

УДК 581.526.325 (262.81)

**ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА МНОГОЛЕТНИЕ
ИЗМЕНЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА СЕВЕРНОГО КАСПИЯ**

Н.А.Тимофеев

За последние 35-40 лет крайне неблагоприятная климатическая ситуация, зарегулирование стока Волги и все увеличивающийся забор ее воды привели к изменениям в гидрологическом, гидрохимическом, морфометрическом и биологическом режимах Северного Каспия.

Если процесс изменений отдельных абиотических и биотических характеристик к настоящему времени рассмотрен и описан довольно подробно, то о зависимостях одних характеристик от других, в частности о количественной стороне этих зависимостей, известно еще очень мало. Особенно это касается зависимости биотических характеристик от абиотических.

В то же время, поскольку в перспективе возможны дальнейшие изменения отдельных абиотических характеристик или их комплекса, перед специалистами продолжает стоять вопрос о будущей продуктивности Северного Каспия. Для удовлетворительного ответа на этот вопрос необходимо знать, изменение каких факторов ведет к изменению конкретных биотических характеристик и какова количественная оценка этого влияния.

В настоящей работе сделана попытка дать количественную оценку влияния отдельных факторов среды на изменение средней биомассы фитопланктона и выделить те из них, которые доста-

точно надежно ($r \geq 0,75$)^{х/} определили бы эти изменения.

В качестве биологического объекта фитопланктон был взят потому, что по отношению к нему количественных разработок в предлагаемом аспекте совсем нет, а имеющиеся качественные зависимости подчас противоречивы.

В то же время известно, что органическое вещество фитопланктона в живой форме и форме детрита является основной пищей всех групп зоопланктона и зообентоса Северного Каспия, т.е. пищевой основой формирования кормовой базы основных промысловых рыб Северного Каспия.

Некоторые исследователи, исключая промежуточные звенья трофической цепи, находят довольно тесные связи непосредственно между величинами уловов промысловых рыб и первичной продукции [4].

В работе не ставилась цель изучить зависимости изменения первичной продукции Северного Каспия от абиотических факторов, поскольку, с одной стороны, у Винецкой [1-4] этот вопрос рассмотрен довольно подробно, а с другой, - эта величина недостаточно точно характеризует биомассу фитопланктона в конкретный момент или период. Но данные по средней биомассе фитопланктона имеются только с 1956 г. [5] и только по апрельскому фитопланктону. Данные Усачева [6] за 1935-1941 гг. не вполне репрезентативны для численной обработки.

Поэтому мы сочли полезным рассмотреть количественные изменения фитопланктона в апреле по средним биомассам, а в июне и августе - по величинам первичной продукции.

Необходимо отметить, что для глубоководной зоны Северного Каспия величины первичной продукции не могут характеризовать среднюю биомассу фитопланктона совершенно, поскольку сюда выносятся водоросли среднекаспийского происхождения, слабо фотосинтезирующие и отмирающие здесь, а величины первичной продукции, получаемые по суточной разнице кислорода [2], пропорциональны именно интенсивности фотосинтеза, т.е. не характери-

х/ Здесь и дальше r - простой, R - множественный коэффициенты корреляции.

зуют пассивного планктона. При этом биомасса такой водоросли среднекаспийского происхождения, как ризосоления, составляет в глубоководной зоне западной части Северного Каспия и весной и летом преимущественную часть биомассы фитопланктона. Рис.1а достаточно хорошо иллюстрирует это несоответствие, показывая, что величины первичной продукции и биомассы фитопланктона в западной глубоководной зоне изменяются противоположно.

В мелководной же зоне, где обитают в основном характерные для Северного Каспия формы, которые нормально развиваются и фотосинтезируют здесь, величина первичной продукции вполне соответствует величине биомассы фитопланктона (рис.1б).

