

УДК 551.465.46 (262.81)

UDC 551.465.46 (262.81)

**ПОДЪЕМ ГЛУБИННЫХ ВОД У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО КАСПИЯ****UPWELLING AT THE WESTERN COAST OF THE MIDDLE CASPIAN**

Монахова Галина Анатольевна  
к.б.н.

Monakhova Galina Anatolievna  
Cand.Biol.Sci.

Ахмедова Гульнара Ахмедовна  
к.г.н., доцент  
*Дагестанский государственный университет,  
Махачкала, Россия*

Akhmedova Gulnara Akhmedovna  
Cand.Geogr.Sci., associate professor  
*Dagestan State University, Makhachkala, Russia*

Сделан исторический обзор исследований апвеллинга на Каспийском море, который в летнее время сопровождается отрицательной температурной аномалией воды. Дана классификация апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия по продолжительности, интенсивности и масштабу. Приводятся результаты сравнительного анализа случаев апвеллинга в данном районе моря по данным прибрежных гидрологических наблюдений в 1999-2008 гг.

The article presents the research results of the Caspian Sea upwelling which is accompanied by the negative temperature anomaly in the summer period. The historical review of the upwelling research was made. The upwelling at the western coast of the Middle Caspian was classified by duration, intensity and scale. The comparative analysis results of the upwelling cases are presented according to the coastal hydrological observations in 1999-2008.

Ключевые слова: СРЕДНИЙ КАСПИЙ, ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ, АПВЕЛЛИНГ, ТЕМПЕРАТУРНАЯ АНОМАЛИЯ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ, ИНТЕНСИВНОСТЬ, МАСШТАБ

Keywords: MIDDLE CASPIAN, WESTERN COAST, UPWELLING, TEMPERATURE ANOMALY, DURATION, INTENSITY, SCALE

Явление апвеллинга давно известно на Каспийском море, поскольку в летнее время он выражается в отрицательной температурной аномалии у восточного и западного берегов Среднего Каспия. В холодную часть года выход глубинных вод сопровождается обратным эффектом - повышением температуры воды у побережья [5].

Одно из первых упоминаний об апвеллинге в научной литературе датируется 1877 г. [6]. При этом в качестве основной причины, обуславливающей внезапную перемену температуры воды, в работе [6] называется ветер, действие которого проявляется двояким путем: непосредственно (при направлении ветра с берега) и за счет образования прибрежных течений. Позднее последователями гипотезы воздействия сгонно-нагонной циркуляции на формирование подъема глубинных вод стали такие ученые, как Н.М. Книпович, С.Я. Щербак, В.Б. Штокман и др. [8, 32, 31]. В частности, в работе [31] указывается, что ветра северо-западного и северо-северо-

западного направлений вызывают в верхнем слое моря результирующий дрейфовый поток, приводящий к поперечной циркуляции вод.

Широкомасштабные исследования апвеллинга были начаты в 60-е гг. прошлого столетия. В 1960-1966 гг. появились статьи Х.К. Уланова, в которых предпринималась попытка объяснить температурную аномалию у восточного побережья Среднего Каспия выходом подземных вод. Основанием для пересмотра устоявшейся точки зрения в них стал несоответствие сгонной гипотезе характера ветров и изменений уровня моря в летний период в районе восточного побережья [29, 30]. В работе Г.П. Маянцева и Ю.А. Осянина [17] также показано, что с восточного побережья существует подземный сток пресных вод. Вслед за названными работами вышла серия публикаций, в которых выражалось несогласие с высказанным предположением и приводились различные доводы в пользу сгонной природы аномалии [21, 28, 22, 27, 16, 19, 12, 23, 14, 20, 13, 24, 10, 9]. Одним из аргументов, свидетельствующим против предположения о выходе грунтовых вод, стали факты обнаружения однородности солевого состава вод и другие гидрохимические особенности акватории моря в зоне температурной аномалии у восточного побережья Среднего Каспия [21, 22, 19, 26, 11].

