешними частями которого на побережье представлены на западе Куринский артезианский бассейн и Закаспийский артезианский бассейн на востоке [8, 9, 12, 13].

Гидрогеологический разрез Южно-Каспийского артезианского бассейна представлен водоносными комплексами мезозойских, миоценовых, нижнеплиоценовых и среднеплиоцен-четвертичных отложений и его можно разделить на три гидродинамические зоны: верхнюю (экзозона), среднюю (зону доминирования элизионных процессов), нижнюю (зону активного геодинамического режима).

Верхняя гидродинамическая зона изучена значительно лучше других, поскольку в ее разрезе выделяется продуктивная нефтегазоносная толща и в этой связи она исследовалась многочисленными скважинами вплоть до глубин 6-7 км. В пределах этой зоны нередко обнаруживаются т.н. «аномальные разрезы» - гидрогеохимические инверсии (в вышезалегающих водоносных горизонтах преобладают более минерализованные воды). Для верхней части толщи характерны воды хлор-кальциевого типа с минерализацией от 80 до 200 г/л, для нижней – воды с пониженной минерализацией, которая изменяется от 10-15 г/л до 50 г/л. Уменьшение минерализации сопровождается последовательной сменой их химического типа от хлоркальциевого до гидрокарбонатно-натриевого (рис. 1, 2).

Представления о вертикальной гидрохимической зональности подземных вод, выражающейся в закономерном изменении с глубиной их химического состава и, в первую очередь, величины их минерализации, складывались в гидрогеологической науке по мере совершенствования буровой техники, от которой напрямую зависит возможность опробования глубокозалегающих водоносных горизонтов. Так, до середины прошлого столетия в гидрогеологии господствовала точка зрения, согласно которой минерализация подземных вод практически всегда увеличивается с глубиной, как по вертикали геологического разреза, так и по падению одного и того же пласта или водоносного комплекса. В соответствии с ростом минерализации происходит изменение солевого состава воды: гидрокарбонатные по преобладающему аниону воды сменяются сульфатными, а затем хлоридными; для катионов от поверхности земли вглубь наиболее типичен ряд: кальций – натрий – кальций. Такой тип разреза получил название нормального, а отклонения от него,