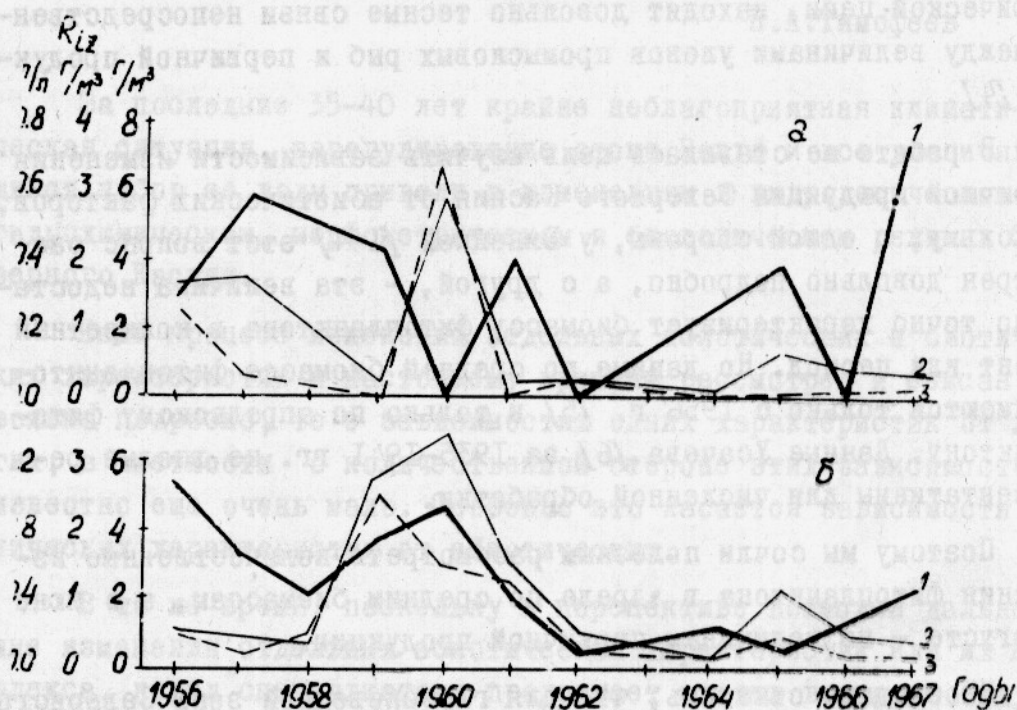


Рис.1. Многолетние изменения первичной продукции (1), фитопланктона (2), ризосоления (3) и спирогиры (4) в апреле: А - в западной глубоководной зоне; Б - в западном мелководье.

Эти особенности необходимо учитывать при совместном рассмотрении изменений биомассы фитопланктона и первичной продукции.

Рассмотрим существующие суждения о количественных изме-

нениях фитопланктона Северного Каспия.

Усачев [6], говоря о причинах изменений биомасс фитопланктона Северного Каспия, склонен считать, что значительную роль в этих изменениях играет величина стока Волги и характер ее паводка, полагая, что величина стока характеризует общее поступление в море питательных солей, потребляемых планктоном, а характер паводка — степень распространения речных вод по акватории Северного Каспия.

Однако, если логическую сторону предлагаемой связи можно считать обоснованной, то формально эта связь не может быть признана достоверной, поскольку в распоряжении Усачева были данные только за три года. Подтвердить же эту связь сейчас нет возможности, так как данных по среднегодовым биомассам фитопланктона к настоящему времени (судя по опубликованным работам и рукописным отчетам) не прибавилось.

Позднее количественные изменения фитопланктона исследовала Левшакова [5], но только по апрельским биомассам. Основными абиотическими факторами, влияющими на изменение биомассы фитопланктона, Левшакова считает вынос кремния Волгой и ветры нагонных направлений для ризосоления, сток Волги для планктона юго-западного района^{х/} (прямая связь), сток Волги для планктона предустьевоего пространства и для спиругиры (обратная связь). Относительно других районов и видов фитопланктона автор таких выводов не делает. Предлагаемые же связи, по мнению самой Левшаковой, недостаточно тесны и устойчивы.

Кроме того, в определении влияния волжского стока на биомассу спиругиры содержатся определенные противоречия. С одной стороны, говорится об отрицательном влиянии увеличения стока в январе-апреле на биомассу спиругиры в предустьевом пространстве, а с другой, — об увеличении спиругиры после зарегулирования Волги у Куйбышева и Волгограда благодаря увеличению зимнего стока Волги.

Анализируя изменение биомасс апрельского фитопланктона, мы исключили перидиновые, составляющие незначительные биомассы. Фитопланктон восточного побережья не рассматривается по

^{х/} Здесь и дальше районирование дано по Левшаковой [5].

той же причине. При анализе мы руководствовались следующими известными положениями.

1. Наиболее значительную биомассу из всех видов фитопланктона в апреле составляют ризосоления (*Rhizosolenia salinarum*) водоросль среднекаспийского происхождения, заносимая в Северный Каспий из Среднего и почти не размножающаяся здесь [5,6], и спирогира (*Spirogira* sp.sp.) - донная пресноводная водоросль, характерная для прибрежной опресненной зоны.

2. Ризосоления составляет основу биомассы диатомовых, а спирогира - зеленых водорослей.

3. Основные виды планктона распределяются по районам в соответствии с их положением относительно морских и речных вод: основу биомассы предустьевое пространство составляет спирогира, центрального мелководья - спирогира и ризосоления, юго-восточного района - ризосоления.

Исходя из этого, попытаемся сначала логически определить комплекс абиотических факторов, которые могут вызвать межгодовые изменения средних биомасс фитопланктона.