В 1977 г. А.А. Керимовым и Н.Ц. Клевцовой была высказана гипотеза о связи температурных аномалий с внутренними волнами [7]. По мнению ее авторов, эти волны возникают на термоклине под действием приливных волн, наивысших во время сизигийных приливов. В дальнейшем она получила развитие в работах [18, 4, 2, 3], где указывается на большую прогностическую ценность «волновой» гипотезы по сравнению с «ветровой». Согласно мнению, приведенному в работе [3], энергия ветровых течений оценивается в 1% от всей энергии течений Каспийского моря, при этом ветровые течения трактуются как преимущественно волновой перенос ветровых волн.

Таким образом, к настоящему времени для объяснения апвеллинга предложено две основных гипотезы: ветровая и волновая. Ветровая гипотеза объясняет подъем вод действием ветра – у восточного берега северо-западного, у западного берега – юго-восточного. При этом возбуждаемые этими ветрами течения отклоняются от берега под действием силы вращения Земли, а непосредственно у берега наблюдается подъем вод. Волновая гипотеза объясняет появление апвеллинга изменениями полей ветра и давления над морем, возбуждающими длинные волны, следующие вдоль периметра моря. В тылу этих волн происходит подъем вод (особенно хорошо выраженный за мысами и в заливах). Следует отметить, что ветровая и волновая гипотеза не исключают друг друга, а отражают разные аспекты одного явления.

В течение длительного времени основными исходными материалами для изучения апвеллинга были данные прибрежных наблюдений, вследствие чего он трактовался как локальное явление, не играющее особой роли в жизни Каспийского моря. В редких работах [15] было показано, что с флуктуациями апвеллинга у восточного побережья Среднего Каспия тесно связана пространственно-временная изменчивость видового состава, численности и биомассы зоопланктона в этом районе. Высказывались предположения о влиянии апвеллинга на структуру донных биоценозов [9] и характер миграций обыкновенной кильки и других видов морских рыб [25]. Можно предполагать, что так же, как в других морях, апвеллинг играет активную роль в поставке биогенных элементов в зону фотосинтеза.

Благодаря спутниковым данным стало ясно, что подъем глубинных вод – явление мезо-, а иногда и макромасштабное. При этом у восточного побережья он носит сезонный [1] и мезомасштабный характер, т.е. наблюдается практически в течение всего лета на площади от 100 до 1000 км<sup>2</sup> (а временами на еще большей площади), у западного побережья – синоптический [1] и микромасштабный характер, т.е. его продолжительность обычно

не превышает 5-7 дней, а площадь – 100 км<sup>2</sup>. Из этого следует, что его роль в вертикальной циркуляции вод, в формировании гидрохимического режима и биологической продуктивности Каспийского моря, как минимум, сопоставима с ролью конвективного перемешивания.

Однако, исследований, посвященных изучению роли апвеллинга в жизни Каспия, до сих пор не проводилось, несмотря на вклад, который они могли бы внести в познание океанологических основ биопродуктивности морей, а также в разработку мер, направленных на сохранение и рациональное использование биоресурсов Каспия.

Таким образом, апвеллинг в Каспийском море в гидрологическом отношении изучен недостаточно, а о его роли функционировании морских экосистем практически ничего не известно. Дальнейшее изучение апвеллинга является важной задачей, носящей теоретический и практический характер.

Целью наших исследований является изучение подъема глубинных вод и его роли в формировании гидрохимического и гидробиологического режима Среднего Каспия. Они начаты в сентябре этого года в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственные контракты №16.740.11.0233 и №16.740.11.00.51).

Одной из задач исследований является анализ данных наблюдений за уровнем моря, температурой и соленостью воды на западном побережье Среднего Каспия, хранящихся в Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды.

В настоящей статье приводятся первые результаты первого этапа исследований, в ходе которого учитывались случаи апвеллинга различной продолжительности, интенсивности и масштаба только в летний сезон. В это время, как уже упоминалось выше, прибрежный апвеллинг хорошо

проявляется по изменению температуре воды. Идентифицировать его в зимний сезон довольно сложно.