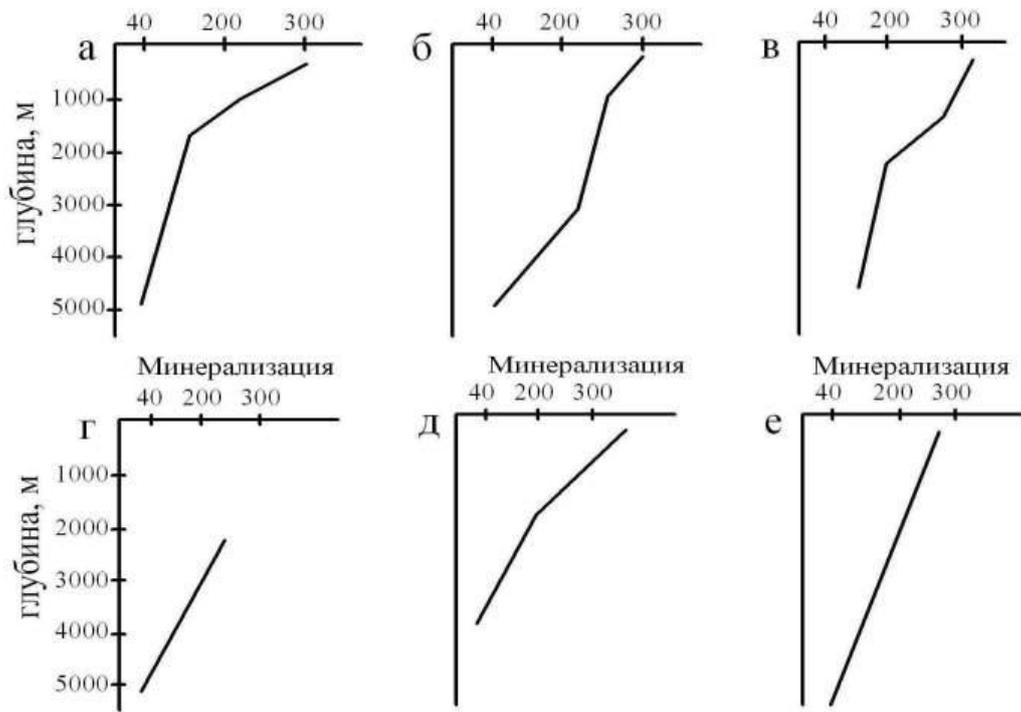


Рис.1. Изменение минерализации пластовых вод с глубиной по разведочным площадям Азербайджана
 а – Кянизадаг; б – Сонгачалы-море; в – Дуванный-море; г – Булла; д – Алят-море; е – Хамамдаг-море.

