



## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 574.55(262.81)

### ДИНАМИКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В СЕВЕРНОМ И СРЕДНЕМ КАСПИИ

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК П1440 от 03.09.2009 г.

© 2010. Ахмедова Г.А.

Дагестанский государственный университет

**Аннотация:** Для выяснения механизма формирования режима биогенных веществ и выяснения причин многолетних изменений гидрохимического режима вод на северо-западном шельфе на основе имеющихся литературных и фоновых данных сделана попытка проанализировать степень влияния волжского стока на режим биогенных элементов в северной и средней частях моря, для чего весь период наблюдений был разделен на несколько временных интервалов, характеризующихся различной водностью Волги и уровнем моря.

**Annotation:** An attempt to analyze the degree of the Volga flow influence on the conditions of biogenic elements in the Northern and Middle parts of the sea has been made. The goal is to reveal the formation mechanism of the biogenic substances conditions and the reasons of long-term changes of hydrochemical conditions of waters on the northwest shelf on the basis of available literary and fund data. For this purpose the whole period of observations has been divided into the intervals with various water levels in the Volga and in the sea.

**Ключевые слова:** Каспийское море, волжский сток, уровень моря, биогенные вещества, гидрохимический режим.

**Keywords:** The Caspian Sea, the Volga flow, sea level, biogenic substances, hydrochemical conditions.

Проблема трансформации уникальной Каспийской экосистемы под влиянием всего комплекса природных и антропогенных факторов вызывает неподдельный интерес многих исследователей. Совместное действие этих факторов и создает пространственную и временную неоднородность каспийских вод.

В литературе неоднократно указывалось на связь биологической продуктивности Северного Каспия с волжским стоком, причем основное ее звено представляют биогенные вещества, поступающие с речными водами. Некоторые авторы полагают, что биогенные вещества, поступающие в море с волжским стоком – это основная база для формирования биологической продукции не только Северного Каспия, но и моря в целом [10]. Между тем, исследования механизма формирования первичной продукции Северного Каспия, проведенные в последние годы [3, 8], показывают, что ее основная часть создается за счет рециклинга биогенных веществ, а не за счет их выноса с речным стоком. Об этом же свидетельствуют данные гидробиологических исследований. Положительная связь биомассы фито-, зоопланктона и зообентоса Северного Каспия с выносом биогенных веществ из реки Волги если и прослеживается, то в узких временных и пространственных границах [1].

Кроме того, в литературе указывалось на важное значение притока фосфора, азота и кремния из Среднего Каспия в формировании режима биогенных веществ в северной части моря [9]. Известно также, что большая часть биогенных солей, поступающих в море с волжским стоком, потребляется планктоном во фронтальной зоне (2-6 промилле), а обогащение биогенными веществами зоны с соленостью 6-11 промилле обусловлено их поступлением из открытого моря [2].

На основе имеющихся литературных данных нами сделана попытка проанализировать степень влияния волжского стока на режим биогенных элементов в Северной и Средней частях моря.



Для выяснения механизма формирования режима биогенных веществ на Дагестанском шельфе использовались опубликованные в литературе данные многолетних гидрохимических наблюдений, проводившихся учреждениями Госкомрыболовства РФ и Росгидромета на Каспийском море и в дельте р. Волги во второй половине 20-го столетия. При соблюдении всех методических требований различные методы определений биогенных веществ учреждениями Госкомрыболовства РФ дали сопоставимые результаты.

Для выяснения причин многолетних изменений гидрохимического режима вод на северо-западном шельфе весь период наблюдений был разделен на несколько временных интервалов. В течение первого (1947-1960 гг.) сток р. Волги еще не был зарегулирован; в течение второго (1961-1970 гг.) приток воды в Каспий и его уровень были относительно стабильными; в течение третьего (1971-1977 гг.) произошло резкое понижение уровня моря, вызванное дефицитом волжского стока; в течение четвертого (1978-1995 гг.) уровень моря повысился почти на два с половиной метра, чему благоприятствовало увеличение притока речных вод; в течение пятого (1995-1999 гг.) уровень моря вновь немного понизился, причиной чего также стало уменьшение волжского стока.