Основными материалами на первом этапе работ послужили данные прибрежных наблюдений за температурой и уровнем вод, проводимых Дагестанским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ДЦГМС) в период 1999-2008 гг.

На их основе создана база данных, включающая в себя значения среднесуточной температуры в поверхностном слое воды на станциях Махачкала, Избербаш и Дербент в летний сезон (с 1 июня по 31 августа) за исследуемый период.

При обработке полученной базы данных апвеллингом считалось снижение среднесуточной температуры воды за сутки более, чем на  $2^{\circ}\text{C}$ . За день прекращения апвеллинга принимался день, когда среднесуточная температура воды превысит  $X$ , при этом  $X=T-1$ , где  $T$  - температура воды в последний день, предшествовавший апвеллингу.

С целью проведения сравнительного анализа случаев апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия мы предлагаем классифицировать их по продолжительности, интенсивности и масштабу. В частности по продолжительности апвеллинг подразделяется нами на короткий (3 и менее суток), нормальный (от 4 до 6 суток) и длительный (7 и более суток).

Для оценки интенсивности апвеллинга использована разность между температурой воды в последние сутки до его наступления и минимальной температурой, зафиксированной во время апвеллинга. При разности менее  $3^{\circ}\text{C}$  апвеллинг идентифицировался как слабый, от 3 до  $5^{\circ}\text{C}$  - средний, более  $5^{\circ}\text{C}$  - сильный.

По масштабу апвеллинг считался локальным (обнаруживался только в одном из пунктов), субрегиональным - одновременно (как минимум в один день) наблюдался в 2-х пунктах и региональным - одновременно наблюдался в 3-х пунктах (рис. 1).