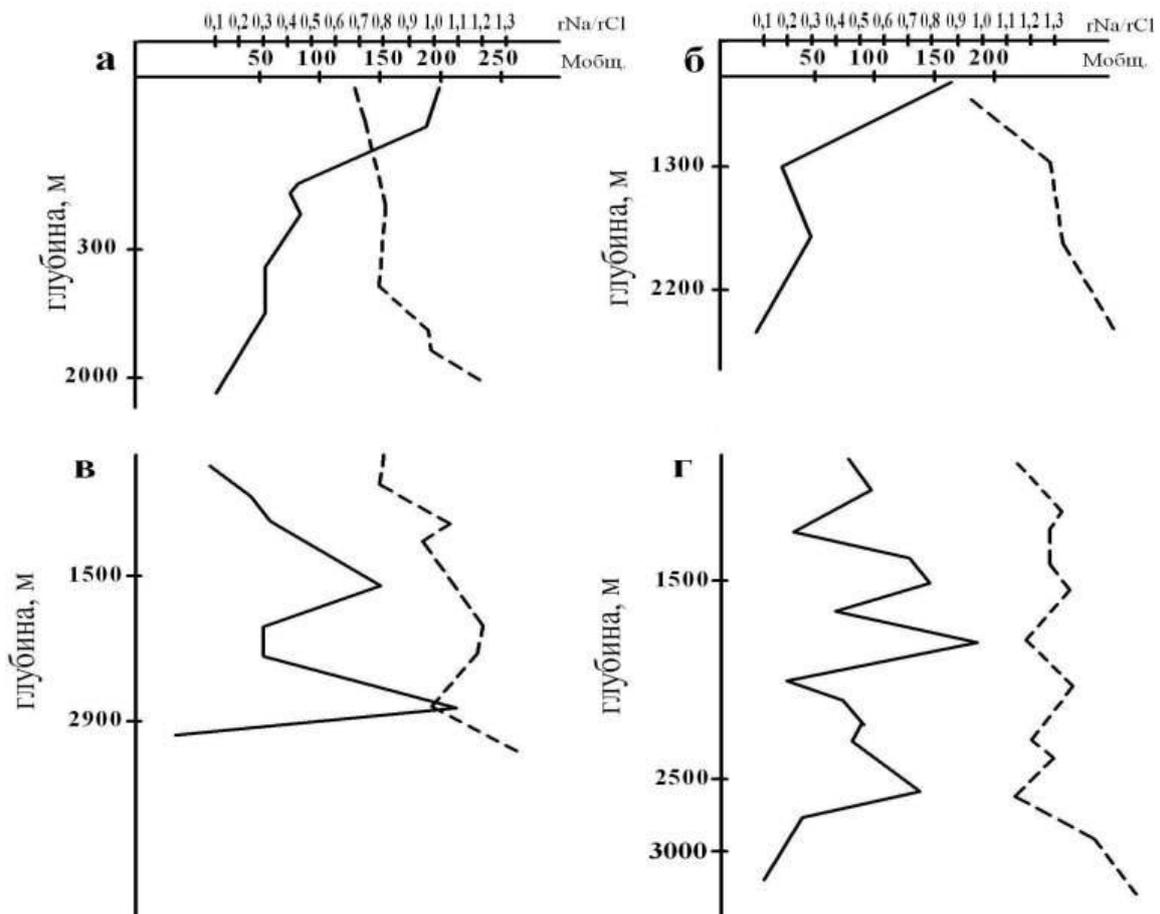


Рис.2. Изменение минерализации и химического состава пластовых вод мезозойско-кайнозойских отложений Западной Туркмении
 а – Челекен; б – Монжуклы; в – Окарем; г – Котур-Тепе.

выражающиеся, главным образом, в залегании под водами минерализованными более пресных вод считалось аномальным явлением и такие разрезы стали называть аномальными. Однако по мере проникновения гидрогеологических исследований на все большие глубины стало очевидным, что аномальные разрезы отнюдь не редкое явление, более того, бывшие нормальные разрезы часто оказывались лишь элементом разрезов, которые в целом выглядели как аномальные. В связи с этим вместо термина «аномальный» в практику вошло понятие «инверсионный» тип гидрохимического разреза.

Проблеме происхождения гидрохимических инверсий в гидрогеологической литературе уделяется большое внимание. Подробный анализ современных взглядов на проблему формирования гидрогеохимических инверсий приведен в работе [29]. Существующие гипотезы, объясняющие опреснение подземных вод, представлены в табл.1.

В настоящее время существуют две принципиально разные точки зрения на природу рассматриваемого явления. Согласно первой из них, главной причиной опреснения пластовых вод в нижних частях разреза служат геохимические, гидродинамические и литогенетические процессы, происходящие в самом осадочном чехле артезианского бассейна; в соответствии с другой точкой зрения основной фактор, формирующий гидрохимические инверсии – это подток глубинных газопароводных флюидов из-под фундамента (см. табл.). Общим моментом является установленный на сегодня факт связи гидрохимических инверсий с разрывными тектоническими нарушениями в основном глубокого заложения, что безусловно свидетельствует в пользу представлений о глубинном генезисе опреснителя.

Таблица.

Гипотезы опреснения и формирования химического состава подземных вод глубоких горизонтов (по [17] с дополнениями)

№	Гипотезы	Авторы
1	Внедрение метаморфогенно-эндогенных вод	В.А. Кротова Е.С. Гавриленко Г.П. Якобсон
2	Поступление газопаровых термальных флюидов с CO ₂ в зоны седиментационных рассолов	Ю.А. Ежов И.А. Лагунова В.А. Всеволожский
3	Подток ювенильных вод в пределах рифтогенных структур	М.А. Мартынова Ю.Н. Диденков В.В. Хаустов
4	Древняя инфильтрация маломинерализованных подземных вод в гидрогеологические структуры, содержащие рассолы	В.А. Сулин, А.А. Карцев
5	Активная инфильтрация подземных вод из горных обрамлений гидрогеологических структур	Н.К. Игнатович, В.Б. Порфирьев
6	Разбавление морских седиментационных вод растворами, отжатыми из осадочных пород	Г.М. Сухарев, Е.А. Барс
7	Дегидратация глин в ходе их минеральных литогенетических преобразований	Л.Н. Капченко А.М. Никаноров А.А. Карцев
8	Выделение кристаллогидратных вод при разрушении газовых гидратов	Г.Д. Гинсбург Г.А. Иванов
9	Дистилляция и конденсация водоуглеродных парагазовых смесей	В.В. Колодий Б.И. Султанов
10	Обратная геохимическая метаморфизация морской воды и рассолов "хлоридного" типа	М.Г. Валяшко

Термодинамические расчеты состава глубинного флюида, осуществленные для одного из месторождений термальных вод Исландии - Наумафьядль, а также Байкальского рифта подтвердили представление о глубинном флюиде, как о растворе, характеризующемся очень низкой концентрацией растворенных в нем солей [7, 14].