По нашему мнению, на формирование запасов биогенных солей в мелководной и глубоководной частях моря влияют как поверхностный сток, так и процессы их потребления и регенерации, связанные с жизнедеятельностью биологических сообществ.

По данным биогенного стока Волги в периоды, характеризующиеся различной водностью (табл. 1) видно, что в 1936-1977 гг., которые характеризовались падением уровня моря и уменьшением волжского стока, наблюдалось уменьшение поступления фосфатов и соединений кремния. В половодье поступление фосфатов уменьшилось с 3 до 0,9 тыс. тонн, кремния с 333 до 170 тыс. тонн. Поступление аммонийного азота в 1936-1959 гг. увеличилось с 15,4 до 29,2 тыс. тонн, и 1960-1977 гг. – уменьшилось до 14,5 тыс. тонн. Аналогичные изменения в эти периоды происходили и со стоком биогенных веществ за год.

Таблица 1

Сток биогенных веществ р. Волги в половодье и за год  
(тыс. тонн) [5, 6, 7]

Годы	Половодье			За год		
	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Si	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Si
1936-1955	3,0	15,4	333	5,1	36,8	588
1956-1959	1,5	29,2	318	2,8	52,4	577
1960-1970	1,4	21,9	293	2,9	36,5	554
1971-1977	0,9	14,5	170	2,9	24,2	487
1978-1985	2,3	20,5	159	7,2	-	438
1986-1999	8,1	10	266	16,2	-	648

В 1978-1985 гг., которые характеризовались резким подъемом уровня моря и увеличением стока Волги, произошло существенное увеличение поступления фосфатов и аммонийного азота в половодье (до 2,3 и 20,5 тыс. тонн соответственно) и за год. Поступление кремния уменьшилось до минимальных значений (159 тыс. тонн в половодье и 438 тыс. тонн за год), что косвенно подтверждает снижение интенсивности продукционных процессов в водохранилищах [5].

В период дальнейшего подъема уровня моря и некоторой его стабилизации (1986-1999 гг.), наблюдалось значительное, до 10 тыс. тонн, уменьшение поступления аммонийного азота (что почти в два раза меньше чем в предыдущий период). Фосфор и кремний, напротив, поступали в Северный Каспий в большом количестве. Сток фосфатов в половодье увеличился по сравнению с предыдущим периодом почти в четыре (с 2,3 до 8,1 тыс. тонн), а за год – более чем в два раза (с 7,2 до 16,2 тыс. тонн).



Таким образом, в последние годы, по-видимому, трансформирующая роль водохранилищ уменьшилась, поэтому биогенные вещества минеральных форм поступают в низовья Волги, не участвуя в продукционных процессах водохранилищ [7].

На основе анализа данных о сезонной изменчивости содержания минерального фосфора в водах Северного Каспия (рис. 1) следует, что его приток с волжскими водами заметно превышает потребление фосфатов планктоном только в период половодья на Волге, при этом в западной части Северного Каспия влияние поступления фосфатов с волжскими водами на их содержание в морской воде ощущается больше, чем в восточной [4].