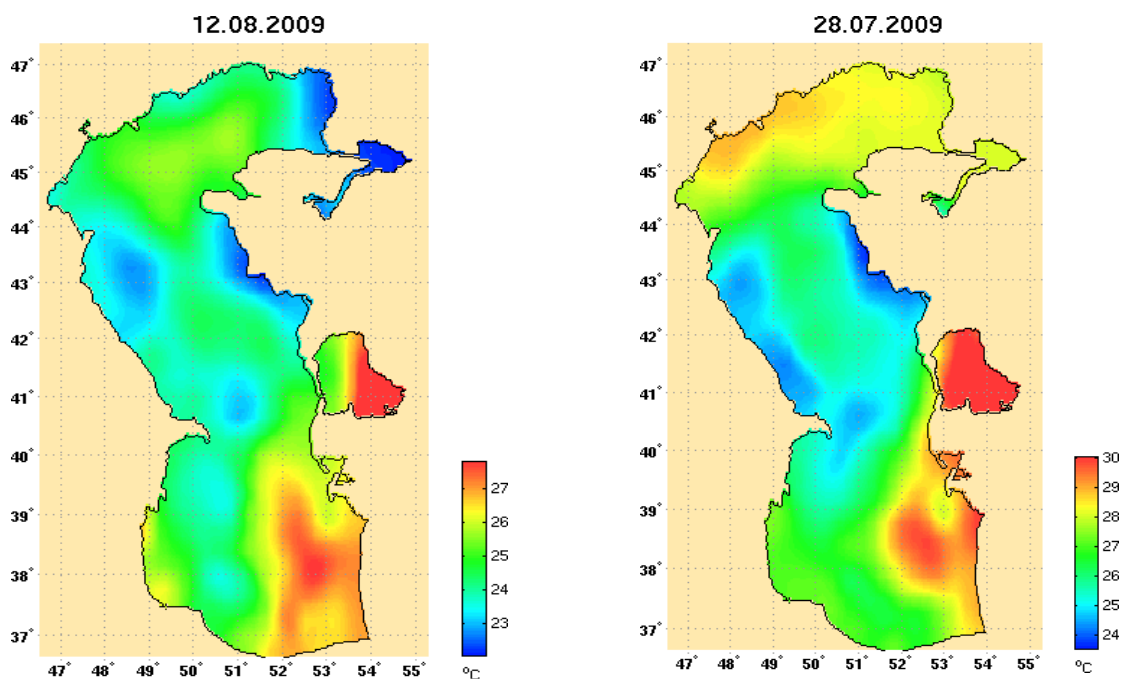


Рисунок 1. Субрегиональный (слева) и региональный (справа) апвеллинг у западного побережья Среднего Каспия (одновременно с ними наблюдается апвеллинг у восточного побережья). По данным Гидрометцентра России

Полученные результаты были подвергнуты сравнительному анализу и обобщены в приведенной ниже таблице 1. В период 1999-2008 гг. в летний сезон на западном побережье Среднего Каспия зафиксировано 80 случаев апвеллинга, причем около половины их приходится на район Махачкалы (48%). Ранее отмечалось [1], что частота возникновения апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия уменьшается с севера на юг. Между тем, как показали наши исследования, в районе Дербента число случаев апвеллинга вновь возрастает (табл. 1).

В целом на западном побережье короткий апвеллинг наблюдался в 50% случаев, а нормальный и длительный - в 25%. В районе Избербаша указанная закономерность несколько нарушается – частота нормального по продолжительности апвеллинга здесь наиболее велика (в 42% случаев). Случаи длительного апвеллинга у Махачкалы и Дербента отмечены примерно равное количество раз.

Как видно из таблицы 1, за исследуемый период у западного побережья Среднего Каспия наблюдалось 30 случаев слабого, 32 - среднего и 18 сильного по интенсивности апвеллинга. В районах Махачкалы и Дербента, максимальна частота встречаемости апвеллинга средней интенсивности, а у Избербаша - слабого. Наибольшее число случаев сильного апвеллинга приурочено к району Махачкалы (12).

Локальный апвеллинг на западном побережья Среднего Каспия зафиксирован в 40%, субрегиональный - в 41%, а региональный наиболее редок и обнаружен лишь в 19% всех случаев. За период 1999-2008 гг. в летнее время апвеллинг только 5 раз одновременно наблюдался в трех пунктах наблюдений. Доля локального апвеллинга максимальна в районе Махачкалы (55%), здесь же отмечалось и наибольшее число случаев на всем побережье (21).

В большинстве случаев апвеллинг у Махачкалы и Дербента регистрировался как субрегиональный при одновременном (как минимум в один день) его наблюдении в указанных пунктах. В районе Избербаша в два раза чаще наблюдалась синхронность случаев апвеллинга с районом Махачкалы.

Таблица 1 - ЧИСЛО СЛУЧАЕВ АПВЕЛЛИНГА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ, ИНТЕНСИВНОСТИ И МАСШТАБА У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО КАСПИЯ ЗА ПЕРИОД 1999-2008 ГГ.

Показатели апвеллинга		Пункт наблюдений						Всего случаев	
		Махачкала		Избербаш		Дербент			
		<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>
Продолжительность	<i>короткий</i>	22	58	5	29	13	52	40	50
	<i>нормальный</i>	8	21	7	42	5	20	20	25
	<i>длительный</i>	8	21	5	29	7	28	20	25
Интенсивность	<i>слабый</i>	12	32	9	53	9	36	30	38
	<i>средний</i>	14	36	7	41	11	44	32	40
	<i>сильный</i>	12	32	1	6	5	20	18	22
Масштаб	<i>локальный</i>	21	55	3	18	8	32	32	40
	<i>субрегиональный</i>	12	32	9	53	12	48	33	41
	<i>региональный</i>	5	13	5	29	5	20	15	19
<b>Всего случаев:</b>		<b>38</b>	<b>48</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

В таблице 2 отражена повторяемость случаев апвеллинга, отличающихся по продолжительности и интенсивности. Из нее следует, что наибольшую повторяемость на западном побережье Среднего Каспия за 1999-2008 гг. имеют случаи короткого и слабого апвеллинга (26,3%), а наименьшую - длительного и слабого (1,3%). Вторыми по частоте встречаемости являются случаи среднего и короткого апвеллинга (17,5). При этом случаи сильного и длительного апвеллинга также имеют существенный вес - 11,2%. Нормальный слабый или средний апвеллинг наблюдался в 10% случаев.