Биомасса фитопланктона предустьевое пространство, видимо, не лимитируется количеством питательных солей, поскольку с волжскими водами их выносятся сюда достаточно. Спирогира - донная водоросль, поэтому на ее развитии должна сказываться прозрачность воды. Поскольку район расположен в области действия стокового течения Волги, количество фитопланктона здесь должно иметь обратную связь с силой течения, т.е. со стоком Волги, так как с усилением течения усилится вынос фитопланктона из района. Кроме того, на развитие спирогиры, как и других водорослей, повлияет характер весенних тепловых процессов. В качестве индикатора весенних процессов можно, очевидно, принять температуру воды или воздуха в апреле.

Биомасса фитопланктона центрального мелководья формируется в апреле в основном за счет спирогиры и ризосоления. Количество спирогиры здесь должно быть связано с выносом ее из предустьевое пространство и условиями развития, или, переходя к индикаторам, - с величиной апрельского стока Волги и температурой воды или воздуха в апреле. Количество ризосоле-

нии связано с выносом ее из Среднего Каспия, что в свою очередь зависит от направления преобладающих в апреле течений, и с условиями ее развития в Среднем Каспии. Наиболее надежным показателем динамики вод в этом случае следует считать, видимо, величину средней солености вод Северного Каспия или западной и восточной его частей.

Развитие ризосоления в Среднем Каспии в апреле обуславливается в основном наличием здесь в это время питательных солей и теплового характера весны. Количество питательных солей в апреле в значительной мере связано с продолжительностью зимы [2], так как продолжительность зимы характеризует количество непотребленных к апрелю питательных солей, накопленных за счет вертикальной циркуляции, стока с волжскими водами и т.д. Продолжительность зимы, на наш взгляд, может лучше других показателей (например, суровость или количество градусо-дней мороза) характеризовать количество накопленных и непотребленных за зиму биогенов, поскольку именно продолжительность зимы, а не ее суровость характеризует пассивный период в развитии фитопланктона.

Исходя из рассуждений о влиянии определенных абиотических факторов на развитие ризосоления и спирогиры, можно заключить, что изменение биомассы фитопланктона юго-восточного района достаточно надежно характеризуется средней соленостью воды и продолжительностью зимы.

Юго-западный район находится под влиянием среднекаспийской и волжской воды, поэтому биомассы спирогиры и ризосоления здесь одного порядка. Проследить ее изменение можно, очевидно, по средней солености, продолжительности зимы и стоку Волги в апреле. Кроме того, поскольку из-за относительной удаленности района от устья Волги волжские воды приходят сюда уже обедненными, на развитие спирогиры здесь должно влиять количество вносимых Волгой в апреле биогенов. Биогены, приносимые сюда со среднекаспийской водой, для спирогиры, видимо, не очень важны, так как она в среднекаспийских водах не развивается.

Для района Уральской бороздины решающее влияние имеет, вероятно, поступление биогенов с уральскими и волжскими водами.

Исходя из приведенных соображений и пользуясь методом корреляционного анализа, мы попытались численно охарактеризовать намеченные связи.

Однако уже предварительный графический анализ многолетнего хода перечисленных биотических и абиотических характеристик показал, что путем обычного сопоставления вряд ли можно получить высокие коэффициенты связи, поскольку при одинаковой направленности многолетней тенденции межгодовые изменения часто не совпадают (рис.2). Поэтому пришлось разделить изменения разной периодичности с тем, чтобы в одном случае подчеркнуть межгодовые и исключить многолетние изменения, а в другом - сгладить межгодовые и выделить многолетние.

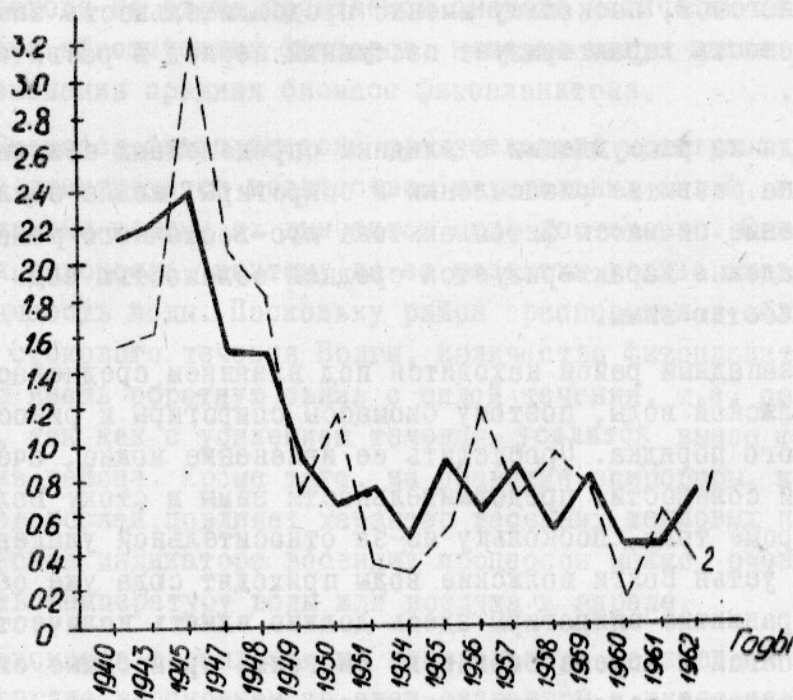


Рис.2. Зависимость первичной продукции западной глубоководной зоны от биогенного (PO_4) стока Волги в весеннее половодье: 1 - по расчетным, 2 - по фактическим данным [3].