Весьма важным моментом в исследовании природы гидрохимических инверсий является их локализация, контролируемая древними и современными рифтогенными

структурами [21, 30]. Не отрицая в принципе возможности формирования гидрогеохимических инверсий с участием дегидратационных, кристаллогидратных и конденсационных вод, следует признать существенную роль в этом процессе за подтоком ювенильного водного флюида, имея ввиду в целом рифтогенную природу ЮКВ и наличие масштабного насыщенного флюидами астеносферного диапира в пределах исследуемой территории.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы произведено имитационное термодинамическое моделирование с использованием программного комплекса «Селектор-*W*». Среди различных методов моделирования применяемых в гидрогеохимии наиболее плодотворным является физико-химическое моделирование, основанное на принципах и методах равновесной термодинамики [11]. Наряду с качественными геолого-геохимическими построениями, аналитическими и численными решениями задач тепло- и массопереноса, имитационное физико-химическое моделирование оказывается единственно пригодным средством исследования характерных особенностей формирования химического состава ювенильного водного флюида. Решение таких актуальных вопросов, как установление самой возможности, а также РТ-областей генерации ювенильного водного флюида из восходящих эндогенных флюидов, равно как исследования эволюции состава первичных флюидов по мере их подъема к поверхности в различных геодинамических обстановках, невозможно без физико-химического моделирования [4].

По результатам проведенного моделирования совместно с Институтом Геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (В.А. Бычинский) установлено, что осадочные породы ЮКВ в процессе литогенеза накопили достаточно большое количество воды (10 г воды на 100 г породы) за счет гидратации. В расчетах по принятой модели образовавшуюся в морских условиях водонасыщенную породу глинистого состава сначала погрузили на глубину 7,5 км, которой соответствует температура 230°C и давление 2500 бар (резервуар №1), и добавили 5 весовых процентов от общего веса седиментационной воды и углеводородный флюид. Затем смесь отжатых вод и флюида поднимали по геобаротерме-разлому ступенями, соответствующими резервуарам: резервуар №2 (125°C-600бар), резервуар №3 (59°C-200бар), резервуар №4 (15°C-1бар). Полученные результаты позволили прийти к заключению, что если допускать в формировании подземных вод ЮКВ участие только дегидратационных и седиментационных вод, то на поверхности должны разгружаться подземные воды (эруптивные воды грязевых вулканов, субмаринная разгрузка) с минерализацией не менее 41 г/дм³ и рН=7.3, чего не наблюдается в действительности. Из чего следует, что фиксируемый на поверхности фактический состав разгружающегося водного флюида пониженной минерализации (по отношению к расчетной) требует включения в расчетную модель дополнительного низкоминерализованного флюида - опреснителя, которым и является, вероятно, глубинный водный флюид. В связи с этим, следующий этап имитационного термодинамического моделирования включал расчеты эволюции восходящего низкоминерализованного глубинного флюида и его смешение с дегидратационными и седиментационными водами. Результаты проведенных расчетов позволили оценить на количественном уровне долю глубинного водного флюида, дегидратационных и седиментационных вод в формировании химического состава современных эруптивных вод грязевых вулканов в ЮКВ.

На основании изложенных результатов исследований геолого-гидрогеологических условий ЮКВ можно сделать следующие выводы:

- относительная молодость и рифтогенное происхождение ЮКВ не требуют дополнительных доказательств. В пределах мегавпадины по комплексу геофизических исследований установлен насыщенный флюидами астеносферный диапир, что обосновывает предположение об активном участии в формировании гидrolитосферы региона глубинных низкоминерализованных водных флюидов;

- выявленные в гидрогеологическом разрезе гидрогеохимические инверсии формируются в процессе разгрузки глубинного низкоминерализованного водного флюида,