Таблица 2 - ПОВТОРЯЕМОСТЬ СЛУЧАЕВ АПВЕЛЛИНГА У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО КАСПИЯ ЗА ПЕРИОД 1999-2008 ГГ., ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ

Случаи	Пункт наблюдений						Всего	
	Махачкала		Избербаш		Дербент			
	<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>	<i>n</i>	<i>n, %</i>
Сл+К	9	23,7	5	29,4	7	28,0	21	26,3
Сл+Н	3	7,9	3	17,6	2	8,0	8	10,0
Сл+Д	-	-	1	5,9	-	-	1	1,3
Ср+К	9	23,7	-	-	5	20,0	14	17,5
Ср+Н	3	7,9	4	23,6	1	4,0	8	10,0
Ср+Д	2	5,3	3	17,6	5	20,0	10	12,5
Сил+К	4	10,5	-	-	1	4,0	5	6,2
Сил+Н	2	5,3	-	-	2	8,0	4	5,0
Сил+Дл	6	15,7	1	5,9	2	8,0	9	11,2

Примечание: Сл - слабый, Ср - средний, Сил - сильный, К - короткий, Н - нормальный, Дл - длительный апвеллинг.

В ходе исследований нами выявлен интересный случай особенно интенсивного и продолжительного апвеллинга в 2007 г. у западного побережья Среднего Каспия. Считаем необходимым остановиться на нем поподробнее.

Судя по данным наблюдений за уровнем моря и температурой воды в период с мая по июль 2007 г., наблюдавшийся в это время апвеллинг носил



волновой характер. Как следует из графика, изображенного на рис. 2, резкому снижению температуры воды в третьих декадах мая и июня предшествовало «раскачивание» поля уровня моря. При повышении разности в отметках уровня моря между о. Тюлений и Махачкалой до 20 см и более в районе Махачкалы (и в целом у Дагестанского побережья) наблюдался подъем холодных глубинных вод. При снижении этой разности до 10-15 см и менее у западного побережья Среднего Каспия наблюдалось повышение температуры воды.

Как следует из данного графика, начиная с последних чисел июня, колебания температуры воды и уровня моря происходили с периодичностью 6-7 суток. При этом размах колебаний уровня моря в июле постепенно снижался, а температура воды вернулась к норме только к концу месяца. В первой половине августа наблюдались еще два апвеллинга, но они не были столь интенсивными и продолжительными.