Достигнуто это было в первом случае путем представления исследуемого ряда данных в отклонениях данного года от предыдущего, а во втором – последовательным суммированием отклонений от средней многолетней. В первом случае изменения были определены как межгодовые, во втором – как многолетние.

Интегральный способ изображения был принят потому, что в некоторые годы первичная продукция не исследовалась (дискретность ряда неодинакова), и анализировать имеющиеся ряды другими способами просто невозможно.

В таблице даны результаты расчета и уравнения регрессии, а на рис.3 – сравнение фактических и рассчитанных по этим уравнениям кривых, полученных при сопоставлении межгодовых изменений средних биомасс апрельского фитопланктона и различных биотических характеристик (в отклонениях).

Как следует из таблицы, для характеристики межгодовых изменений средней биомассы фитопланктона в целом для Северного Каспия, предустьевого пространства, центрального мелководья и района Забурунье-Урал, а также биомассы спиригиры успешного количественного решения найти не удалось. Возможно, это связано с нерепрезентативностью используемых данных или принятых индикаторов.

Изменения интенсивности образования органического вещества фитопланктона и факторы, определяющие его, были подробно рассмотрены Винецкой. Однако тесных связей, позволяющих говорить о преобладающем влиянии тех или иных факторов, ей удалось выявить немного: связь первичной продукции западного глубоководного района в июне с биогенным стоком Волги в половодье ($r = 0,83$), а в августе – с жидким стоком ($r = 0,75$). Связь первичной продукции в мелководной зоне в июне с величиной паводка ($r = -0,54$) и в августе – с температурой воды ($r = 0,60$) недостаточно тесна, чтобы говорить о преобладающей роли этих факторов.

Кроме того, в полученных Винецкой связях есть некоторые противоречия и неясности. Непонятно, например, почему для июня взят биогенный сток Волги, а для августа – жидкий. Далее, на рис.2, взятом из работы Винецкой [4] и характеризующим связь первичной продукции в июне в западной глубоководной зоне с биогенным стоком Волги, в восьми случаях из шестнадцати ход изменений противоположен, а коэффициент связи высок (0,83).

Коэффициенты корреляции		Вероятные отклонения	Уравнения регрессии
$r_{1,22}$	$=0,377$		
$r_{1,23}$	$=0,597$		
$R_{1,22,23}$	$=0,621$		
$r_{2,22}$	$=0,649$		
$r_{2,23}$	$=0,519$		
$R_{2,22,23}$	$=0,793$	0,058	$y = 0,451x + 0,063z + 0,034$
$r_{3,22}$	$=0,536$		
$r_{3,23}$	$=0,519$		
$r_{3,28}$	$=0,268$		
$R_{3,22,23}$	$=0,636$		
$R_{3,22,23,28}$	$=0,768$	0,087	$y = 0,020x + 0,004z + 0,132w + 0,004$
$r_{5,22}$	$=0,681$		
$r_{5,23}$	$=0,734$		
$R_{5,22,23}$	$=0,855$	0,057	$y = 0,425x + 0,066z + 0,018$
$r_{6,22}$	$=0,446$		
$r_{7,24}$	$=0,019$		
$r_{7,26}$	$=0,477$		
$r_{8,20}$	$=0,632$		
$r_{8,23}$	$=0,624$		
$r_{8,25}$	$=0,540$		
$R_{8,20,23}$	$=0,739$		
$R_{8,20,25}$	$=0,794$		
$R_{8,23,25}$	$=0,802$	0,071	$y = 0,219x + 0,210z - 0,066$
$R_{8,20,23,25}$	$=0,977$	0,049	$y = 0,776x + 0,153z + 0,200w - 0,1$
$r_{9,20}$	$=0,859$		
$r_{9,23}$	$=0,598$		
$r_{9,25}$	$=0,300$		
$R_{9,20,23}$	$=0,892$	0,040	$y = 0,463x + 0,034z - 0,397$
$R_{9,20,25}$	$=0,897$	0,046	
$R_{9,20,23,25}$	$=0,920$	0,034	$y = 0,469x + 0,033z + 0,030w - 0,4$
$r_{10,20}$	$=0,364$		
$r_{10,23}$	$=0,197$		
$r_{11,22}$	$=0,575$		
$r_{11,26}$	$=0,670$		
$R_{11,22,26}$	$=0,870$	0,043	$y = 0,703x - 0,189z + 0,158$
$r_{12,22}$	$=0,575$		
$r_{13,22}$	$=0,253$		
$r_{13,28}$	$=0,314$		
$r_{15,20}$	$=0,857$		
$r_{15,23}$	$=0,546$		
$R_{15,20,23}$	$=0,877$	0,041	$y = 0,433x + 0,022z - 0,461$
$r_{16,27}$	$=0,778$	0,045	$y = 0,068x + 0,005$
$r_{18,20}$	$=0,628$		
$r_{18,23}$	$=0,568$		
$R_{18,20,23}$	$=0,707$		