что подтверждается результатами проведенного имитационного термодинамического моделирования;

- формирование химического состава подземных вод региона ЮКВ обязано, в основном, процессу смешения глубинного водного флюида, дегидратационных, седиментационных и инфильтрационных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьева М. Е. Изостатическая модель литосферы Северной Евразии / М. Е. Артемьева, В. А. Кучериненко, М. К. Кабан, Т. М. Бабаева, И. Е. Войдецкий, А. Н. Грушинский // Физика Земли, 1992, т. 3. - С. 3-14.
2. Артющков Е.В. Образование сверхглубокой впадины в Южном Каспии вследствие фазовых переходов в континентальной коре / Е.В. Артющков // Геология и геофизика, 2007, т. 48, № 12. - С. 1289—1306.
3. Баранова Е.П. Результаты переинтерпретации материалов ГСЗ по южному Каспию / Е.П. Баранова, И.П. Косминская, Н.И. Павленкова // Геофизический журнал. 1990. Т. 12. № 5. - С. 60-67.
4. Бычинский В. А. Комплексные мероприятия по снижению загрязнения природных вод в районе шламохранилищ глиноземных комбинатов / В.А.Бычинский, Ю.Н. Диденков, Н.В.Головных, И.И.Шепелев, А.А.Тупицын, К.В.Чудненко // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. № 3, Май-Июнь, 2008. - С. 222-231.
5. Геофизические параметры литосферы южного сектора Альпийского орогена / Отв.ред. Б.С. Вольвовский и В.И. Старостенко - Киев: Наукова Думка, 1996. - 215 с.
6. Глумов И.Ф. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / И.Ф. Глумов, Я.П. Маловицкий, А.А. Новиков., Б.В. Сенин - М.: Недра, 2004. - 344 с.
7. Диденков Ю.Н. Структурно-гидрогеологические основы физико-химического моделирования процессов формирования гидросферы Байкальского рифта / Ю.Н. Диденков, В.А. Бычинский, М.А. Мартынова // Известия ВУЗов Сибири. Серия наук о Земле. 2005. № 8. - С. 85-100.
8. Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы / В.П. Зверев - М.: Науч. мир, 2006. - 254 с.
9. Зверев В.П. Седиментационные воды Каспийского осадочного бассейна / В.П. Зверев, И.А. Костикова - М.: Научный Мир, 2008. - 138 с.
10. Зоненшайн Л.П., Тектоника литосферных плит территории СССР / Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, Л.М. Натапов - М.: Недра, 1990. Кн. 1. - 328 с.
11. Карпов И.К. Термодинамическое моделирование геологических систем методом выпуклого программирования в условиях неопределенности / И.К. Карпов, К.В. Чудненко, М.В. Артименко, В.А. Бычинский, Д.А. Кулик // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 7. - С. 971—988.
12. Кирюхин В.А. Региональная гидрогеология / В.А.Кирюхин - СПб, 2005. - 344с.
13. Кирюхин В.А. Региональная гидрогеология / В.А. Кирюхин, Н.И. Толстихин - М.: Недра, 1987. - 382 с.
14. Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма / В. И. Кононов - М.: Наука, 1983. - 216 с.
15. Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе / М.Л. Копп - М.: Научный мир, 1997. - 314 с.
16. Коротаев, М.В. Южный Каспий - моделирование тектонической истории / "Тектоника и геофизика литосферы" Материалы XXXV Тектонического совещания / М.В. Коротаев, А.М. Никишин, А.В. Ершов, М.Ф. Брунэ - М.: ГЕОС, 2002. - С. 263-265.
17. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швеиц - М.: Наука, 2004. - 677с.