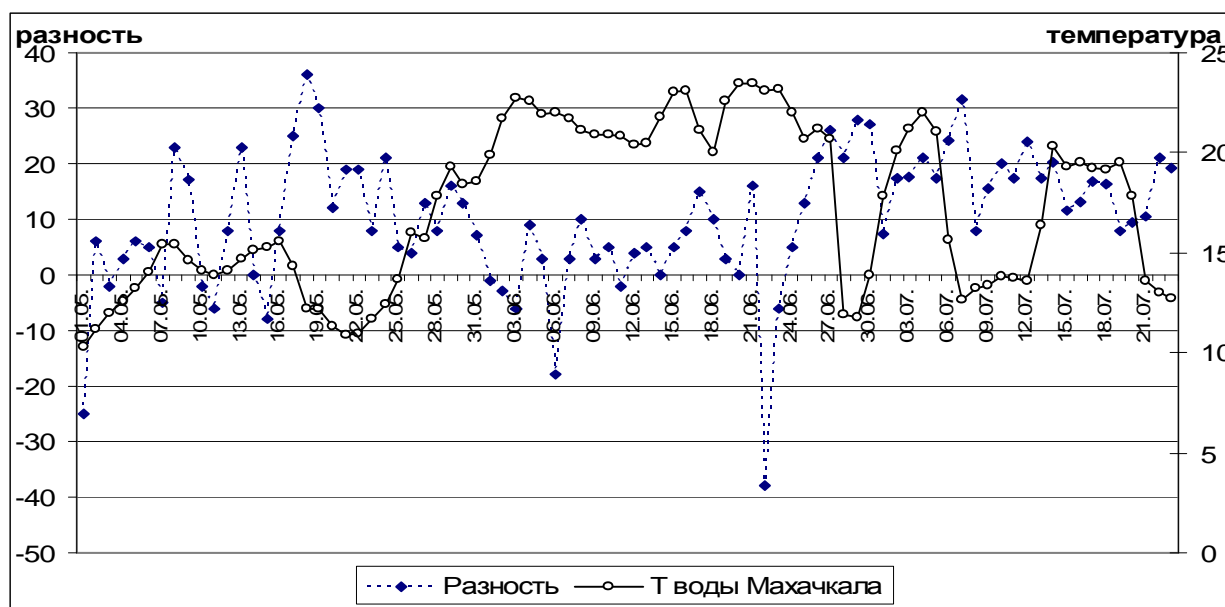


Рисунок 2. Разность между среднесуточными уровнями воды на о. Тюлений и в районе Махачкалы (см) и температура воды в районе Махачкалы (°C)

Результаты наших исследований подтверждают, что апвеллинг у западного побережья Среднего Каспия носит «синоптический» характер, так его продолжительность в 75% случаев не превышает 6 суток (по данным наблюдений 1999-2008 гг.). Однако частота этого явления (в среднем 8 случаев в год), его масштаб (чаще всего субрегиональный), а также интенсивность (средняя и сильная в 62% случаев) указывает на то, что апвеллинг должен играть существенную роль в функционировании прибрежных морских экосистем. Ее изучение является целью наших дальнейших исследований.

### Литература

1. Архипкин В.С. Особенности структуры и динамики прибрежного апвеллинга в Каспийском море // Каспийское море. Структура и динамика вод - М: Наука, 1990. С. 61-74.
2. Бондареко А.Л., Филлипов Ю.Г. Течения в Каспийском море, обусловленные свободными низкочастотными волнами // Метеорология и гидрология. 2004. №8. С. 73-77.
3. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. М.: Наука, 1993. 122 с.
4. Власенко В.И., Иванов В.А., Стащук Н.М. Генерация квазиинерционных колебаний при апвеллинге у южного берега Крыма // Океанология. 1996. Т. 36. № 1. С. 43-51.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI. Каспийское море. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 360 с.
6. Каспийское море. Гидрографическое описание и руководство для плавания издания 1877 года. СПб., 1908. С. 237-238.
7. Керимов А.А., Клевцова Н.Ц. Аномалия температуры воды и внутренние волны в Среднем Каспии // Тр. ЗакНИИГМИ, 1977. Вып. 70, С. 53-63.
8. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Каспийском море в 1914-1915 гг. // Тр. Касп. экспедиции 1914-1915 гг. СПб. Т.1, 1921., 943 с.
9. Косарев А.Н. Структура вод и условия формирования биологической продуктивности Среднего и Южного Каспия // Водные ресурсы, 1980, № 3, С. 26-36.
10. Косарев А. Н., Ширяев В. Н., Жирнов В. М. Об аномалиях температуры воды в Среднем Каспии. В кн.: Комплексные исследования природы океана. М., 1975. Вып. 5. С. 3-14.
11. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М: Изд-во МГУ, 1975. С. 174-194.
12. Косарев А.Н. Особенности температурной аномалии у восточного побережья Среднего Каспия. В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М., 1970. Вып. 1. С.197-211.