Коэффициенты корреляции		Вероятные отклонения	Уравнения регрессии
R _{19,25,28}	=0,680		
R _{16,27,28}	=0,827	0,035	$Y = 0,038x + 0,062z + 0,006$

Примечания. I. Цифры в первой колонке означают:

- | | | |
|----|---|---|
| I | - | средняя биомасса фитопланктона Северного Каспия, г/м ³ |
| 2 | - | " " диатомовых " " |
| 3 | - | " " сине-зеленых " " |
| 4 | - | " " зеленых " " |
| 5 | - | " " ризосолении " " |
| 6 | - | " " спиругиры " " |
| 7 | - | " " фитопланктона придельтового пространства |
| 8 | - | " " " юго-западного района |
| 9 | - | " " " юго-восточного " |
| 10 | - | " " " центрального мелководья |
| II | - | " " диатомовых придельтового пространства |
| 12 | - | " " зеленых " " |
| 13 | - | " " диатомовых центрального мелководья |
| 15 | - | " " " юго-восточного района |
| 16 | - | " " " Уральской бороздины |
| 18 | - | " " диатомовых юго-западного района |
| 19 | - | " " зеленых юго-западного " |
| 20 | - | --- соленость западной части Северного Каспия в апреле |
| 22 | - | " " Северного Каспия в апреле |
| 23 | - | продолжительность зимы, дни |
| 24 | - | температура воздуха в апреле, °C |
| 25 | - | сток Волги в январе-марте, км ³ |
| 26 | - | " " в апреле |
| 27 | - | сток Урала в январе-апреле |
| 28 | - | " минерального фосфора Волги в январе-марте, тыс.м |

2. Все полученные коэффициенты приводятся для того, чтобы предупредить возможные попытки количественного анализа связей, уже проанализированных в настоящей работе.