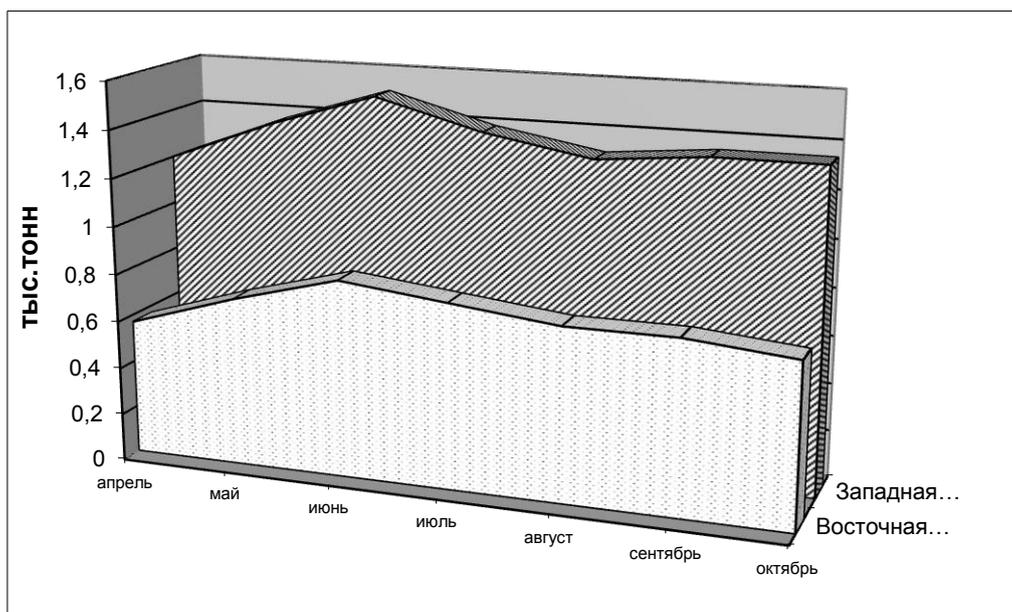


Рис. 1. Средние многолетние сезонные изменения запасов минерального фосфора в Северном Каспии в 1935-1979 гг.

Из данных о многолетней изменчивости стока минерального фосфора в половодье и его содержания в морской воде в июне в различных зонах Северного Каспия видно, что поступление фосфатов с речными водами влияет на их концентрацию в морской воде, но это воздействие ослабевает с увеличением глубины моря. В августе в различных зонах Северного Каспия после спада половодья влияние поступления фосфатов речным стоком на их концентрацию в морской воде уменьшается, и это влияние ощущается только в приустьевой области. В 1978-85 гг. – в период значительного увеличения уровня моря, концентрации фосфатов достигли экстремальных значений (табл. 2).

Таблица 2

Содержание минерального фосфора в водах Северного Каспия в июне и августе, мкг/л  
[5, 6, 7, Ежегодные данные, 1978-1992]

Период	Июнь				Август			
	Мелководная зона		Глубоководная зона		Мелководная зона		Глубоководная зона	
	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона
1935-1955	16	-	11	9	11	-	9	5
1954-1959	7	5	6	5	6	6	6	6
1961-1970	6	7	5	5	6	6	6	6
1971-1975	8	5	6	6	3	4	7	6
1978-1985	28	26	30	26	11	14	2	10
1986-1992	22	15	5	5	12	9	8	-



Увеличение в период половодья поступления минерального азота в Северный Каспий, наблюдавшееся после зарегулирования волжского стока, способствовало повышению содержания аммонийного азота в морской воде и наблюдалось только в приустьевой области, а на открытом шельфе его концентрация, наоборот, понизилась. В 1978-1985 гг. концентрация аммонийного азота снизилась в несколько раз, относительно предыдущих лет (1935-1975 гг.), хотя в последующий период (1986-1992 гг.) содержание аммонийного азота несколько выросло, но только на мелководье в приустьевой зоне (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание аммонийного азота в водах Северного Каспия в июне и августе, мкг/л [5, 6, 7, Ежегодные данные, 1978-1992]**

Период	Июнь				Август			
	Мелководная зона		Глубоководная зона		Мелководная зона		Глубоководная зона	
	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона
1935-1955	136	92	113	86	130	54	154	153
1954-1959	132	112	95	70	116	96	60	58
1961-1970	78	69	58	56	72	45	69	62
1971-1975	103	107	45	46	71	78	59	58
1978-1985	16	16	10	14	55	-	18	19
1986-1992	67	39	2	6	83	59	29	27

Многолетние изменения содержания кремнекислоты характеризуются ее высокими концентрациями в море, несмотря на неравномерность распределения в пространстве и времени. В 1933-1977 гг. наблюдалось уменьшение годового стока кремния в Северный Каспий, хотя оно не было столь заметным, как снижение стока в половодье. Однако концентрация кремния в северокаспийской воде в июне не снизилась, как этого следовало ожидать, а, наоборот, повысилась. Особенно заметным (также почти в два раза) это повышение было в глубоководной зоне. В это же время было зарегистрировано весьма существенное повышение концентрации кремния в водах Северного Каспия в летнюю межень (табл. 4). Своих экстремальных значений концентрации кремния в глубоководных и мелководных зонах Северного Каспия достигли в 1971-1975 гг. (в период падения уровня моря).