18. Леонов Ю.Г. Геологические аспекты проблемы колебания уровня Каспийского моря //Глобальные изменения природной среды / Ю.Г. Леонов, М.П. Антипов, Ю.А. Волож. – Новосибирск: СО РАН, 1998. - С. 39-57.
19. Леонов Ю.Г. Карта четвертичных (неоплейстоценовых) отложений Каспийского моря с элементами палеогеографии, масштаб 1:2500000 и геологическая история четвертичных осадочных бассейнов Каспийского региона за последние 700 000 лет / Ю.Г. Леонов, М.П. Антипов, Е.Е. Бобылова и др. - М.: Научный Мир, 2005.
20. Лилиенберг Д.А. Новые подходы к оценке современной эндодинамики каспийского региона и вопросы ее мониторинга / Д.А. Лилиенберг //Изв. РАН. Сер. географ. 1994. №2. - С.16-35.
21. Мартынова М.А. Гидрогеологические аспекты тектоники литосферных плит / М.А. Мартынова //Сб. «Роль подземной гидросферы в истории Земли». – М.: Наука, 1990. - С. 39-48.
22. Мурзагалиев Д.М. Геодинамика Каспийского региона и его отражение в геофизических полях / Д.М. Мурзагалиев //Геология нефти и газа. 1998. №2. - С. 10-15.
23. Никишин А.М. Механизмы формирования осадочных бассейнов / А.М. Никишин //СОЖ, т.7, №4, 2001. - С. 63-68.
24. Родкин М.В. Флюидогеодинамическая модель литосферы Южного Каспия / М.В. Родкин //Геотектоника, 2003, №1. - С. 43-53.
25. Уломов В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря / В.И. Уломов // Физика Земли. 2003. №5. - С. 5-17.
26. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000) / В.Е. Хаин - М.: Научный Мир, 2001. – 606 с.
27. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики / В.Е. Хаин, М.Г. Ломизе - М.: Университет, 2005. - 560 с.
28. Хаин В.Е. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности / В.Е. Хаин, Э.Н. Халилов. – Бурнас: SWB, 2008 - 304 с.
29. Хаустов В.В. К проблеме формирования гидрогеохимических инверсий / В.В. Хаустов //Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – новый мир». – М.: том 2, 2007. - С. 132-135.
30. Хаустов В.В. О генезисе гидрогеохимических инверсий / В.В. Хаустов // Вестник С. – Петерб. ун – та. Сер 7. 2008. Вып. 4. - С. 20-24.
31. Allen N.B., Jones S., Ismail-Zadeh A., Simmons M., Anderson L. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian Basin // *Geology*, 2002, v. 30, № 9, p. 775—778.
32. Axen G.J., Lam P.S., Grove M., Stockli D.F. Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics // *Geology*, 2001, v. 29, p. 559—562.
33. Brunet M.F, Korotaev M.V., Ershov A.V and Nikishin A.M, The South Caspian basin: approach of the evolution by the subsidence modelling, *Sedimentary Geology*, 2003, v. 156, p. 119-148.
34. Jackson J., Priestly K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin // *Geophys. J. Int.*, 2002, v. 148, p. 214—245.
35. Dercourt J.et al. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias // *Tectonophysics*, 1986, v. 123, p. 241—315.
36. Knapp C.C., Knapp J.H., Connor J.A. Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling // *Mar. Petrol. Geol.*, 2004, v. 21, p. 1073—1081.
37. Nadirov R.S., Bagirov E., Tagiev M., Lerche I. Flexural plate subsidence, sedimentation rates, and structural development of the super-deep South Caspian Basin // *Mar. Petrol. Geol.*, 1997, v. 14, p. 383—400.
38. Neprochnov Yu.P. Structure of the Earth's crust of epicontinental seas: Caspian, Black and Mediterranean // *Canad. J. Earth Sci.*, 1968, v. 5, p. 1037—1043.

39. Sengor A.M.C. A new model for the late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman // The geology and tectonics of the Oman Region / Eds. A.H.F. Robertson, M.P. Searle, A.C. Ries. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 1990, № 49, p. 797—831.
40. Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins // Tectonophysics, 1986, v. 123, p. 181—211.