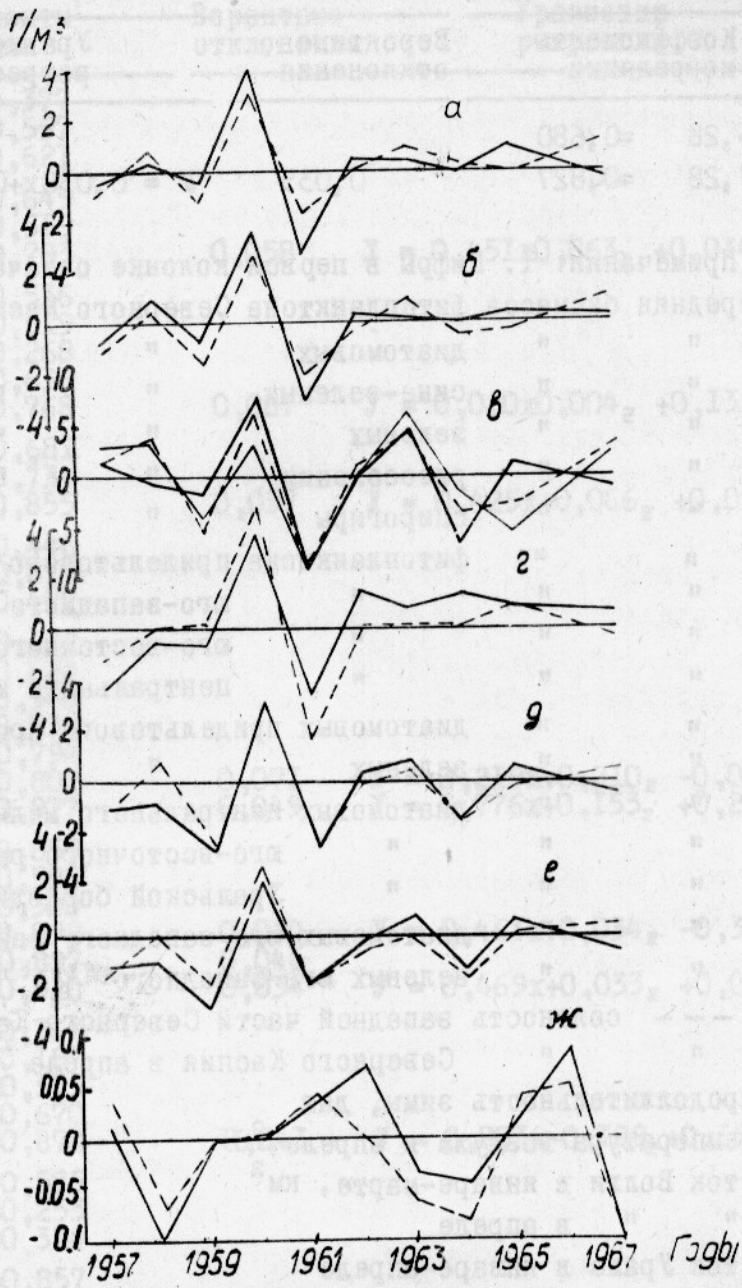


Рис.3. Межгодовые изменения фактической (1) и рассчитанной (2) биомассы фитопланктона за апрель: а - диатомовых Северного Каспия (по 22 и 23); б - ризосолений Северного Каспия (по 22 и 23); в - Фитопланктона юго-западного района (по 20, 23 и 25); г - диатомовых предустьевых пространств (по 22 и 26); д - Фитопланктона юго-восточного района (по 20, 23 и 25); е - диатомовых юго-восточного района (по 20 и 23); ж - диатомовых Уральской берега (по 27 и 28).

Видимо, следует считать, что биогенный сток в этом случае, достаточно хорошо характеризует многолетнюю тенденцию изменений первичной продукции, не определяет ее межгодовых изменений. Очевидно, полученные Винецкой связи недостаточно устойчивы, так как при продлении рядов наблюдений до 1967 г. величины коэффициентов корреляции (0,83 и 0,75) уменьшились до 0,64 и 0,47.

Определить абиотические факторы, достаточно надежно ($r \geq 0,75$) характеризующие именно межгодовые изменения первичной продукции, не удалось. Возможно, это связано с нерепрезентативностью данных по первичной продукции из-за неравномерного охвата наблюдениями по кислороду различных районов Северного Каспия. Тем не менее общие черты в характере изменений первичной продукции в многолетнем плане уловить, видимо, можно.

С этой точки зрения интересно рассмотреть совокупность интегральных кривых изменений первичной продукции в разные месяцы и в разных районах (рис.4). Например, хорошо виден противоположный ход кривых, изображающих изменение продукции в западной глубоководной и мелководной зонах в июне, но только до 1959 г., т.е. до зарегулирования Волги у Волгограда; противоположный ход кривых изменения продукции в мелководной зоне в июне и августе, но опять только до 1959 г. и, наконец, согласованный ход (падение) кривых после 1959 г., т.е. после зарегулирования Волги у Волгограда.

Можно, видимо, считать, что зарегулирование Волги у Волгограда через изменившееся годовое распределение стока и главным образом уменьшение стока минерального фосфора привело не только к общему уменьшению продукции Северного Каспия, но и, судя по ходу кривых 1 и 3, к нарушению ранее существовавших закономерностей, что подтверждается и рис.5.

Корреляционный анализ интегральных рядов позволил выделить абиотические факторы, с количественной стороны наиболее надежно характеризующие многолетние изменения первичной продукции летом. Оказалось, что многолетние изменения первичной продукции западной глубоководной зоны в июне достаточно надежно ($R = 0,949$) определяются стоком минерального фосфора и жидким стоком Волги в половодье, а в мелководной зоне — продолжительностью зимы ($r = 0,863$).