Таблица 4

**Содержание кремния в водах Северного Каспия в июне и августе, мкг/л [5, 6, 7, Ежегодные данные, 1978-1992]**

Период	Июнь (половодье)				Август			
	Мелководная зона		Глубоководная зона		Мелководная зона		Глубоководная зона	
	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона	Западная часть	Вся зона
1935-1955	1563	1335	936	859	1166	329	548	699
1954-1959	1815	1672	1187	1114	1557	1620	836	1084
1961-1970	1834	1757	1161	1278	2066	1806	883	1351
1971-1975	2117	1960	1361	1590	2066	1840	1212	1662
1978-1985	688	582	187	389	698	812	140	474
1986-1992	75	74	31	40	27	81	36	33

Волжская вода, обогащенная биогенными веществами, при прохождении через дельту и авандельту претерпевает качественную и количественную трансформацию. Таким образом, в маловодные годы обогащение речных вод в дельте фосфатами и аммонийным азотом не приво-



дит к увеличению последних в Северном Каспии, т.к. значительная их часть аккумулируется и потребляется в отмелой зоне устьевого взморья. В то же время отмечается увеличение содержания кремния, особенно в западной части мелководной и глубоководной зон.

В период повышения уровня моря и увеличения водности Волги 1978-1985 гг. концентрации биогенных веществ в дельте реки значительно возросли, но это не привело к увеличению концентрации кремния и аммонийного азота в водах Северного Каспия, хотя и в глубоководной и мелководной зонах концентрации фосфатов значительно увеличились. Это, по-видимому, объясняется антропогенным воздействием в этом районе, за счет возросшего использования фосфорсодержащих удобрений в бассейне Волги.

Анализ изменений отношения  $N_{амм}/P_{мин}$  и  $Si/P_{мин}$  показал, что, в периоде 1936-1995 гг. можно выделить три этапа, различающихся между собой по метаболизму биогенных элементов в водах устьевого взморья р. Волги (табл. 5).

Таблица 5

Отношение биогенных веществ в водах устьевого взморья р. Волги в 1936-1995 гг.

Периоды	$Si/P_{мин}$	$N_{амм}/P_{мин}$	Избыток биогенных элементов в водах Северного Каспия
1936-1955	<100-150	> 10-15	$N_{амм}$
1956-1977	>100-150	→ 10-15	Si
1978-1995	<100-150	< 10-15	$P_{мин}$

Для первого этапа – 1936-1955 гг. – падения уровня моря и до зарегулирования волжского стока, было характерно сочетание пониженного отношения  $Si/P_{мин}$  и повышенного отношения  $N_{амм}/P_{мин}$  в водах устьевого взморья, причем последнее по мере трансформации волжских вод возрастало. При этом содержание аммонийного азота в Северном Каспии было наибольшим за весь рассматриваемый период. Накопление аммонийного азота, по-видимому, обуславливалось биохимическими процессами – замедленным потреблением (и) или ускоренной минерализацией.

На втором этапе – 1956-1977 гг., при снижении уровня моря и зарегулированном волжском стоке, отношение  $Si/P_{мин}$  в водах устьевого взморья было повышенным, а отношение  $N_{мин}/P_{мин}$  отличалось нестабильностью, но по мере их трансформации оно приближалось к значению, лежащему в пределах 10-15. При этом в водах Северного Каспия содержание кремния достигало максимума за весь рассматриваемый период. Возможно, последнее также было обусловлено изменением круговорота в экосистеме Северного Каспия, т.к. его поступление с волжским стоком в этот период было относительно низким.