13. Косарев А.Н., Жирнов В.М. О прибрежных течениях у восточного берега Каспия // Комплексные исследования Каспийского моря: Сборник научных работ. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 111-120.
14. Косарев А.Н., Липунов В.Н. О вертикальных движениях вод в Каспийском море // Вест. МГУ, сер. Геогр. 1972, № 1. С. 83-94.
15. Липкер В.М. Суточные вертикальные миграции зоопланктона в восточной части Среднего Каспия // Комплексные исследования Каспийского моря. 1972. Вып. 3., С. 46-50.
16. Мамедов И.Г. Сгоны-нагоны и аномалии температуры у восточного побережья Среднего Каспия // Изв. АН АзССР, сер. наук о Земле. 1967, №1. С. 65-68.
17. Маянцев Г.П., Осянин Ю.А. О подземном стоке с Мангышлака в Каспийское море. "Океанология", 1965, т. 5. Вып. 5. С. 854-855.
18. Монахов С.К. К прогнозу температурных аномалий воды у Дагестанского побережья // Рекреационные ресурсы Каспийского моря. Проблемы использования и охраны. М: Наука, 1989. С. 56-58.
19. Нурмагомедов Г.Н. О происхождении холодных вод в поверхностных слоях у восточного побережья Среднего Каспия // Океанология, 1968, т. 8. Вып. 1. С. 21-24.
20. Пармузина Т.А. Изменчивость поверхностной температуры воды в Среднем Каспии и ее связь с направлением ветра. В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М., 1972. Вып.3. С. 103-110.
21. Пахомова А.С. Гидрохимические условия относительно холодных вод в восточной части Среднего Каспия // Труды ГОИН: Сборник научных работ. 1962. Вып. 68. С. 79-93.
22. Пахомова А.С., Затучная Б.М. Гидрохимия Каспийского моря. Л: Гидрометеоиздат, 1966. 344 с.
23. Пахомова А.С., Косарев А.Н. Гидрохимические условия и генезис аномально-холодных вод у восточного побережья Среднего Каспия // Вопросы теоретической и прикладной химии морей: Сборник научных работ. М.: Наука, 1972. С. 73-82.
24. Потайчук М.С., Овсянников А.Н. Выявление районов с аномальными температурными условиями в Каспийском море. В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М., 1972. Вып.3. С.121-126.
25. Приходько Б.И. О влиянии гидрологических условий на подходы обыкновенной кильки к северо-восточным берегам Среднего Каспия // Тр. Волго-Касп. научн. рыбохоз. станции: Сборник научных работ. 1947, т. 9. Вып. 1. С. 63-81.
26. Семенов Ю.Л. Температурный режим и распределение кислорода, активной реакции (рН) и солености в восточной части Среднего Каспия // Материалы 3-й межобластной научн.-практич. конф. по охране природных ресурсов Северного Кавказа. Махачкала, 1975. С. 109-111.
27. Соловьев А.Н., Кузовлев Г.М. По поводу одной гипотезы об аномалии температуры воды у восточного побережья Среднего Каспия // Океанология, 1966, т. 6. Вып. 5. С. 906-910.
28. Тамбовцева Л.П. К вопросу о температурной аномалии на Каспийском море // Сб. работ Бакинской гидрометеообсерватории, 1966. Вып. 2. С. 107-112.
29. Уланов Х.К. Аномалии температуры воды в восточной части Среднего Каспия // Изв. АН АзССР", сер. геол.-геогр. 1960, №4. С. 57-58.
30. Уланов Х.К. Об аномалии температуры воды и подземном питании восточной части Среднего Каспия // Изв. Всес. геогр. общества. 1962. т. 94. №5. С. 431-435.

31. Штокман В.Б. О циркуляции, возбуждаемой ветром в глубоководных частях Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 1947. №2. С. 42-50.
32. Щербак С.Я. Температура воды на поверхности в средней и южной частях Каспийского моря // Труды по комплексному изучению Каспийского моря. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 66-69.