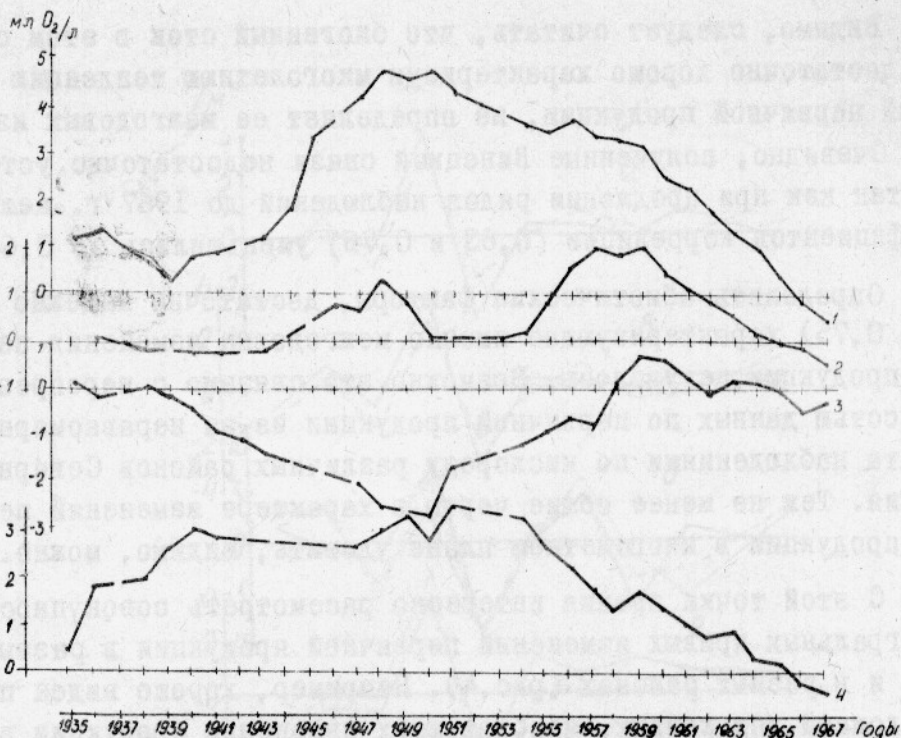


Рис.4. Многолетние изменения первичной продукции в западной глубоководной зоне (1 - в июне, 2 - в августе) и в западной мелководной зоне (3 - в июне, 4 - в августе)

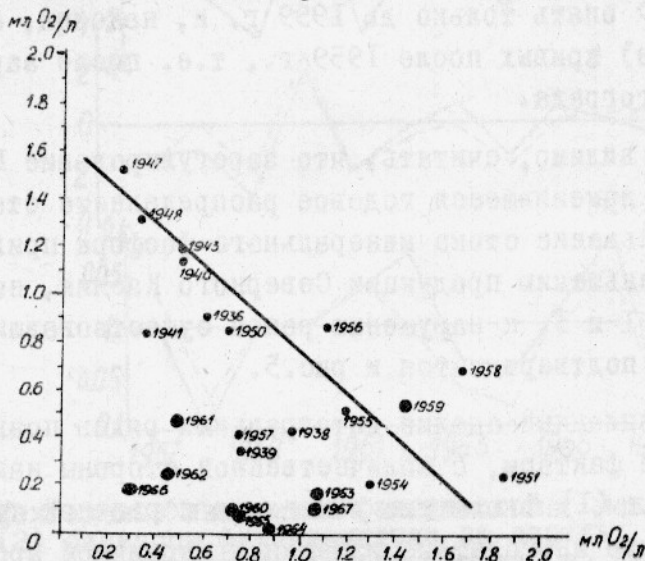


Рис.5. Сравнительный график многолетних значений первичной продукции для июня в западной мелководной (ось абсцисс) и западной глубоководной (ось ординат) зонах:
 • и © - соответственно годы до и после зарегулирования стока Волги.

В августе для западной мелководной зоны надежным показателем этих изменений является сток минерального фосфора в половодье ($r = 0,930$), так как с концом половодья отрицательная роль стокового течения здесь резко уменьшается, и большее значение приобретает обогащение воды биогенами (рис.6).