На третьем этапе – 1978-1995 гг. (повышение уровня моря на фоне зарегулированного волжского стока) было характерно сочетание пониженного отношения как  $Si/P_{мин}$ , так  $N_{мин}/P_{мин}$  в водах устьевого взморья. Содержание минерального фосфора было наибольшим за весь рассматриваемый период, что, вероятно, обуславливалось не только увеличением его поступления с волжскими водами, но и биохимическими процессами.

Можно предположить, что избыток того или иного биогенного соединения, образовавшийся в Северном Каспии, сбрасывался в глубоководную часть моря (на первом этапе это был минеральный азот, на втором – растворенный кремний, на третьем – минеральный фосфор).

В конце 70-х годов, с началом новой перестройки режима Каспия, связанной с увеличением волжского стока и повышением уровня моря, произошли изменения и в распределении биогенных веществ в водах Среднего Каспия.

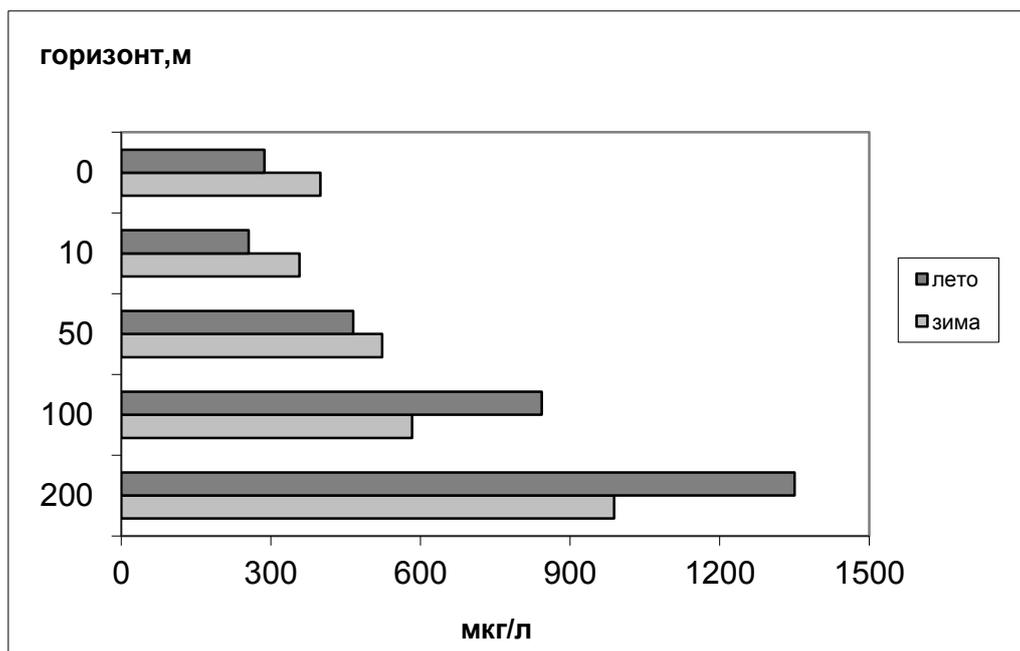
Изучение динамики фосфатов в глубоководной части Среднего Каспия при различном положении уровня моря показало, что в период понижения уровня моря произошел значительный рост концентрации фосфатов по всей водной толще: максимальное ее увеличение наблюдалось в слое 50-100 м (45-70 мкг/л) и на горизонте 250 м (50 мкг/л). Повышение уровня моря характеризовалось резким снижением концентраций фосфатов на всех горизонтах [1].



Содержание аммонийного азота в водах Каспийского моря определялось эпизодически. По данным наблюдений 1979-1981 гг. [4] зимой содержание аммонийного азота в водах западной части Среднего Каспия составляло 2-5 мкг/л. В теплый сезон содержание аммонийного азота значительно увеличилось. Средние значения составили 150-200 мкг/л. Для вертикального распределения было характерно снижение его концентраций на горизонте 25 м, где примерно проходит верхняя граница термоклина [1].