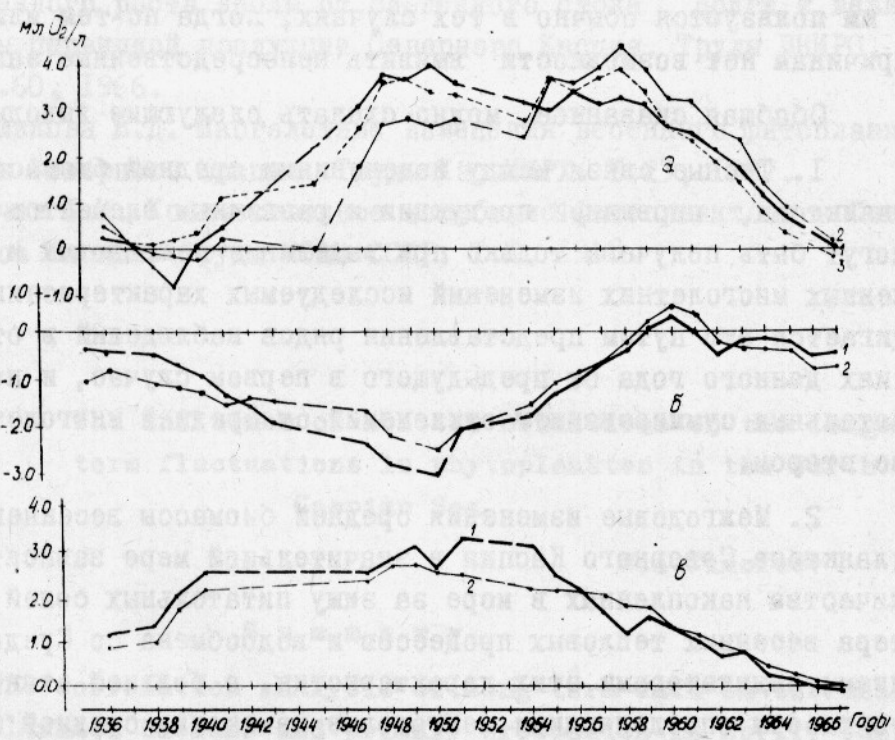


Рис.6. Многолетние изменения первичной продукции:
 а - западной глубоководной зоны в июне: 1 - фактической, 2 - рассчитанной по жидкому стоку Волги в половодье ($y=0,0215x+0,98$), 3 - рассчитанной по жидкому стоку и стоку минерального фосфора в половодье ($y=0,016x+0,098z +0,34$);
 б - западной мелководной зоны в июне: 1 - фактической, 2 - рассчитанной по продолжительности зимы ($y=0,0195x - 0,56$);
 в - западной мелководной зоны в августе: 1 - фактической, 2 - рассчитанной по стоку минерального фосфора в половодье ($y=0,240x+0,30$).

Необходимо заметить, что многолетние изменения первичной продукции в западной глубоководной зоне в июне непосредственно связаны с жидким и биогенным стоком Волги, т.е. существует прямое воздействие скорости течения волжских вод и количества биогенов в них на величину первичной продукции. В мелководной зоне продолжительность зимы не оказывает сколь угодно значительного прямого воздействия на изменения первичной продукции, но, являясь индикатором процессов, так или иначе влияющих на изменение первичной продукции, может тем не менее их характеризовать. Прием этот в геофизике известен, и им пользуются обычно в тех случаях, когда по тем или иным причинам нет возможности выявить непосредственные зависимости.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы.

1. Тесные связи между изменениями средней биомассы фитопланктона, первичной продукции и различных элементов среды могут быть получены только при выделении межгодовых и сглаженных многолетних изменений исследуемых характеристик. Достигается это путем представления рядов наблюдений в отклонениях данного года от предыдущего в первом случае, и последовательным суммированием отклонений от средней многолетней — во втором.

2. Межгодовые изменения средней биомассы весеннего фитопланктона Северного Каспия в значительной мере зависят от количества накопленных в море за зиму питательных солей, характера весенних тепловых процессов и водообмена со Средним Каспием; индикаторами этих характеристик, с большой степенью вероятности определяющими межгодовые изменения средней биомассы весеннего фитопланктона, приняты продолжительность зимы и средняя соленость вод Северного Каспия в апреле.

3. Общий характер многолетних изменений интенсивности образования органического вещества фитопланктона в западной глубоководной зоне в июне связан со стоком минерального фосфора и жидким стоком Волги в половодье ($R=0,949$), в мелководной зоне в июне (связь опосредованная) — с продолжительностью зимы ($r=0,863$), и в августе — со стоком минерального фосфора в половодье ($r=0,930$).

Л и т е р а т у р а

1. Винецкая Н.И. Гидрохимический режим и продукция органического вещества Северного Каспия до зарегулирования стока Волги. Труды КаспНИРО. Т.13, 1957.
2. Винецкая Н.И. Многолетние и сезонные изменения гидрохимического режима Северного Каспия до зарегулирования стока Волги. Труды КаспНИРО. Т.18, 1962.
3. Винецкая Н.И. Первичная продукция Северного Каспия. Труды КаспНИРО. Т.20, 1965.
4. Винецкая Н.И. Зависимость уловов промысловых рыб и замедленного роста воблы от биогенного стока Волги и величины первичной продукции Северного Каспия. Труды ВНИРО. Т.60, 1966.
5. Левшакова В.Д. Многолетние изменения весеннего фитопланктона Северного Каспия. Труды КаспНИРХ. Т.23, 1967.
6. Усачев П.И. Количественное колебание фитопланктона в Северном Каспии. Труды ИОАН СССР. Т.П, 1948.

The influence of abiotic conditions on the long-term fluctuations in phytoplankton in the North Caspian Sea

N.A. Timofeev

S u m m a r y

The correlation analysis of long-term data on the mean phytoplankton biomass and primary production in April, June and August as well as of various abiotic characteristics has shown that the duration of winter, mean salinity of the North Caspian Sea in April and river discharge in January-April as reliable indicators of the environment characterize well enough year-to-year fluctuations in the phytoplankton biomass in April. The general pattern of long-term fluctuations in the intensity of formation of phytoplankton organic matter is associated with water and biogenic discharge of the Volga River in the western deep-water zone in June ($R=0.949$), with the duration of winter in the shallow-water zone (an indirect relation) in June ($r=0.863$) and with the mineral phosphorus content in the discharge in August ($r=0.930$).