Сезонная динамика вертикального распределения кремния для глубоководных районов Каспийского моря характеризуется летом – возрастанием, а зимой – уменьшением его содержания с глубиной. Период повышения уровня по данным многолетних наблюдений характеризовался повышением концентрации растворенного кремния в поверхностном и придонном горизонтах и уменьшением ее на промежуточных горизонтах (рис. 2а, б).

а.



б.

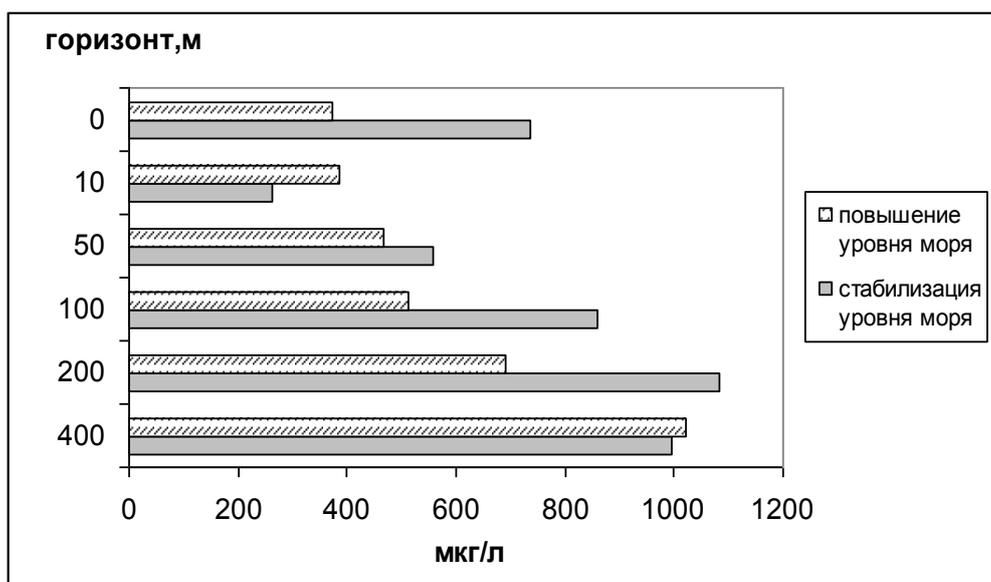


Рис. 2. Изменение содержания кремния в Среднем Каспии по данным многолетних наблюдений по сезонам (а.) и в характерные многолетние периоды (б.) [1]



Таким образом, реакция экосистемы каспийского моря на внешние воздействия и изменения, вызванные этими воздействиями, в разных районах моря имеют разную величину и происходят не всегда одновременно.

Изложенные выше факты свидетельствуют о том, что поступление биогенных веществ с речными водами, безусловно, влияет на их концентрацию в морской воде, но это воздействие ослабевает с увеличением глубины моря. В западной части Северного Каспия влияние поступления биогенных веществ с волжскими водами на их содержание в морской воде ощущается больше, чем в восточной.

Приток фосфатов с волжскими водами заметно превышает их потребление планктоном только в период половодья на Волге. После спада половодья влияние речного стока на их концентрацию в морской воде уменьшается, и это влияние ощущается только на мелководье.

Обогащение речных вод в дельте фосфатами и аммонийным азотом в маловодные годы не привело к их увеличению Северном Каспии, т.к. значительная часть потреблялась и аккумулировалась в отмелой зоне устьевого взморья.

При повышении уровня моря и увеличении водности Волги концентрации биогенных веществ в дельте реки значительно возросли, но это не привело к увеличению концентрации кремния и аммонийного азота в водах Северного Каспия, хотя концентрации фосфатов значительно увеличились и в глубоководной и в мелководной зонах.

#### Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.3. Балтийское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – С.-Пб: Гидрометиздат, 1994. – 435 с.
2. Захарова Е.А. Фосфор и кремний в зоне смешения речных и морских вод на устьевом взморье Волги // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1999. – № 5. – С. 55-59.
3. Иванов В.П., Сокольский А.Ф. Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. – Астрахань: Изд-во КаспНИИРХ, 2000. – 181 с.
4. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия / Под ред. Байдина С.С., Косарева А.Н. – М: Наука, 1986. – 261 с.
5. Катунин Д.Н., Галушкина Н.В., Железцова Е.Г., Радованов Г.В. Многолетние (1936-1999 гг.) изменения биогенного стока р. Волги // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 1999 год. – Астрахань, 2000. – С. 362-368.
6. Катунин Д.Н., Косарев А.Н. Соленость и биогенные вещества в Северном Каспии // Водные ресурсы. – 1981. – №1. – С. 77-88.
7. Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Беспарточный Н.П., Никотина Л.Н., Галушкина Н.В., Радованов Г.В. Влияние волжского стока на гидролого-гидрохимический режим Каспийского моря // Каспийский плавучий университет. Научный бюллетень. № 1. – Астрахань, 2000. – С. 111-118.
8. Леонов А.В. Математическое моделирование сезонной динамики концентраций соединений биогенных элементов и биопродуктивности вод северной части Каспийского моря // Каспийский плавучий университет. Научный бюллетень. № 1. – Астрахань. – 2000. – С. 71-80.
9. Молошников В.Н. Особенности современного режима биогенных веществ в Северном Каспии // Тр. ГОИН. – 1975. – Вып. 125. – С. 145-152.
10. Научные основы устойчивого рыболовства и регионального распределения промысловых объектов Каспийского моря / Под ред. Беляевой В.Н., Иванова В.П., Зиланова В.К. – М: ВНИРО, 1998. – 167 с.

#### Bibliography

1. Hydrometeorology and hydrochemistry of the sea, Vol. 3. The Baltic Sea, Issue 2. Hydrochemical conditions and oceanologic bases of biological efficiency formation. – Saint-Petersburg: Hydro and Meteorology Publishing House, 1994. – 435 p.



2. Zaharova E.A. Phosphorus and silicon in the zone of river and sea waters mixture in the mouth coast of the Volga // *The Herald of Moscow State University. Series №5. Geography.* – 1999. – 5. – P. 55-59.
3. Ivanov V.P., Sokolsky A.F. Scientific basis of protection strategy of biological resources in the Caspian Sea from oil pollution. – Astrakhan: Caspian Scientific and Research Institute of Fish Industry Publishing House, 2000. – 181 p.
4. *The Caspian Sea: the Hydrology and hydrochemistry* / Edited by Baydina S.S., Kosarev A.N. – Moscow: the Science, 1986. – 261 p.
5. Katunin D.N., Galushkina N.V., Zheleztsova E.G., Radovanov G.V. Long-term changes (1936-1999) of the Volga biogenic flow / *Fish industry researches in the Caspian Sea: Data of Scientific and research works for 1999.* – Astrakhan, 2000. – P. 362-368.
6. Katunin D.N., Kosarev A.N. Salinity and biogenic substances in the Northern Caspian Sea // *Water resources.* – 1981. – №1. – P. 77-88.
7. Katunin D.N., Hripunov I.A., Bespartochnyj N.P., Nikotina L.N., Galushkina N.V., Radovanov G.V. The influence of the Volga flow on the hydrology and hydrochemical conditions of the Caspian Sea / *Caspian Floating University. The scientific bulletin №1.* – Astrakhan, 2000. – P. 111-118.
8. Leonov A.V. Mathematical modelling of seasonal dynamics of biogenic elements concentration and bioefficiency of waters in the northern part of the Caspian Sea / *Caspian Floating University. The scientific bulletin №1.* – Astrakhan, 2000. – P. 71-80.
9. Moloshnikova V.N. The peculiarities of the modern conditions of biogenic substances in the Northern Caspian Sea // *Works of the State Oceanographic Institute.* – 1975. – Issue 125. – P. 145-152.
10. Scientific bases of fishery and regional distribution of trade objects of the Caspian Sea / Edited by Belyaeva V.N., Ivanova V.P., Zilanova V.K. – Moscow: Russian Scientific and Research Institute of Fish Industry and Oceanology, 1998. – 167 p.